

Ficha de Tecnología #5: Sistemas de aparte automático



Área de Innovación. Unidad de I+D

Ing. Agr. Nicolás Ciano
Ing. Agr. Gabriel Tinghitella

Patrocinadores

Auspiciante



afimilk®
Automating Dairy Farms


VILLANUEVA
TECH

Índice

Componentes	3
Funcionamiento.....	4
Sistemas disponibles y características	6
Qué permiten hacer?	6
Aspectos a considerar	6
Experiencias de usuarios	7
Qué problemas solucionó? Qué oportunidades permitió capturar?	7
Qué obstáculos se presentaron al momento de la implementación?.....	7
Relación Costo/Beneficio.....	8
Costo	8
Beneficio	8
Análisis de la Inversión	16
Período de Repago.....	17
Valor Actual Neto (V.A.N).....	19
Tasa Interna de Retorno (T.I.R).....	20
Cálculo de la cuota de amortización	22
Mantenimiento y Servicio Postventa	23
Algunas referencias de empresas proveedoras	23
Agradecimientos	23

Componentes

Las puertas de aparte automático permiten separar los animales a la salida de la sala de ordeño según criterios preestablecidos y sin participación directa de personas. Normalmente se utilizan para separar animales en los cuales se detectó una disminución en la producción de leche o en el consumo de alimento, algún problema sanitario o que necesitan tratamiento reproductivo. Los animales apartados son dirigidos a corrales especialmente diseñados para realizar distintos tipos de tareas (revisión general, inseminación, tacto, tratamientos sanitarios, etc.). La tecnología integra dos grandes grupos de elementos: los estructurales y los electrónicos. Se detallan a continuación.

Elementos estructurales:

- 1) **Pasillos:** es la estructura de caños tubulares que permite conducir a los animales desde la salida de la sala de ordeño hasta la puerta de aparte.
- 2) **Separador o control de tránsito:** es una puerta u obstáculo que se instala antes de la puerta de aparte. Su función es evitar que dos animales lleguen juntos a la puerta apartadora y permite aumentar la eficacia del aparte. Existen diferentes diseños según la empresa proveedora, sin embargo, no todas las empresas los ofrecen.
- 3) **Puerta apartadora:** es la estructura que permite separar a los animales. Los sistemas de aparte pueden tener entre dos y cinco vías (o canales) de aparte.
- 4) **Pistones (de aire o vacío):** son los elementos que accionan la apertura y el cierre de las puertas apartadoras según la información suministrada por el software.

Elementos electrónicos (dispositivos + software):

- 5) **Fotocélulas:** son los sensores que detectan la presencia de los animales. Están distribuidos a lo largo del pasillo. Permiten conocer en que sección del pasillo se encuentra un animal para que el software de la puerta de aparte realice distintos tipos de tareas (identificación del animal, apertura/cierre de puertas). Normalmente se instalan entre 2 y 3 fotocélulas por pasillo.
- 6) **Caravanas electrónicas, collares, podómetros o Tags:** son tecnologías complementarias utilizadas para la identificación individual de los animales. Es indispensable contar con alguno de estos dispositivos para que los sistemas de aparte puedan funcionar.
- 7) **Antena:** es el dispositivo que capta la señal del sistema de identificación individual utilizado, e interactúa con el software de la puerta de aparte. Normalmente se coloca en el pasillo, a 1 o 2 metros de la puerta de aparte.
- 8) **Caja de conexión o caja neumática:** contiene todas las conexiones que controlan el funcionamiento del sistema de aparte automático. En esta caja se alojan los manómetros y los solenoides de los pistones. Algunos proveedores incluyen en esta caja un comando para accionar manualmente el sistema de aparte en caso de ser necesario. Puede estar instalada en diferentes lugares según la empresa proveedora.
- 9) **Software de la puerta de aparte:** posibilita la carga del plan de aparte en el que se especifica que animales se van a apartar, el motivo del aparte y su corral de destino. El software es accesible desde distintos dispositivos: de manera local, en una computadora instalada en el tambo, o de forma remota mediante conexión a internet, desde una computadora o un celular. Comanda los pistones que controlan la apertura y el cierre de las distintas puertas del sistema.

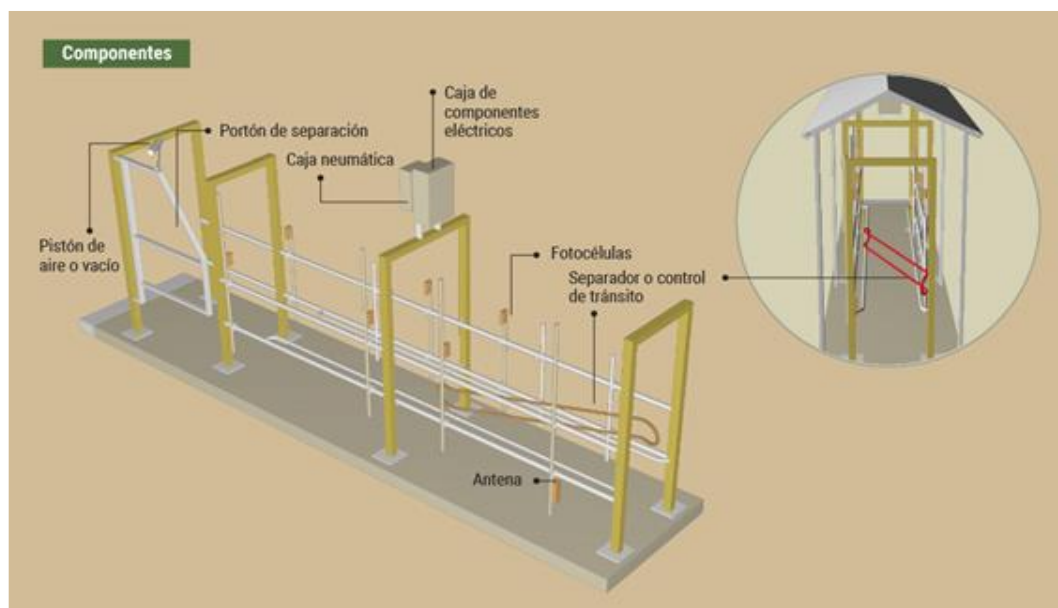


Figura 1. Esquema de componentes del sistema de apartado automático. El nombre y la cantidad de componentes pueden variar según la empresa proveedora.

Funcionamiento

Puesta a punto del sistema

Para realizar el aparte automático de los animales primero hay que cargar en el software de la puerta de aparte todos los criterios por los que se procederá a separar a los animales (sanidad, reproducción, alimentación, producción o estado corporal). Luego, hay que definir a que corrales irán los animales que se aparten por cada uno de los criterios previamente definidos. Finalmente, la información de cada vaca para que el software ejecute el aparte podrá cargarse de forma manual o capturarse de forma automática desde el software de gestión (en caso de ser compatible con el sistema de aparte).

En los casos donde la información del software de gestión es captada directamente desde diferentes sensores electrónicos (collares/podómetros, medidores de leche, etc.) el sistema de aparte queda completamente automatizado. Estas tecnologías proveen información del estado de salud y celo de los animales. Dicha información se actualiza automáticamente todos los días, para que software pueda determinar cuáles son los animales por separar.

Rutina de aparte¹

Después del ordeño los animales se dirigen por el pasillo a la puerta de aparte. Las fotocélulas dispuestas a lo largo del pasillo permiten conocer la ubicación de los animales. Cuando un animal se acerca a la puerta de aparte la primera fotocélula detecta su presencia. En ese momento la antena censa e identifica al animal a partir de su caravana electrónica/collar/podómetro. El animal sigue avanzando por el pasillo y activa la segunda fotocélula. En ese momento la información que identifica al animal se envía al software de las puertas de aparte y se vincula al animal identificado con la información cargada en el software. A partir de la información, cargada manualmente o capturada automáticamente desde el software de gestión, y de los criterios de aparte previamente definidos, el software de las puertas de aparte envía un comando a la puerta de aparte para que

¹ La puerta desarrollada por una de las empresas trabaja de manera distinta a las de los demás proveedores, aunque logra resultados similares.

separe (o no) al animal en cuestión. Instantáneamente se activan los pistones y se abre la puerta correspondiente para que el animal avance. En caso de no tener que apartar ese animal, las puertas permanecen cerradas y el animal vuelve al potrero/corral. Finalmente, una tercera fotocélula ubicada en la puerta apartadora se utiliza para terminar el proceso de aparte. Cuando dicha fotocélula deja de censar al animal, indica que el mismo terminó de pasar. En ese momento se envía una señal que activa los pistones para cerrar la puerta (que vuelve a su posición inicial). El proceso se ejecuta de forma automatizada y se repite con cada uno de los animales que salen del ordeño.

