

Ficha Tecnológica #1: Collares de actividad y rumia



Área de Innovación. Unidad de I+D

Ing. Agr. Nicolás Ciancio
Ing. Agr. Gabriel Tinghitella

Patrocinador

afimilk[®]
Automating Dairy Farms

Auspiciante

 **Santander**
Agronegocios

Componentes

Los collares son dispositivos que, a partir de diferentes tipos de sensores, miden variables (por ejemplo: posición, actividad, rumia, consumo, jadeo) que permiten desarrollar índices o indicadores de utilidad para tomar decisiones. Principalmente esos índices/indicadores están asociados con la detección de celo y el monitoreo de la salud de los animales. Los elementos que se necesitan para que la tecnología funcione son:

- 1) Collares.
- 2) Antena o lector.

Poseen un radio de alcance determinado. Cuando los collares están dentro de ese radio de alcance, la antena captura los datos y los transmite al controlador de procesos.
- 3) Controlador de procesos o relé.

Recibe los datos de los collares y los transforma en información útil para la toma de decisiones.
- 4) Computadora en el tambo

Permite visualizar la información generada por el controlador de procesos. En tambos con conexión a internet es posible visualizar la información en tiempo real desde diferentes lugares con cualquier dispositivo (celular, tablet, computadora).

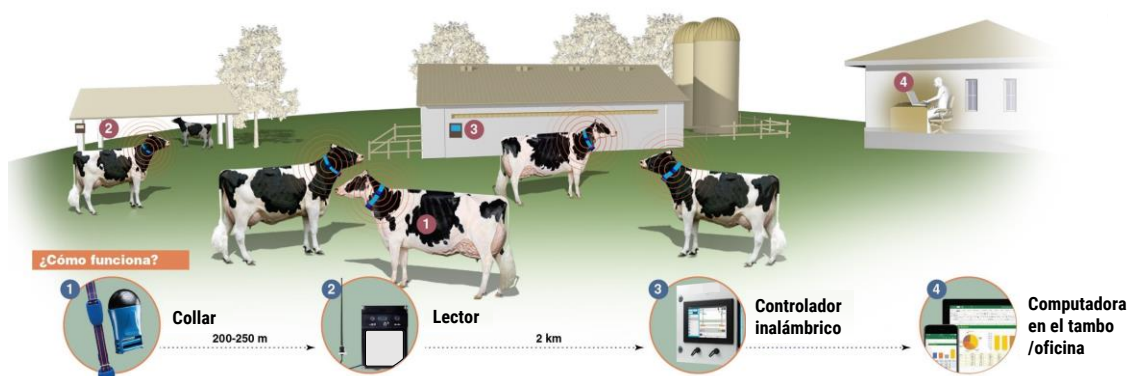


Figura 1. Esquema de componentes* y funcionamiento del sistema de monitoreo individual con collares. *El nombre y la cantidad de componentes puede variar entre los distintos proveedores de la tecnología.

Funcionamiento

Los **collares** recolectan datos de cada vaca mediante sensores. Los tipos de datos relevados varían en función de los tipos de **sensores** que contienen los collares. Se puede monitorear el geoposicionamiento de cada animal, su patrón de actividad, los niveles de rumia, consumo y jadeo. Los registros se realizan los 7 días de la semana, las 24 horas del día (con una frecuencia de registro pre-seteada) y quedan almacenados en el collar por un tiempo acotado.

Para poder capturar los datos y analizarlos es necesario que los animales entren en el radio de alcance de la **antena**. En sistemas pastoriles normalmente la antena se coloca en las inmediaciones de la sala de ordeñe, mientras que en sistemas estabulados puede colocarse en los galpones. La antena capta los datos de cada collar y los transmite al **controlador de procesos**.




El controlador de procesos toma los datos de cada animal por separado y elabora una serie de **índices** individuales. Normalmente, a partir de los datos de movimiento y rumia¹, se calculan índices para la detección de celo y el monitoreo del estado de salud de los animales, aunque también se desarrollan otros tipos de índices como los de estrés calórico a partir de la medición del jadeo de los animales.