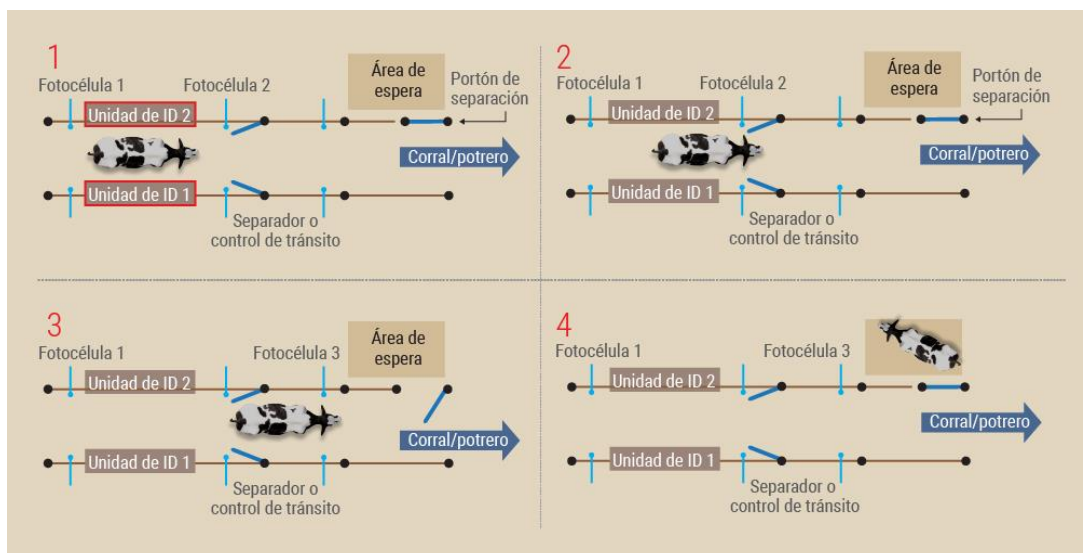


Figura 2. Dinámica de aparte de vacas en un sistema de aparte automático con dos vías y control de tráfico accionado por pistones.

En caso de tener que apartar un animal que no estaba previamente cargado en el listado de animales a apartar, las empresas proveedoras ofrecen la posibilidad para hacerlo de forma manual. Es posible hacerlo desde una aplicación de celular/tablet o desde un comando específico colocado en la fosa.

Las empresas ofrecen la posibilidad de colocar un obstáculo para el control de tráfico antes del portón de separación. El objetivo del separador es evitar que dos animales lleguen juntos a la puerta apartadora. De esa forma se logra aumentar la eficacia de aparte. El sistema elegido como separador puede variar según la empresa proveedora. Existe un sistema accionado por pistones hidráulicos que cierra y abre dos puertas laterales. Hay otro sistema que consiste en una barrera en forma de "S", que pivotea en un punto y es accionada por las mismas vacas cuando pasan. En ambos casos generan una obstrucción que momentáneamente impide el paso del siguiente animal.

Fallas en la identificación de los animales

En el caso que un animal haya perdido el dispositivo para su identificación individual, el sistema permite evitar que ese inconveniente frene el aparte de los animales restantes. En esos casos, cuando el animal sale del ordeño y la primera fotocélula lo detecta, la antena intenta identificarlo pero no lo logra hacer (por la falta de caravana electrónica/collar/podómetro/Tag). Luego de un tiempo determinado, se abre la puerta previamente programada para los animales sin identificación. De esta forma se separa al animal sin dispositivo identificatorio, para poder equiparlo con caravana electrónica/collar/podómetro.

Sistemas disponibles y características

Actualmente, en el país existen varias empresas que ofrecen sistemas de aparte automatizados. Algunas de ellas son:

		DataMars	ENG Systems	LELY
		DeLaval	GEA	Trazamax

Existen algunas diferencias técnicas entre las puertas de aparte que ofrecen las distintas empresas proveedoras. Algunas de ellas son:

- Desde 2 hasta 5 vías (canales) de aparte.
- Comando para realizar apartes de forma manual desde la fosa.
- Con control de tránsito (o no) antes de la puerta de aparte.
- Accionamiento mediante pistones de aire² o de vacío.

Qué permiten hacer?

- ✓ Apartar animales de forma automática y sin necesidad de intervención del personal.
- ✓ Disminuir el nivel de estrés de los animales. Tanto de los que se están apartando como de los que se están ordeñando.
- ✓ Organizar el trabajo a partir de la programación de apartes. Se pueden asignar días particulares para realizar tareas específicas (Por ejemplo, los lunes se separan animales con problemas de patas, y se organiza todo lo requerido para realizar los tratamientos).
- ✓ Apartar animales en los que se detecta algún problema particular durante el ordeño. Se puede realizar manualmente, desde el celular o desde el software de gestión.

Aspectos a considerar

- La puerta no debe obstaculizar el flujo de animales. Para lograrlo, el sistema de aparte debe ser correctamente diseñado. Los sistemas que mejor funcionan son:
 - los que tienen menor cantidad de curvas a la salida de la sala de ordeño.
 - los que incluyen un área de pulmón previo a la puerta de aparte.
 - los que dimensionan el ingreso a la puerta según el tamaño de los animales a separar (Holstein, Jersey, cruza). Por ejemplo, para vacas Holstein, 0,80 metros de ancho en la parte interna y el largo suficiente para que entre una vaca.
- La instalación demanda amurar la puerta de aparte sobre un piso de hormigón. Por tal motivo, en general, debe realizarse una obra civil que aumenta el costo de la inversión (aunque no suele ser un monto elevado).
- En el caso de no contar con corrales de aparte, es necesario construirlos.
- Algunos proveedores no incluyen en el presupuesto el costo de los caños que se necesitan para armar los pasillos de las puertas. En esos casos los caños generan un costo extra que se debe tener en cuenta al momento de analizar el monto total de la inversión.

² Requiere un compresor de aire con determinadas características, el cual no está incluido con la compra del sistema de aparte.

- El sistema de aparte debe colocarse bajo techo para proteger los componentes electrónicos. En caso de no contar con un techo, se recomienda construir uno.
- El sistema no varía para los diferentes sistemas de ordeño (robótico o convencional).
- Para mejorar la eficiencia de detección, la antena debe instalarse del mismo lado de las orejas de los animales en las que se colocan las caravanas electrónicas. En caso de haber interferencias por los metales de la puerta, se deben colocar paneles de madera en los pasillos para evitar que ocurran interferencias entre la señal de la antena y la caravana electrónica.
- Los sistemas de identificación individual que cuentan con sensores (collares, podómetros o Tag) son más caros, pero tienen algunas ventajas. Una de ellas es que aportan información a partir de los datos recolectados por los sensores que poseen y esto ayuda a decidir de forma automática que vacas apartar.
- Los animales deben acostumbrarse al sistema, y el tiempo que tarden en lograrlo dependerá de cómo se lleve a cabo el proceso. La forma más rápida es hacerlos pasar por el sistema de aparte apagado en todos los ordeños durante un tiempo.
- Se pueden colocar gomas en los puntos donde chocan dos caños para minimizar los ruidos metálicos y evitar que las vacas se pongan nerviosas.

Experiencias de usuarios

Qué problemas solucionó? Qué oportunidades permitió capturar?

“Me permitió simplificar una tarea que es engorrosa. Uno selecciona las vacas a apartar y cuando terminas el ordeño las vacas ya están apartadas, sin tener que estar buscando vaca por vaca.”

“No se te escapan vacas, con ello se logra que los tratamientos sanitarios, tactos o inseminaciones se hagan en tiempo y forma.”

“Con el tiempo fuimos agregando más tecnología de proceso a los rodeos. A medida que pasaba el tiempo cada vez teníamos que separar más vacas y con mayor frecuencia. Eso solo fue posible hacerlo por haber tomado la decisión de adoptar este sistema.”

“Nos permitió planificar tareas. Cargamos en el software las vacas que necesitamos apartar y las separamos fácilmente.”

“Los primeros fanáticos de las puertas fueron los operarios, les facilita el trabajo en la fosa y el ordeño es más fluido.”

“Te ayuda a apartar las vacas el día que hay una persona de franco.”

“Nos permitió mejorar una tarea que normalmente se hace mal, es peligrosa para las personas, peligrosa para las vacas (porque se lastiman) y hace que el ordeño se demore.”

Qué obstáculos se presentaron al momento de la implementación?

“Falló el diseño del sistema. Eso hacía que las vacas no avanzaran y el tambero desconfiara.”

“Es importante tener la persona indicada para gestionar correctamente el sistema. El tambero que estaba antes siempre estuvo negado con la tecnología y nunca la usó.”

“Llevo mucho tiempo regular la antena para que capte correctamente las caravanas electrónicas. Pero una vez hecha la regulación funcionó perfecto.”

“Hay que acostumbrarse a mirar todos los días el reporte de celo y salud de los collares. Pero la implementación nos resultó muy fácil.”

“Ojalá tuviéramos un solo software y pudiéramos manejar todo desde ahí. Hay que hacer adaptaciones e importar y exportar datos.”

Relación Costo/Beneficio

Costo

El costo de la tecnología depende de la cantidad de vías (canales) de aparte que se quieran comprar en función de las necesidades de cada tambo. Se adquieren, como mínimo, 2 vías (canales) de aparte y un software para la gestión de las puertas de aparte automático. Se puede agregar canales de aparte hasta llegar a 5 vías, según la empresa proveedora. A su vez, en caso de ser necesario, se puede colocar una segunda puerta de aparte completa a continuación de la primera. Esta opción es más costosa y se justifica en determinados tamaños de rodeo y sistemas de ordeño. Por ejemplo, sistemas de ordeño rotativo donde la segunda puerta evita que se frene el tráfico de vacas.

Tabla 1: Costos de los componentes de un sistema de aparte automático (expresados en USD)

	Rango de valores (USD)
Sistema con 3 vías (USD)	14.500-21.000
Software de gestión³ (USD)	2.500-9.000
Obra civil*	570-920
Vida útil	10 años
*El precio de la obra civil se calculó únicamente para construir el piso que se necesita para amurar las puertas apartadoras. Es decir, un pasillo de 6 m de largo, 1,2 m de ancho y un espesor de 0,15 m utilizando hormigón H21 (soporta una carga de 210 Kg/cm ²). Incluye los hierros para realizar una malla inferior y otra superior, la mano de obra para excavar y para colocar el hormigón.	

Para implementar esta tecnología, es necesario contar con un sistema de identificación individualizada electrónico (caravana electrónica, collares, podómetros o Tag). En caso de no poseerlo, deberá adquirirse y su costo es muy variable tomando en consideración el sistema que se seleccione. El costo por unidad es de 2 USD para las caravanas electrónicas, aproximadamente 100-110 USD para los podómetros y entre 115-200 USD para los collares.

Beneficio

En los tambos, luego de cada ordeño y por distintos motivos (cambios en la producción, en la alimentación, en el estado corporal, problemas sanitarios o tratamientos reproductivos), se separa una determinada cantidad de animales. Si bien esa cantidad de animales suele ser un porcentaje

³ Algunas empresas ofrecen diferentes tecnologías que pueden gestionarse con un mismo software. En caso de que el software ya haya sido adquirido, la incorporación de la puerta de aparte automático no requiere volver a considerar el costo del software para el análisis de inversión.

bajo, implica buscar animales luego de cada ordeño. El método convencional de aparte demanda, previo al ordeño, confeccionar un listado con los números de caravana de los animales a apartar y al finalizar el ordeño, revisar el número de caravana de cada animal. Una vez identificado el o los animales a apartar, hay que lograr que dicho animal llegue al corral deseado. De esta tarea se suelen encargar al menos dos personas, las cuales hacen que el animal frene y se desvíe hacia el lugar deseado. Lógicamente, hay que lograr esto evitando que los animales que deberían volver al campo se metan en el corral donde quedan los animales apartados.

El sistema de aparte automático permite separar animales sin la intervención directa de las personas que se encuentran ordeñando. La implementación de esta tecnología reporta múltiples y variados beneficios. Algunos de ellos es posible cuantificarlos, como es el caso de: i) la mejora en eficacia de aparte, que reduce significativamente la proporción de tratamientos sanitarios/reproductivos inconclusos, ii) la reducción del tiempo de ordeño con la consecuente reducción del costo de la tarea y iii) la reducción de frenadas bruscas y patinadas que ocasionan traumatismos por golpes los cuales inciden sobre la performance productiva y la vida útil de los animales.

Existen otros beneficios más difíciles de cuantificar. Uno de ellos es que permite mantener los rodeos ordenados sin esfuerzo físico. De esta manera se evita, por ejemplo, que las vacas de alta producción reciban dietas de menor calidad o cantidad, lo que afectaría su rendimiento, y que las vacas de baja producción consuman dietas superiores en cantidad y calidad sin que ello se traduzca en un aumento de producción. Otro ejemplo de esos beneficios es la mejora del confort laboral de los operarios. En las empresas que se implementa esta tecnología los operarios que realizan el ordeño se dedican a esa tarea de forma exclusiva, sin tener que salir de la fosa para apartar animales.

A continuación, se presentan casos de análisis para cuantificar tres de esos beneficios.

Mejora en la eficacia de implementación de los protocolos para sincronizar celos y realizar la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).

La IATF es una técnica de reproducción asistida frecuentemente utilizada en bovinos. Esta técnica consiste en sincronizar la ovulación de los animales para luego realizar la inseminación de estos, de forma artificial. Para realizar la IATF se administran hormonas siguiendo un protocolo específico, con el objetivo de que la vaca ovule en un determinado momento y poder realizar la inseminación artificial sin tener que detectar celos. En la actualidad, existen diferentes protocolos que varían, entre otras cosas, en la cantidad de tratamientos hormonales que se aplican.

El éxito en la aplicación de estos protocolos depende directamente de la eficacia en el apartado de las vacas (ver Tabla 2). Esto se debe a que, si una vaca no es apartada y no recibe las hormonas planificadas en el día y horario correspondiente, no se logra la sincronización de la ovulación. Por ejemplo, en un tambo donde se aplica un protocolo de IATF con 6 tratamientos hormonales, si se logra separar al 100% de las vacas que se quiere apartar para administrar cada uno de los tratamientos hormonales, el protocolo de IATF se aplicaría correctamente en el 100% de los animales. En cambio, si en cada oportunidad donde se tiene que apartar animales, solo se logra apartar al 90 % de las vacas, el protocolo para sincronizar celos y realizar la IATF se completará únicamente en el 53 % de los animales (ver Tabla 2). El valor del cumplimiento del protocolo para sincronizar celos se obtiene multiplicando la eficacia de aparte tantas veces como número de tratamientos hormonales indique el protocolo. Para el caso mencionado el cálculo fue el siguiente: $90\% \times 90\% \times 90\% \times 90\% \times 90\% \times 90\% = 53\%$.

Tabla 2. Eficacia en el cumplimiento del protocolo para realizar inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) con diferentes cantidades de tratamientos hormonales, ante cambios en la eficacia con la cual se logra apartar las vacas.

Eficacia en el aparte de animales	Eficacia en el cumplimiento de protocolo de IATF	
	3 tratamientos de hormonas	6 tratamientos de hormonas
100%	100%	100%
99%	97%	94%
95%	86%	74%
90%	73%	53%
El cumplimiento del protocolo se calculó multiplicando la eficacia de aparte tantas veces como número de tratamientos indique el protocolo. En todos los casos se considera que luego de apartadas las vacas el tratamiento hormonal se realiza de forma exitosa.		

En los sistemas productivos donde se utiliza la IATF, contar con puertas de aparte automático permitiría mejorar la eficacia del aparte, la implementación de los protocolos para sincronizar celos y la realización de las IATFs. Finalmente, una mayor eficacia en la aplicación del protocolo permitiría inseminar exitosamente a una mayor cantidad de vacas en cada servicio.