Los índices se calculan analizando los registros actuales de cada animal y se comparan con el valor promedio de cada animal durante la hora anterior. Cuando un índice se encuentra fuera del rango pre-establecido o se detecta una anomalía respecto de los valores registrados en el resto del rodeo se dispara una **alerta** que notifica a los tomadores de decisiones.

Más allá de las alertas, los índices permiten analizar distintos tipos de parámetros para tomar **decisiones de manejo** (por ejemplo, analizar el tiempo de rumia para ajustar el porcentaje de fibra en la dieta).

Sistemas disponibles y características

Actualmente, en el país existen varias empresas que ofrecen collares. Las más reconocidas son:

Marca		DeLaval	Allflex	nedap
Comercializa	 	DeLaval	Villanueva	Ciale Alta

Existen algunas diferencias técnicas entre los collares y antenas que ofrecen las distintas empresas. Algunas de ellas son:

- La duración de la batería.
- Los sensores que contienen y, por lo tanto, las variables que pueden medir (posición, actividad, rumia, consumo, jadeo).
- La compatibilidad con distintos tipos de softwares.
- La compatibilidad con las diferentes marcas de puertas de aparte automático.
- El radio de alcance de las antenas o lector.

Que permiten hacer?

- ✓ Detectar mayor cantidad de celos.
- ✓ Detectar el mejor momento para realizar la inseminación según el ciclo de cada animal.
- ✓ Medir estrés calórico.
- ✓ Realizar detección temprana de problemas de salud (hasta 2 días de anticipación).
- ✓ Intervenir anticipadamente para evitar problemas severos y reducir pérdidas de producción.
- ✓ Reducir el nivel de uso de insumos veterinarios (costo de tratamientos sanitarios).
- ✓ Ajustar dietas (en función de los tiempos de rumia).

¹ Algunos collares miden actividad, pero no miden rumia. Para calcular índices reproductivos y sanitarios, utilizan mediciones realizadas durante el ordeño (flujo de leche, conductividad y sangre).

Aspectos a considerar

- ⚠ Los datos que registran los collares solo se capturan cuando ingresan en el radio de alcance de las antenas (200-250m). Por lo tanto, en función de las características de las instalaciones, puede existir la necesidad de comprar más de una antena.
- ⚠ La batería determina la vida útil del collar (una vez que se agota la batería del collar, hay que reemplazarlo por un collar nuevo).
- ⚠ La maximización del beneficio que reporta el uso de esta tecnología se logra cuando se combina con tecnologías complementarias, como las puertas de aparte automáticas. (Estás permiten automatizar el proceso de aparte de animales a partir de las alertas que se disparan por el uso de los collares).
- ⚠ En caso de incorporar puertas de aparte automatizadas, chequear su compatibilidad con las diferentes marcas de collares.
- ⚠ Hay que contemplar tiempo de dedicación de algún integrante del equipo para analizar e interpretar la información que genera esta tecnología.
- ⚠ Hay un costo de aprendizaje.

Experiencias de usuarios

Qué problemas solucionó? Que oportunidades permitió capturar?

“Con el collar se pasó de detectar entre el 65-70% de los celos al 95%.”

“Con la alerta de caída de rumia, mejoramos el manejo de la vaca que tenía algún síntoma de indigestión y también la detección de mastitis sub-clínicas que se nos pasaban. Con esto último bajamos el número de células somáticas en leche.”

“El tambo que tenía problemas reproductivos, en los últimos 12 meses mejoro la tasa de preñez del 13% al 22%. El otro tambo grande tenía bien el tema reproductivo pero sirvió para trabajar en temas de salud animal y hubo buenos resultados.”

“Es muy fácil poner en práctica. Solo se miran las alertas. De todo lo que está bien, te olvidas.”

“Los que trabajan en el tambo me dicen: No sé qué haría hoy sin los collares.”