A continuación, se plantea un caso hipotético para cuantificar el beneficio que podría generar el uso de puertas de aparte automático en sistemas lecheros donde se emplea un protocolo de IATF donde se aplican tres tratamientos hormonales.

Caso de análisis.

Se compararon dos situaciones:

- Sin puertas de aparte automático: se asume que la eficacia para separar las vacas disminuye, reduciendo la eficacia del protocolo de sincronización de celo para realizar IATF.
- Con puertas de aparte automático: se asume una mayor eficacia de aparte de animales, incrementando la eficacia del protocolo de sincronización de celos para realizar IATF.

Ejemplo:

- Vacas en ordeño (VO) total: 250 vacas
- Porcentaje de VO con tratamiento de IATF: 20% (50 vacas)
- Característica del programa de IATF: 3 tratamientos hormonales
- Eficacia de aparte **sin** puertas automáticas: 90%
- Eficacia de aparte **con** puertas automáticas: 99%
- Cumplimiento del protocolo para sincronizar celos **sin** puertas de aparte: 73%
- Cumplimiento del protocolo para sincronizar celos **con** puertas de aparte: 97%
- Tasa de concepción: 50%

En el ejemplo se consideró que el 20% del total de vacas en ordeño del establecimiento fue tratado con IATF, mientras que en el 80% restante se detectó el celo de forma tradicional y luego se inseminó artificialmente. En las dos situaciones planteadas (con o sin puertas de aparte) se consideró que la tasa de concepción fue de 50%.

Cuando **no se utilizaron puertas de aparte automático**, el cumplimiento del protocolo de sincronización de celos para realizar IATF se cumplió en el 73% de los casos. Esto se generó porque, en cada una de las tres oportunidades que se realizó el tratamiento hormonal, no se apartó el 10% de las vacas que debían recibir el tratamiento hormonal. De esta forma el cumplimiento

acumulado fue de: $90\% \times 90\% \times 90\% = 73\%$. Los resultados obtenidos en esta situación se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de realizar IATF con un protocolo de 3 tratamientos hormonales para sincronizar celos en un establecimiento sin puertas de aparte automático.			
	Servicio		
	1 ^{ro}	2 ^{do}	3 ^{ro}
N° de vacas con protocolo de sincronización de celos	50	32	20
N° de vacas con IATF completa	36	23	15
N° de vacas preñadas*	18	12	7
N° de vacas vacías	32	20	13
Total de vacas preñadas	18	30	37
Eficacia de aparte sin puertas automáticas: 90%, (no se aparta el 10% de las vacas que deben recibir el tratamiento hormonal). Como el protocolo de sincronización de celos requiere tres tratamientos hormonales (tres apartes), el porcentaje de IATF logrado fue del 73% ($90\% \times 90\% \times 90\%$).			
*Se consideró una tasa de concepción del 50%.			

En esta situación la eficacia en el aparte de animales, del 90%, afectó la eficacia de implementación de los tratamientos hormonales en tiempo, impactando también sobre la eficacia de la IATF. El resultado logrado fue de **37 vacas preñadas** luego de **3 servicios**, y **13 vacas vacías**.

En el caso **con puertas de aparte automático** (Tabla 4) la eficacia en el aparte de vacas fue del 99%, lo que permitió que el protocolo de sincronización de celos alcanzara el 97%. Es decir, en cada aparte no se separó el 1% de las vacas que debían recibir el tratamiento hormonal. Los resultados correspondientes a esta situación se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de realizar IATF con un protocolo de 3 tratamientos hormonales para sincronizar celos en un establecimiento con puertas de aparte automático.		
	Servicio	
	1 ^{ro}	2 ^{do}
N° de vacas con protocolo de sincronización de celos	50	26
N° de vacas con IATF completa	49	25
N° de vacas preñadas *	24	12
N° de vacas vacías	26	13
Total de vacas preñadas	24	37
Eficacia de aparte con puertas automáticas: 99% (solo no se aparta el 1% de las vacas que deben recibir el tratamiento hormonal). Como el protocolo de sincronización de celos requiere tres tratamientos hormonales (tres apartes), el porcentaje de IATF logrado fue del 97% ($99\% \times 99\% \times 99\%$).		
*Se consideró una tasa de concepción del 50%.		

Una mayor eficacia de aparte de animales, lograda a partir del uso de puertas automáticas, permitió preñar el mismo número de vacas que en la situación en la que no se utilizaron puertas de aparte automático (**37 vacas**) pero en **solo 2 servicios** (un servicio menos que en la situación anterior).

La única diferencia entre las situaciones previamente presentadas radica en la eficacia de separación de vacas para aplicar los tratamientos hormonales para sincronizar celos.

A partir de los casos analizados se pueden cuantificar dos beneficios generados por la incorporación de las puertas de aparte automático:

- 1) el ahorro generado por la reducción del número de tratamientos hormonales requeridos para lograr un determinado nivel de preñez aplicando un protocolo de sincronización de celos para realizar IATF
- 2) el ahorro en la alimentación.

Para realizar los cálculos se tomaron los siguientes valores de referencia:

- Costo de la IATF*: 25,6 USD/vaca
*Incluye tratamiento hormonal, semen, honorarios profesionales y viáticos.
- Dieta al final de la lactancia: 12 Kg MS/vaca×día
- Costo del alimento: 0,95 USD/Kg MS
- Producción de leche al final de la lactancia: 14 Litros/vaca×día
- Precio de la leche: 0,35 USD/día
- Tiempo para diagnóstico temprano** de preñez: 28 días post inseminación
**Utilizando ecografía
- N° de animales que se preñaran en el 3er Servicio***: 7 vacas (Ver tabla 3)
***Sin puertas de aparte automático

Beneficio 1: Ahorro en tratamientos de IATF.

El primer beneficio se obtiene por preñar la misma cantidad de vacas realizando un servicio menos. El incremento de eficacia en la preñez se obtiene por el aumento de la eficacia de aparte que se logra a partir del uso de las puertas de aparte automático.

Como vimos en los casos previamente analizados, el uso de las puertas de aparte automático permitiría alcanzar el mismo número de vacas preñadas sin necesidad de aplicar tratamientos hormonales para sincronizar celos sobre 20 vacas en un tercer servicio, como sí sería necesario hacerlo en sistemas que no cuentan con esta tecnología. (ver Tabla 3).

Dicho beneficio fue calculado de la siguiente manera:

$$\text{Beneficio 1} = N^{\circ} \text{ tratamiento de IATF en el 3er servicio} \\ \times \text{Costo del tratamiento de IATF}$$

$$\text{Beneficio 1} = 20 \text{ vacas} \times 25,6 \frac{\text{USD}}{\text{vaca}} = 512 \text{ USD}$$

Para la situación analizada, el ahorro en tratamientos de IATF por utilizar puertas de aparte automático en un rodeo de 250 VO, donde el tratamiento de IATF se aplica en el 20% del rodeo, fue de 512 USD por año.

Beneficio 2: Ahorro en alimentación

El parto marca el inicio de una nueva lactancia. A partir de ese momento, la producción de leche aumenta progresivamente hasta alcanzar un pico aproximadamente a los 30 días postparto. Luego del pico, la producción comienza a disminuir de forma gradual con el paso de los días. Una dinámica similar se observa en la eficiencia de conversión de alimento en leche, pero con una caída aún más abrupta.

En la etapa final de la lactancia, por ejemplo, 300 días post parto, la producción de leche disminuye notablemente, mientras que el consumo de alimento se mantiene o incluso aumenta. Esto se debe a que las vacas, en ese momento requieren energía para mantener su metabolismo basal, producir leche y gestar (en ese momento los animales están en el último trimestre del período de gestación). Por tales motivos, la eficiencia de conversión del alimento en leche es muy baja y el ingreso generado por la producción de leche no alcanza a cubrir los gastos de alimentación.

Para aplicar un tercer servicio con IATF, se debe esperar al menos 28 días desde el servicio anterior para confirmar que la vaca no está preñada. De ese período, 21 días corresponden al ciclo reproductivo y los 7 días restantes son necesarios para realizar un diagnóstico temprano de preñez mediante ecografía.