“Hay un cambio muy grande en el manejo de la vaca, se vuelve a manejar la vaca de manera individual”

Qué obstáculos se presentaron al momento de la implementación?

“La puerta apartadora es una herramienta complementaria indispensable para los collares. Sin la puerta apartadora, las vacas detectadas con celo o problemas de salud se van de vuelta para el campo”.

“Hoy en día no llegamos a aprovechar los avisos de estrés pre parto. No terminamos de entender cuando es el momento para trabajar una vez que se emite la alerta”.

“Tener internet no es indispensable para el funcionamiento de esta tecnología, pero te permite ver la información en tiempo real desde cualquier ubicación”

“Hay que ajustar los valores de rumia a cada sistema, los valores pre-seteados parecen ser de tambos encerrados”

“Collares por sí solos no sirven para medir bien la actualidad del desempeño del rodeo. Si se quiere afinar el manejo del rodeo debería apoyarse en los diferentes programas que existen y que están interrelacionados entre ellos (manejo reproductivo, manejo productivo, manejo nutricional)”

“Los collares permiten detectar antes los problemas de salud, pero obvio, sin saber cuál es el problema²”

Relación Costo/Beneficio

Costo

El costo de la tecnología tiene una componente fija (el procesador y la/s antena/s) y otra variable, (la cantidad de collares adquiridos) que depende de los animales que se vayan a equipar con la tecnología.

Tabla 1. Costo de los componentes del sistema de collares de actividad y rumia.

	Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 4
Antena+procesador+instalación (USD)	6000 – 8000	6000 - 7800	5500 - 7500	6000-8000
Collar (USD/unidad)	154 - 198	97	165	170-190
Vida Útil (años)	7	10	10	7

Los costos fijos varían en función del proveedor y/o la cantidad de antenas necesarias para equipar las instalaciones. El costo de cada collar varía según el tipo y la cantidad de sensores que contiene. Es factible que el precio de compra unitario disminuya con el incremento del número de unidades compradas. Algunos proveedores ofrecen una garantía mínima por collar, con la posibilidad de extenderla.

Es importante tener en cuenta que no es necesario equipar la totalidad del rodeo con collares desde el momento inicial. Se puede comenzar equipando a los animales de una categoría determinada (ejemplo: vacas frescas) o de un determinado rodeo dentro de una categoría (ejemplo: rodeo de alta producción de las vacas en ordeño).

Normalmente la instalación de los equipos y las capacitaciones están incluidas en el precio de compra de la tecnología, pero es conveniente consultarlo con la empresa proveedora.

Beneficio

Los collares, a partir de los sensores que contienen, permiten registrar datos de distintos tipos de variables (i.e.: posición, actividad, rumia, consumo, jadeo). A partir de esos registros, se desarrollan indicadores o índices que resultan de utilidad para la toma de decisiones vinculadas con la gestión reproductiva y sanitaria de los rodeos. El uso de collares equipados con sensores que posibilitan el desarrollo de indicadores para monitorear patrones de actividad y rumia de los animales permiten disminuir el tiempo dedicado a la detección de celo y mejorar las tasas de detección de celo y preñez. También, permiten anticipar la detección de problemas de salud que eventualmente podrían agravarse y determinar el descarte anticipado o la muerte de las vacas.

² Cuando los tambos cuentan con medidores de leche en la sala de ordeño y miden flujo de leche, conductibilidad y sangre, es posible asociar dichos parámetros con casos de mastitis.

A continuación se presentan dos casos de análisis a modo de ejemplo.

Casos de Análisis:

Mejoras de las tasas de detección de celo y preñez

Los collares equipados con sensores de actividad y rumia permiten detectar incrementos en el nivel de actividad y caídas en el nivel de rumia de los animales³. Esos indicadores, si bien son indirectos, cuando se presentan en forma simultánea, suelen ser muy buenos predictores del inicio del período de celo de los animales. Por lo tanto, el uso de este tipo de collares permite detectar una mayor cantidad de celos, y conocer el momento en el que comienzan. Esto resulta de gran utilidad para saber cuál es el mejor momento para inseminar a un animal y así maximizar la tasa de preñez (TP).