Incorporar puertas de aparte automático y preñar a las vacas en una etapa más temprana, evita que muchas de ellas prolonguen su lactancia en esta fase de baja eficiencia productiva. De esta manera, se reducen los costos adicionales asociados con la alimentación durante un período en el que la producción ya no resulta económicamente rentable.

Los cálculos para cuantificar el segundo beneficio se presentan a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Beneficio 2} = & ((\text{dieta} \times \text{precio de dieta}) \\ & - (\text{producción diaria} \times \text{precio de la leche}) \\ & \times \text{N}^\circ \text{ vacas preñadas en el 3}^\text{er} \text{ servicio} \times \text{tiempo entre servicios}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beneficio 2} = & \left(\left(12 \frac{\text{Kg MS}}{\text{día} \times \text{vaca}} \times 0,95 \frac{\text{USD}}{\text{Kg MS}} \right) \right. \\ & \left. - \left(14 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times 0,35 \frac{\text{USD}}{\text{Litro}} \right) \times 7 \text{ vacas} \times 28 \text{ días} \right) = 1.339,6 \text{ USD} \end{aligned}$$

El segundo beneficio, obtenido a partir del balance entre el ahorro de alimentos logrado por preñar las vacas con un servicio menos y el ingreso por producción de leche que no obtuvo a partir de esas 7 vacas que se hubieran preñado en el 3er servicio fue de 1.339,6 USD por año.

Por lo tanto, en este caso particular, la incorporación de puertas de aparte automáticas en establecimientos que aplican protocolos de sincronización de celos para realizar IATF permitirá generar un ahorro de 1.851,6 USD por año.

Reducción del tiempo de ordeño (Impacto sobre el costo por reducción del consumo energético).

Impactos sobre el costo por reducción de consumo energético

La incorporación de las puertas de aparte permite que los operarios de la fosa se dediquen exclusivamente al ordeño. Eso genera una reducción del tiempo de ordeño y a partir de ello, un ahorro en el consumo de electricidad. Para cuantificarlo hay que tener en cuenta que el consumo de electricidad en una empresa lechera depende de múltiples variables. La ventilación forzada en

el corral de espera, el N° de bajadas de la máquina de ordeño y la duración del ordeño, los pasteurizadores, el consumo del tanque de frío, cantidad de casas de operarios, y la época del año, son solo algunas de las variables que afectan la ecuación. Muchas de esas variables están directamente vinculadas con la sala de ordeño en funcionamiento. Por lo tanto, la reducción de la duración del proceso de ordeño por incorporar sistemas de aparte automático, repercute sobre la caída del consumo de electricidad.

A continuación, se presenta un caso hipotético en el que se cuantifica el impacto de los sistemas de aparte automático sobre la reducción del costo de la energía relacionado con el funcionamiento de la sala de ordeño.

Caso de análisis:

- N° de vacas en ordeño: 500
- Consumo de electricidad mensual total (promedio anual): 8.700 kWh/mes
- Consumo de electricidad no asociado a la sala de ordeño (casas, pasteurizador, equipo de frío, etc.): 11% del consumo mensual total.
- Tiempo por ordeño sin sistemas de aparte automático: 8 horas/día.
- Tiempo por ordeño con sistemas de aparte automático: 7 horas/día.
- Costo de la electricidad: 0,12 USD/kWh⁴

Beneficio anual

$$= (\text{Consumo total}_{\text{mes}} - \text{Consumo extra sala}_{\text{mes}}) \times \text{ahorro de tiempo por la tecnología} \times \text{costo electricidad} \times 12 \text{ meses}$$

$$\begin{aligned} \text{Beneficio anual} &= \left(8.700 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} - \left(8.700 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \times \frac{11}{100} \right) \right) \times \frac{12,5}{100} \times 0,12 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \\ &= 1.394 \text{ USD/año} \end{aligned}$$

En el ejemplo se calculó el ahorro que genera la implementación de un sistema de aparte automático en un tambo con 500 vacas en ordeño sobre el consumo mensual promedio de electricidad. Cabe aclarar que en la factura de luz se cuantifica el consumo de electricidad de todo el establecimiento. Por tal motivo, del consumo total de electricidad debe restarse la fracción consumida que no se utiliza para que funcione la sala de ordeño (tanque de frío, pasteurizadores, casas de trabajadores, etc.). A partir de múltiples casos relevados para realizar este trabajo, se estima que, en el marco de una empresa lechera promedio, el consumo de electricidad no asociado al funcionamiento de la sala de ordeño es de entre 10% y 12% del costo de la factura de luz; en este ejemplo se consideró un 11%. El costo de la electricidad es otro dato relevante para poder calcular este beneficio. El mismo es muy variable y depende de la empresa que ofrece el servicio, la hora del día en la que se está realizando el consumo, la potencia requerida, la cantidad de kWh consumidos, etc. Para este ejemplo se utilizó como referencia un valor de 0,12 USD/kWh. Finalmente, el último dato utilizado para calcular el beneficio es la cantidad de horas que se reduce el tiempo de ordeño al implementar un sistema de aparte automático. Siguiendo con los supuestos del ejemplo anterior, en el que el tiempo de ordeño pasó de 8 horas por día (2 ordeños de 4 horas) a 7 h diarias (2 ordeños de 3,5 horas), el ahorro fue de 1 h por día, equivalente a un 12,5% menos de tiempo de ordeño. A partir de esos datos se obtuvo un beneficio de 1.394 USD/año.

⁴ El costo de electricidad es muy variable. Depende del proveedor, la hora del día en la que se realice el consumo, la potencia, la cantidad de kWh total que se consumen, etc.

Además del beneficio cuantificado, existe otro aspecto positivo asociado al aparte automático que no se cuantificó. Al no tener que apartar vacas, los operarios pueden concentrarse en la fosa y llevar adelante una rutina de ordeño más cuidadosa. Como consecuencia, se favorece la salud de las ubres al reducir el riesgo de sobreordeño, especialmente en establecimientos que no cuentan con retiradores automáticos de pezoneras.

Disminución en el descarte anticipado de animales por reducciones de traumatismos que afectan la performance productiva.

Normalmente el aparte de animales utilizando el método convencional es una tarea estresante y riesgosa tanto para los animales como para las personas que lo realizan. Es común que durante dicha tarea haya gritos/ruidos fuertes y que los animales corran y frenen bruscamente. En esa condición, tanto el grupo de animales con los que se está trabajando para realizar los apartes como los animales que están siendo ordeñados se ven afectados por el aumento en sus niveles de estrés. En muchos casos los animales que se están queriendo apartar terminan golpeados, y en ocasiones los traumatismos pueden ser muy fuertes, a punto tal que obligan a realizar el descarte anticipado del animal golpeado. El uso de sistemas de aparte automático permite prescindir de personas para llevar a cabo la tarea y reducen el nivel de estrés de los animales; el aparte se realiza sin gritos, corridas, ni frenadas repentinas y bruscas. De esta forma, se reducen los golpes y se evita el costo ocasionado por el descarte anticipado de animales.

El beneficio se puede calcular tomando en consideración el costo de las vaquillonas de reposición menos el ingreso percibido por la venta de las vacas a descartar. A continuación, se presenta un caso hipotético en el que se cuantifica el beneficio capturado al adoptar un sistema de aparte automático.

Caso de análisis:

- N° de vacas en ordeño: 500
- N° de vacas descartadas por traumatismos generados en los apartes: 2 vacas/año
- Precio de la vaquillona de reposición: 1.750 USD (5.000 litros de leche x 0,35⁵ USD/litro)
- Peso vivo de la vaca de descarte: 650 Kg
- Precio de la vaca de descarte: 1,17 USD/Kg⁶

$$\text{Beneficio} = (N^{\circ} \text{ vaquillonas a comprar} \times \text{precio vaquillona}) - (N^{\circ} \text{ vacas descartadas} \times \text{precio vaca descarte})$$

$$\begin{aligned} \text{Beneficio} &= \left(2 \text{ vaquillonas} \times 1.750 \frac{\text{USD}}{\text{vaquillona}} \right) - \left(2 \text{ vacas} \times \left(650 \text{ kg} \times 1,17 \frac{\text{USD}}{\text{kg}} \right) \right) \\ &= 1.974 \text{ USD} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la disminución del descarte anticipado generado por el sistema de aparte automático determina un menor costo de reposición (en empresas donde la recría propia no cubre el porcentaje de reposición planificado), o un aumento del ingreso por ventas de vaquillonas (en empresas donde la recría de vaquillonas excede la cantidad requerida para cubrir el porcentaje de reposición objetivo).