El principal beneficio asociado con el aumento de la TP es la mayor cantidad de vacas preñadas en un determinado número de servicios (inseminaciones). A raíz de esto, el incremento de la TP determina que menos vacas quedan vacías (sin preñar). Luego de una determinada cantidad de intentos de preñar, las vacas vacías se descartan del rodeo por no ingresar a una nueva lactancia. Por lo tanto, el aumento en la TP determina que se requieran menos vaquillonas para reponer los animales descartados. En tambos donde la cantidad vaquillonas recriadas no logra cubrir la reposición del descarte, el beneficio que reporta el uso de esta tecnología implica destinar menos recursos a la compra de vaquillonas de reposición. En tambos donde la cantidad de vaquillonas recriadas supera a la cantidad de animales que se descartan, el beneficio que reporta el uso de esta tecnología implica disponer de un mayor número de vaquillonas recriadas para vender.

Una forma posible de cuantificar el beneficio que reporta el uso de esta tecnología puede hacerse calculando la diferencia en cantidad de vacas preñadas entre un rodeo equipado con collares y otro rodeo de similares características pero en el que las vacas no están equipadas con esta tecnología. Como explicamos previamente, usar collares incrementa la TP. Para realizar el cálculo se debe tener en cuenta el número máximo de servicios a los que se exponen las vacas para quedar preñadas. La diferencia en la cantidad de vacas preñadas entre el rodeo equipado con collares y el rodeo que no cuenta con esa tecnología en esa cantidad de servicios, debe multiplicarse por el precio de compra de una vaquillona. Este monto, en tambos donde la cantidad de vaquillonas de reposición no cubre el descarte, equivale al costo de las vaquillonas que se dejan de comprar para reponer animales descartados. En tambos donde la cantidad de vaquillonas de reposición excede al descarte, ese monto equivale al ingreso extra por el incremento de la cantidad de vaquillonas que se venden. En ambas situaciones es necesario restar el ingreso que se hubiese generado por la venta de vacas de descarte (que con ayuda de los collares lograron quedar preñadas).

A continuación se presenta un caso donde se cuantifica el beneficio económico que reporta el aumento en las tasas de detección de celo y preñez a partir del uso de collares.

Caso de Análisis:

- Tamaño de rodeo: 100 vacas en ordeño*
*Supuesto: Todas las vacas vacías al momento de realizar el primer servicio.
- TP: 22%
- Mejora de la TP por implementación de collares: 1%
- N° de servicios: 6
- Peso vivo vaca de descarte: 650 Kg

³ Collares sin medición de rumia, cuando cae la leche y coincide con alta actividad, indica el inicio del celo.

- Precio de vaquillonas de reposición: 1.680 USD (6.000 litros de leche x 0,28 USD/litro)**.
 - Precio vaca de descarte: 1,37 USD/Kg***
- **Cantidad de litros y precio de leche históricos, utilizado para valuar vaquillonas.
 ***precio promedio últimos 4 años (marzo 2023)

En este ejemplo se consideró un momento inicial en el que el rodeo estaba completamente vacío. Para calcular la cantidad de vacas preñadas en el primer servicio se multiplico la totalidad de vacas vacías por la TP. Las vacas que no quedaron preñadas pasaron como vacas vacías al próximo servicio y así sucesivamente hasta llegar al 6^{to} servicio. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores reproductivos en un rodeo sin collares de actividad y rumia*.						
Servicio	1 ^{ro}	2 ^{do}	3 ^{er}	4 ^{to}	5 ^{to}	6 ^{to}
N° vacas para inseminar	100	78	61	47	37	29
N° vacas preñadas por servicio	22	17	13	11	8	6
N° vacas preñadas total	22	39	52	63	71	77
N° vacas vacías total	78	61	48	37	29	23

*Algunos collares no miden rumia. Dichos collares miden la actividad de los animales y para complementar el cálculo de índices reproductivos utiliza la medición de producción de leche realizada en la sala de ordeño.