⁵ Precio del Litro de leche, promedio de 5 años (02/2020 – 02/2025). [Agroseries CREA](#)

⁶ Precio de vaca de descarte, promedio de 5 años (02/2020 – 02/2025). [Agroseries CREA](#)

Análisis de la Inversión

Aspectos a considerar para calcular Período de Repago, V.A.N. y T.I.R. de la inversión

Los tres beneficios previamente analizados dependen directa o indirectamente de la cantidad de animales que se ordeñen por tambo. Para poder extrapolar los beneficios a diferentes escalas de producción se realizaron los siguientes análisis.

Se estableció una correlación entre la duración del ordeño y el número de vacas en ordeño para calcular la duración del ordeño de diferentes escalas productivas. Para realizar dicha relación, se utilizaron datos del Censo CREA 2019. La figura 3 presenta el modelo ajustado y el grado de ajuste logrado para el set de datos con el que se construyó. A partir de la ecuación obtenida con ese modelo se simuló la duración del ordeño para tambos de entre 150 y 500 vacas en ordeño.

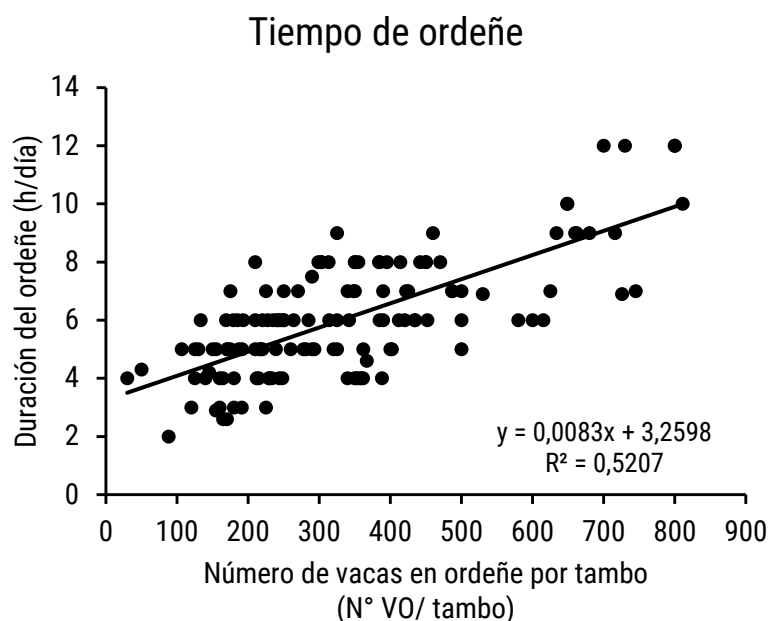


Figura 3. Duración del ordeño en función del número de vacas en ordeño por tambo (N° VO/tambo) para empresas que tienen entre 1 y 5 tambos con sistema de ordeño de espina de pescado. Número de casos: 136. Fuente: Censo CREA 2019.

Para calcular el consumo de electricidad, se ajustó un modelo para la relación establecida entre el consumo de electricidad del tambo y la cantidad de vacas en ordeño utilizando facturas de consumo de energía eléctrica de 7 empresas. En la figura 4 se presenta el modelo ajustado, su ecuación y el grado de ajuste alcanzado. Nuevamente, el modelo obtenido se utilizó para estimar el consumo de electricidad en tambos de entre 150 y 500 vacas en ordeño.

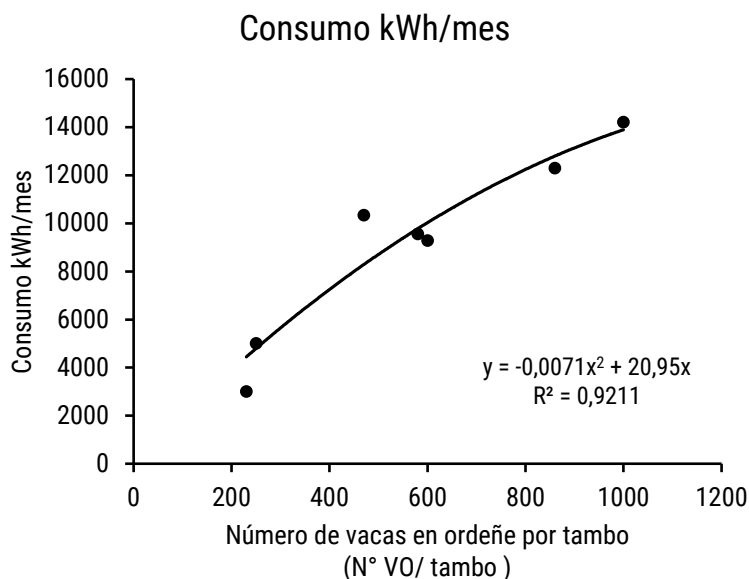


Figura 4. Consumo de energía eléctrica en función del número de vacas en ordeño por tambo (N° VO/tambo).

Finalmente, y ante la falta de datos para poder realizar estimaciones certeras, se asumió que en tambos con mayor cantidad de vacas en ordeño, la probabilidad de ocurrencia de traumatismos severos durante las tareas de aparte que se realizan de forma convencional se incrementa. De esta forma se estableció de forma arbitraria que en tambos donde se ordeñan hasta 300 vacas por día el descarte anticipado de animales generado por traumatismos severos durante los apartes se limitó a un solo animal por año. Mientras que en tambos de entre 300 y 500 vacas en ordeño el uso de la tecnología evito el descarte anticipado por golpes de dos animales por año.

Período de Repago

El período de repago de una tecnología indica el plazo de tiempo en el que se recupera el monto de la inversión realizada. Para calcularlo se divide el monto de la inversión en la tecnología por el diferencial de ingreso anual que se genera a partir de su utilización. Por lo tanto, para calcular el período de repago de una tecnología es necesario conocer y cuantificar su costo y el beneficio que reporta su uso.

- **Costo:** es el monto de la inversión en la tecnología más toda la infraestructura necesaria para instalarla.

Mayor costo de la tecnología, mayor periodo de repago de la inversión, asumiendo que los beneficios son constantes.

$$\text{Costo} = \text{Sistema de aparte} + \text{software} + \text{obra civil}$$

- **Beneficio:** es el ingreso adicional obtenido a partir del uso de la tecnología.
El uso de los sistemas de aparte automático agiliza el aparte de animales luego del ordeño y generan los siguientes beneficios:
 - Mayor eficacia al momento de separar animales que requieren de un tratamiento sanitario o reproductivo.
Por lo tanto, la mayor eficacia en los tratamientos realizados, reduce el uso de insumos veterinarios.
Mayor eficacia en el aparte de animales, menor periodo de repago.
 - Menor duración del proceso de ordeño (DO).
Por lo tanto, ahorro en el consumo de electricidad durante el ordeño.

Mayor ahorro de tiempo durante el ordeño, menor periodo de repago.

- Disminución de traumatismos severos durante el aparte que incrementan el descarte anticipado de animales (DAA).

Por lo tanto, al evitar el descarte de animales de forma anticipada, se genera una reducción del costo de reposición en vaquillonas (en empresas que no alcanzan el porcentaje de reposición objetivo), o un aumento del ingreso por ventas de vaquillonas de reposición (en empresas que exceden el porcentaje de reposición objetivo).

Menor descarte, menor periodo de repago.

*Beneficio: (ahorro en insumos veterinarios × VO tratadas)
+ (ahorro en DO × costo de electricidad)
+ (disminución en DAA × (costo de vaquillona – venta de vaca de descarte))*

En este caso, el período de repago de la tecnología se calcula según la siguiente fórmula:

$$\text{Período de repago} = \frac{\text{Inversión inicial (Costo)}}{\text{Ingreso anual extra (Beneficio)}}$$

$$\text{Período de repago} = \frac{\text{Sistema de aparte + software + obra civil}}{(\text{ahorro en insumos veterinarios} \times \text{VO tratadas}) + (\text{ahorro en DO} \times \text{costo de electricidad}) + (\text{disminución en DAA} \times (\text{costo de vaquillona} - \text{venta de vaca de descarte}))}$$

Tabla 5. Sensibilidad del periodo de repago de la inversión (años) ante variaciones en la escala de producción (N° VO/tambo) y la reducción del tiempo del proceso de ordeño generado por la adopción de sistemas de aparte automático.