Como se observa en la Tabla 2, en el 1^{er} servicio se inseminan 100 vacas. Al utilizar una TP de 22%, quedan preñadas 22 vacas, y pasan al 2^{do} servicio 78 vacas como vacías. En el 2^{do} servicio, se inseminan las 78 vacas vacías resultantes del 1^{er} servicio. Nuevamente, la TP es 22% por lo que se preñan 17 vacas, y 61 vacas pasan como vacías al 3^{er} servicio. Este procedimiento se repite en los sucesivos servicios hasta llegar al 6^{to} servicio, que es la última oportunidad de servicio en este rodeo. En este último servicio, quedan preñadas 6 vacas, logrando un acumulado de 77 vacas preñadas sobre un total de 100 vacas con posibilidad de preñarse. Los 23 animales que quedan sin preñarse se descartan del rodeo.

En la Tabla 3 se presenta el mismo ejercicio que se presentó en la Tabla 2, para un rodeo de similares características al que analizamos previamente pero en el que las vacas están equipadas con collares. En este caso se considera que la implementación de los collares reporta un incremento de la TP en un 1%, es decir, la TP pasa de 22% a 23%.

Tabla 3. Indicadores reproductivos en un rodeo con collares de actividad y rumia*.						
Servicio	1 ^{ro}	2 ^{do}	3 ^{er}	4 ^{to}	5 ^{to}	6 ^{to}
N° vacas para inseminar	100	77	59	45	35	27
N° vacas preñadas por servicio	23	18	14	10	8	6
N° vacas preñadas total	23	41	55	65	73	79
N° vacas vacías total	77	59	45	35	27	21

*Algunos collares no miden rumia. Dichos collares miden la actividad de los animales y para complementar el cálculo de índices reproductivos utiliza la medición de producción de leche realizada en la sala de ordeño.

En el ejemplo se observa que luego del 6^{to} servicio, la cantidad de vacas preñadas y vacías fue 79 y 21, respectivamente (2 más preñadas y 2 menos vacías respecto del rodeo en el que las vacas no estaban equipadas con collares y donde la TP fue 22%).

Como resultado de la implementación de los collares, las dos vacas adicionales que se preñan determinan que 2 vacas menos vayan a descarte y por ende se necesiten 2 vaquillonas menos para reposición.

De esta forma se obtiene como beneficio una disminución de la cantidad de vaquillonas de reposición. Como explicamos previamente, en tambos donde la cantidad de vaquillonas de reposición no cubre el descarte, el beneficio equivale al costo de las vaquillonas que se dejan de comprar para reponer los animales que se descartan, mientras que en tambos donde la cantidad de vaquillonas de reposición excede al descarte, ese monto equivale al ingreso extra por el incremento de la cantidad de vaquillonas que se venden.

Aquí se presenta la ecuación para realizar el cálculo del beneficio y los ejemplos numéricos para el caso de análisis planteado, asumiendo los supuestos considerados:

Ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Beneficio 1} &= \left(\frac{(N^\circ \text{ vacas preñadas}(c/collar) - N^\circ \text{ vacas preñadas}(s/collar)) \times \text{precio vaquillona}}{N^\circ \text{ vacas en servicio}} \right) \\ &- \left(\frac{(N^\circ \text{ vacas preñadas}(c/collar) - N^\circ \text{ vacas preñadas}(s/collar)) \times \text{precio vaca descarte}}{N^\circ \text{ vacas en servicio}} \right) \end{aligned}$$

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Beneficio 1} &= \frac{(79 \text{ vacas} - 77 \text{ vacas}) \times (6000L \times \frac{0,28USD}{L})}{100 \text{ vacas}} \\ &- \frac{(79 \text{ vacas} - 77 \text{ vacas}) \times (650 \text{ Kg} \times 1,37USD)}{100 \text{ vacas}} = 15,8 \text{ USD/vaca} \end{aligned}$$

Tabla 4. N° de vaquillonas extra que se obtienen a partir de la implementación de collares. Beneficio cuantificados por rodeo y por cabeza.