		Número de vacas en ordeño por tambo (N° VO/tambo)							
		150	200	250	300	350	400	450	500
Reducción del tiempo del proceso de ordeño (%)	6%	10,0	8,4	7,2	6,4	4,6	4,2	3,9	3,7
	8%	9,6	8,1	7,0	6,1	4,4	4,1	3,8	3,5
	10%	9,4	7,8	6,7	5,9	4,3	4,0	3,7	3,4
	12%	9,1	7,6	6,5	5,7	4,2	3,8	3,5	3,3
	14%	8,8	7,3	6,3	5,5	4,1	3,7	3,4	3,2
	16%	8,6	7,1	6,1	5,3	3,9	3,6	3,3	3,1
	18%	8,3	6,9	5,9	5,1	3,8	3,5	3,2	3,0
	20%	8,1	6,7	5,7	5,0	3,7	3,4	3,2	2,9
	22%	7,9	6,5	5,5	4,8	3,6	3,3	3,1	2,9

Para estimar el beneficio, se asumió que el uso del sistema evita el descarte de 1 vaca por año en tambos de hasta 300 vacas, y de 2 vacas por año en tambos de 300 a 500 vacas, además del uso de IATF en el 20% del rodeo. Los beneficios calcularon según los supuestos detallados en la sección correspondiente. En cuanto a los costos, se consideró un sistema de 3 vías con software (22.300 USD) y la obra civil (920 USD).

Como se lee la tabla?

- **Ingreso por Número de vacas en ordeño (N° VO):** Si tienes 400 VO y quieres que el periodo de repago de la tecnología sea de 3,5 años o menos, tienes que lograr reducciones del tiempo de ordeño del orden del 18%, al menos.

- **Ingreso por el ahorro de tiempo durante el ordeño:** Si a partir del uso de la tecnología logras disminuir el tiempo de ordeño un 12%, para repagar la tecnología en menos de 6,5 años necesitas un rodeo de al menos 250 VO.
- **Ingreso por el periodo de repago:** Si quieres repagar la tecnología en menos de 4 años y por el uso de la tecnología logras disminuir el tiempo de ordeño un 8%, tenes que tener un rodeo de al menos 450 VO.

Valor Actual Neto (V.A.N)

El V.A.N. es el valor actual de los flujos de caja netos (ingresos - egresos) originados por una inversión en un determinado periodo de tiempo. Valores positivos de V.A.N. indican que la inversión produce ingresos mayores a una rentabilidad exigida. Por el contrario, valores de V.A.N. negativos indican que la inversión produce ingresos por debajo de la rentabilidad exigida. En este caso, el V.A.N. de la inversión depende de 3 grandes factores:

- Los beneficios que genera la automatización del aparte de los animales:
 - Mayor eficacia al momento de separar animales que requieren de un tratamiento sanitario o reproductivo.
Por lo tanto, la mayor eficacia en los tratamientos realizados reduce el uso de insumos veterinarios.
Mayor eficacia en el aparte de animales, mayor V.A.N. de la inversión.
 - Menor duración del proceso de ordeño (DO).
Por lo tanto, ahorro en el consumo de electricidad durante el ordeño.
Mayor ahorro de tiempo durante el ordeño, mayor V.A.N de la inversión.
 - Disminución de traumatismos severos durante el aparte que incrementan el descarte anticipado de animales (DAA).
Por lo tanto, al evitar el descarte de animales de forma anticipada, se genera una reducción del costo de reposición en vaquillonas (en empresas que no alcanzan el porcentaje de reposición objetivo), o un aumento del ingreso por ventas de vaquillonas de reposición (en empresas que exceden el porcentaje de reposición objetivo).
Menor descarte, mayor V.A.N de la inversión.
- El costo de los equipos.
Mayor costo de los equipos, menor V.A.N. de la inversión, asumiendo que los beneficios son constantes.
- La tasa de descuento o rendimiento esperado de la inversión.
Mayor tasa de descuento, menor V.A.N. de la inversión.

$$V.A.N. = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Ahorro en insumos veterinarios} + \text{Mejoras por menor duración del ordeño} + \text{Disminución de descartes}}{(1 + \text{tasa de descuento})^{\text{tiempo}}} - \text{Inversión inicial}$$

$$V.A.N. = \sum_{t=1}^n \frac{(\text{ahorro en insumos veterinarios} \times VO \text{ tratadas}) + (\text{ahorro en DO} \times \text{costo de electricidad}) + (\text{disminución en DAA} \times \text{beneficio en tasa de descarte})}{(1 + \text{tasa de descuento})^{\text{tiempo}}} - (\text{costo del equipo} + \text{obra civil})$$

Tabla 6. Sensibilidad del valor actual neto (V.A.N.) ante variaciones en la escala de producción (N° VO/ tambo) y la reducción del tiempo del proceso de ordeño generado por la adopción de los sistemas de aparte automático.

		Número de vacas en ordeño por tambo							
		150	200	250	300	350	400	450	500
Reducción del tiempo del proceso de ordeño (%)	6%	-10.055	-7.556	-5.073	-2.605	5.424	7.861	10.283	12.689
	8%	-9.623	-6.990	-4.379	-1.787	6.360	8.910	11.440	13.949
	10%	-9.191	-6.425	-3.684	-970	7.296	9.959	12.597	15.209
	12%	-8.759	-5.859	-2.990	-152	8.232	11.009	13.754	16.469
	14%	-8.327	-5.293	-2.296	666	9.168	12.058	14.911	17.729
	16%	-7.895	-4.728	-1.602	1.483	10.104	13.107	16.068	18.989
	18%	-7.463	-4.162	-907	2.301	11.040	14.156	17.225	20.249
	20%	-7.031	-3.596	-213	3.119	11.976	15.205	18.383	21.509
	22%	-6.599	-3.030	481	3.936	12.912	16.254	19.540	22.769

Para estimar el beneficio, se asumió que el uso del sistema evita el descarte de 1 vaca por año en tambos de hasta 300 vacas, y de 2 vacas por año en tambos de 300 a 500 vacas, además del uso de IATF en el 20% del rodeo. Los beneficios calcularon según los supuestos detallados en la sección correspondiente. Se consideró una tasa de descuento del 12%, flujos netos por 10 años. En cuanto a los costos, se consideró un sistema de 3 vías con software (22.300 USD) y la obra civil (920 USD).

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por Número de vacas en ordeño (N° VO):** Si tenés 350 VO y quieres que el V.A.N. de la tecnología sea superior a los 10.000 USD, tenes que lograr reducciones en el tiempo de ordeño de, al menos 16%.
- **Ingreso por mejoras en tiempo de ordeño:** Si a partir del uso de la tecnología logras disminuir el tiempo de ordeño un 16%, para que el V.A.N. sea superior a 1.400 USD necesitas contar con un rodeo de al menos 300 VO.
- **Ingreso por V.A.N.:** Si querés lograr un VAN superior a los 12.600 USD, y tu rodeo es de 500 VO, necesitas que la tecnología te permita reducir el tiempo del proceso de ordeño, al menos un 6%.

Tasa Interna de Retorno (T.I.R)

La Tasa Interna de Retorno (T.I.R) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Valores de T.I.R. superiores a la tasa de descuento (tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión) indican que la rentabilidad es superior a la rentabilidad exigida, valores de T.I.R. inferiores a la tasa de descuento (tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión) indican que el proyecto no alcanza la rentabilidad mínima exigida a la inversión.

Nuevamente en este caso la T.I.R. de la inversión depende de 3 grandes factores:

- Los beneficios que genera la automatización del aparte de los animales:
 - Mayor eficacia al momento de separar animales que requieren de un tratamiento sanitario o reproductivo.
Por lo tanto, la mayor eficacia en los tratamientos realizados reduce el uso de insumos veterinarios.
Mayor eficacia en el aparte de animales, mayor T.I.R. de la inversión.
 - Menor duración del proceso de ordeño (DO).