Mejora TP (%)	N° vaquillonas	Beneficio USD/rodeo	Beneficio USD/cab
1	2	1.579	15,8
2	4	3.158	31,6
3	6	4.737	47,4
4	8	6.316	63,2
5	9	7.106	71,1
6	11	8.685	86,9

Para realizar los cálculos de vaquillonas extra para diferentes porcentajes de mejora en la TP, se realizó la simulación de vacas preñadas en 6 servicios al igual que en las Tablas 2 y 3, tomando los siguientes supuestos: TP (rodeo sin collares)= 22% y TP (rodeo con collares)= 22% + (Mejora en la TP). El cálculo de los beneficios a escala de rodeo se realizó considerando un rodeo de 100 vacas.

Un beneficio adicional que reporta el uso de esta tecnología es la posibilidad de mantener el nivel de detección de celos en momentos en los que la persona encargada de llevar a cabo esta tarea no está disponible (i.e.: está realizando otras tareas, no está en el establecimiento, etc.).

Mejoras en el manejo de la salud del rodeo y reducción del descarte anticipado y la tasa de mortandad de animales

Los collares equipados con sensores de actividad y rumia permiten detectar caídas en los niveles de actividad y rumia de los animales. Esos indicadores, si bien son indirectos, cuando se presentan en forma simultánea, suelen ser muy buenos predictores de la ocurrencia de algún problema de salud. Los collares permiten detectar problemas de salud de forma anticipada (en algunos casos, hasta 2 días antes de lo que lo puede hacer un especialista). La detección anticipada de problemas de salud reporta, al menos, dos grandes grupos de beneficios:

- Anticipar la detección de problemas de salud leves (i.e.: mastitis subclínicas o problemas de patas).
De esta forma se evita que estos tipos de problemas avancen de manera irreversible, y determinen el descarte del animal.
Adicionalmente, ante problemas de salud leves, actuar temprano puede determinar: i) reducción en el uso de insumos veterinarios, ii) reducción en el uso de productos antibióticos y descartes de leche (por presencia de antibióticos en leche) y iii) mejoras en la calidad de la leche (reducción en el conteo de células somáticas/mililitro de leche) y por lo tanto, en su precio de venta.
- Anticipar la detección de problemas de salud graves (i.e.: desplazamiento de abomaso).
De esta forma se puede intervenir a tiempo y reducir la tasa de mortandad.

Cada punto porcentual de disminución en las tasas de descarte (TD) o en las tasas de mortandad (TM) del rodeo, determina la reducción en la cantidad de vaquillonas de reposición. En tambos donde la cantidad de vaquillonas recriadas no logra cubrir la cantidad de animales a reponer, el beneficio que reporta el uso de esta tecnología implica destinar menos recursos a la compra de vaquillonas de reposición. En tambos donde la cantidad de vaquillonas recriadas supera a la cantidad de animales que deben reponerse, el beneficio que reporta el uso de esta tecnología implica disponer de un mayor número de vaquillonas recriadas para vender.

Una forma de calcular el beneficio que reporta el uso de esta tecnología puede hacerse multiplicando el porcentaje de mejora en la TD y/o en la TM por el tamaño del rodeo y por el precio de compra de una vaquillona.

A continuación se presenta un caso donde se cuantifica el beneficio económico que reporta la reducción en la TD y la TM en un tambo en el que se utilizan collares.

Caso de Análisis:

- Tamaño del rodeo: 400 vacas en ordeño
- Tasa de reposición: 29,4%*
*Tasa promedio del movimiento CREA (Gestiones 2020/2021).
- Mejora de la TD a partir del uso de collares: 4%
- Mejora de la TM a partir del uso de collares: 2%
- Precio de vaquillonas de reposición: USD 1.680 (6.000 litros de leche x 0,28 USD/litro)**.
**Cantidad de litros y precio de leche históricos, utilizado para valorar vaquillonas.