Por lo tanto, ahorro en el consumo de electricidad y menor costo de mano de obra en el ordeño.

Mayor ahorro de tiempo durante el ordeño, mayor T.I.R. de la inversión.

- c. Disminución de traumatismos severos durante el aparte que incrementan el descarte anticipado de animales (DAA).

Por lo tanto, al evitar el descarte de animales de forma anticipada, se genera una reducción del costo de reposición en vaquillonas (en empresas que no alcanzan el porcentaje de reposición objetivo), o un aumento del ingreso por ventas de vaquillonas de reposición (en empresas que exceden el porcentaje de reposición objetivo).

Menor descarte, mayor T.I.R. de la inversión.

- (ii) El costo de los equipos.

Mayor costo de los equipos, menor T.I.R. de la inversión, asumiendo que los beneficios son constantes.

- (iii) La tasa de descuento o rendimiento esperado de la inversión.

Mayor tasa de descuento, menor T.I.R. de la inversión.

Tabla 7. Sensibilidad de la Tasa Interna de Retorno (TIR) ante variaciones en la escala de producción (N° VO/tambo) y la reducción del tiempo del proceso de ordeño generado por la adopción de los sistemas de aparte automático.

		Número de vacas en ordeño por tambo							
		150	200	250	300	350	400	450	500
Reducción del tiempo del proceso de ordeño (%)	6%	0,1%	3,4%	6,4%	9,2%	17,5%	19,8%	22,1%	24,2%
	8%	0,7%	4,1%	7,2%	10,1%	18,4%	20,8%	23,1%	25,4%
	10%	1,2%	4,8%	8,0%	11,0%	19,3%	21,8%	24,2%	26,5%
	12%	1,8%	5,4%	8,8%	11,8%	20,1%	22,7%	25,2%	27,6%
	14%	2,4%	6,1%	9,5%	12,7%	21,0%	23,7%	26,2%	28,7%
	16%	2,9%	6,8%	10,3%	13,5%	21,9%	24,6%	27,3%	29,8%
	18%	3,5%	7,4%	11,0%	14,4%	22,8%	25,6%	28,3%	30,9%
	20%	4,0%	8,1%	11,8%	15,2%	23,6%	26,5%	29,3%	32,0%
	22%	4,5%	8,7%	12,5%	16,0%	24,4%	27,4%	30,3%	33,0%
Para estimar el beneficio, se asumió que el uso del sistema evita el descarte de 1 vaca por año en tambos de hasta 300 vacas, y de 2 vacas por año en tambos de 300 a 500 vacas, además del uso de IATF en el 20% del rodeo. Los beneficios calcularon según los supuestos detallados en la sección correspondiente. Se consideró una tasa de descuento del 12%, flujos netos por 10 años. En cuanto a los costos, se consideró un sistema de 3 vías con software (22.300 USD) y la obra civil (920 USD). El cálculo de la T.I.R se realizó con planillas de cálculo.									

Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por Número de vacas en ordeño (N° VO):** Si tenés 200 VO y quieres que la T.I.R. de la tecnología sea igual o superior al 6%, tenes que lograr reducciones en el tiempo de ordeño de al menos 14%.
- **Ingreso por mejoras en tiempo de ordeño:** Si a partir del uso de la tecnología logras disminuir el tiempo de ordeño en un 10%, para que la T.I.R. sea mayor a 26% necesitas tener un rodeo de al menos 500 VO.

- **Ingreso por T.I.R.:** Si querés lograr una T.I.R mayor al 17%, y tu rodeo es de 350 VO, necesitas que la tecnología te permita reducir el tiempo del proceso de ordeño al menos un 6%.

Cálculo de la cuota de amortización

En términos contables, la cuota de amortización refleja la depreciación estimada de un bien. El término depreciación refiere a la pérdida de valor que sufren los bienes de uso durante un período de tiempo determinado.

Para realizar el cálculo de la cuota de amortización se consideró la inversión total en la tecnología (Tabla 1) y su vida útil estimada (10 años). En este caso se determinó que la tecnología no posee valor residual. La cuota de amortización se expresó en litros de leche por año. Para ello, se dividió la cuota de amortización por el precio del litro de leche, tomando como referencia 0,35 USD/L⁷, que es el valor promedio de los últimos 5 años (02/2020 – 02/2025). Para sensibilizar su análisis se simuló una variación del precio del litro de leche al alza y a la baja.

$$\text{Cuota de amortización} = \left(\frac{\text{Valor a nuevo}}{\text{Vida útil}} \right) / \text{Precio de leche}$$

En este caso, la cuota de amortización depende de dos grandes factores:

- La cantidad de vacas en ordeño (VO).
Mayor cantidad de VO, menor cuota de amortización.
- El precio del litro de leche.
Mayor precio del litro de leche, menor cuota de amortización.

Tabla 8. Cuota de amortización (expresada en Litros de leche/Vaca en ordeño/año).									
		Número de vacas en ordeño por tambo							
		150	200	250	300	350	400	450	500
Precio leche (USD/L)	0,26	59,5	44,7	35,7	29,8	25,5	22,3	19,8	17,9
	0,28	55,3	41,5	33,2	27,6	23,7	20,7	18,4	16,6
	0,30	51,6	38,7	31,0	25,8	22,1	19,4	17,2	15,5
	0,32	48,4	36,3	29,0	24,2	20,7	18,1	16,1	14,5
	0,34	45,5	34,1	27,3	22,8	19,5	17,1	15,2	13,7
	0,36	43,0	32,3	25,8	21,5	18,4	16,1	14,3	12,9
	0,38	40,7	30,6	24,4	20,4	17,5	15,3	13,6	12,2
	0,40	38,7	29,0	23,2	19,4	16,6	14,5	12,9	11,6
Para realizar los cálculos se consideró una vida útil de 10 años que contempla el reemplazo por obsolescencia de la tecnología. En cuanto a los costos, se consideró un sistema de 3 vías con software (22.300 USD) y la obra civil (920 USD).									

Como se lee la tabla?

- **Ingreso por Número de vacas en ordeño (N° VO):** Si tenes 400 VO y quieres pagar una cuota de amortización de la tecnología inferior a los 19,4 litros de leche/VO/año, el precio de la leche debiera ser de al menos 0,30 USD/L.

⁷ Precio del Litro de leche, promedio de 5 años (02/2020 – 02/2025). [Agroseries CREA](#)

- **Ingreso por precio de leche:** Si el precio de la leche es de 0,34 USD/L y quieres que la cuota de amortización de la tecnología sea inferior a los 27,3 litros de leche/VO/año, tenes que tener un rodeo de al menos 250 VO.
- **Ingreso por valor de la cuota de amortización:** Para no pagar una cuota de amortización mayor a 41,5 Litros de leche/Vaca en ordeño/año, si tu rodeo es de 200 VO, necesitas que el precio del litro de leche sea de al menos 0,28 USD/L.

Mantenimiento y Servicio Postventa

Las puertas de aparte automático son resistentes a las inclemencias climáticas y no requieren de gran mantenimiento. Las piezas que si requieren mantenimiento periódico son las fotocélulas ya que suelen ensuciarse y para que cumplan correctamente su función es necesario mantenerlas limpias. A su vez, las fotocélulas son el componente electrónico más expuesto a la intemperie y pueden romperse, por lo cual es necesario cambiarlas. Por otro lado, suele establecerse un esquema de lubricación y control periódico de válvulas y cilindros para evitar desgastes excesivos de esos componentes. Contar con centros de servicio postventa cerca del establecimiento donde se implementará la tecnología es un punto a tener en cuenta. No obstante, las empresas proveedoras suelen ofrecer asistencia remota.

Algunas referencias de empresas proveedoras

Empresa	
	Webpage: https://www.afimilk.com/es/ Contacto: Zavattieri Francisco e-mail: francisco@afimilk.com
	Webpage: https://www.villanueva.com.ar/
Otros proveedores	Cow Manager DataMars DeLaval ENGs Systems GEA Lely Trazamax

Agradecimientos

Al Ingeniero Agrónomo y PhD. en Ciencia Animal Alejandro Palladino y al Médico Veterinario y PhD. Santiago Bas por los aportes de información y las sugerencias realizadas para definir y mejorar las metodologías de análisis que se utilizaron para elaborar los resultados que se presentan en el trabajo.