Aquí se presentan las ecuaciones y el cálculo del beneficio económico capturado al reducir el costo de reposición de animales generado por las mejoras en la TD y la TM que reporta la implementación de collares, asumiendo los supuestos considerados para este caso de análisis.

Ecuaciones:

$$\text{Costo de reposición} = \frac{\text{tamaño del rodeo} \times \% \text{ reposición}}{100} \times \text{precio de vaquilla}$$

$$\text{Beneficio 2} = \frac{\% \text{ de mejora (mortandad y descarte)} \times \text{tamaño del rodeo}}{100} \times \text{precio de vaquilla}$$

Cálculos:

$$\text{Costo de reposición} = \frac{400 \times 29,4\%}{100} \times 1680 \text{ USD} = 197.568 \text{ USD}$$

$$\text{Beneficio 2} = \frac{6\% \times 400}{100} \times 1680 \text{ USD} = 40.320 \text{ USD}$$

Tabla 5. Costo de reposición (mortandad + descarte), porcentaje y cantidad de ahorro de dinero a escala de rodeo y por cabeza, según porcentaje de mejora en el descarte de animales.

Mejora TD+TM (%)*	Costo reposición en USD	Porcentaje de ahorro	Ahorro en USD/rodeo	Ahorro en USD/cab
0	197.568	-	-	-
1	190.848	3,4%	6.720	16,8
2	184.128	6,8%	13.440	33,6
3	177.408	10,2%	20.160	50,4
4	170.688	13,6%	26.880	67,2
5	163.968	17,0%	33.600	84,0
6	157.248	20,4%	40.320	100,8

*Para realizar los cálculos se tomó como porcentaje de reposición base el 29,4% (Tasa promedio de mortandad + descarte del Movimiento CREA, Gestiones 2020/2021). Se consideró la reposición de la totalidad de los animales que se descartan. El cálculo de los beneficios a escala de rodeo se realizó considerando un rodeo de 400 vacas.

Análisis de la Inversión

Período de Repago

El período de repago nos indica en cuanto tiempo se recupera el monto de la inversión. Para calcularlo se divide el costo de la tecnología por el ingreso anual generado a partir de su utilización. Por lo tanto, es necesario conocer y cuantificar el costo y el beneficio.

- Costo: es el monto de la inversión en la tecnología.
Mayor costo de la tecnología, mayor periodo de repago de la inversión.

$$\text{Costo} = \text{Antena} + \text{procesador} + (\text{Costo del collar} \times N^{\circ} \text{ de collares}) + \text{Costo de instalación}$$

- Beneficio: es el ingreso adicional obtenido a partir del uso de la tecnología.
El uso de collares mejora la gestión reproductiva y sanitaria de los rodeos y genera los siguientes beneficios:

- Incremento en la tasa de preñez (TP)
Por lo tanto, menor tasa de descarte por vacas vacías y más terneros para la venta.
Mayor tasa de preñez, menor periodo de repago.
- Reducción en la tasa de mortandad de animales (TM)
Por lo tanto, disminución del costo de reposición de vaquillonas (en empresas que no alcanzan el porcentaje de reposición objetivo), o aumento del ingreso por ventas de vaquillonas de reposición (en empresas que exceden el porcentaje de reposición objetivo).
Menor mortandad, menor periodo de repago.
- Reducción en la tasa de descarte de vacas (TD)
Por lo tanto, disminución del costo de reposición de vaquillonas (en empresas que no alcanzan el porcentaje de reposición objetivo), o aumento del ingreso por ventas de vaquillonas de reposición (en empresas que exceden el porcentaje de reposición objetivo).
Menor descarte, menor periodo de repago.

$$\text{Beneficio} = (\text{Mejora en TP} \times \text{beneficio en TP}) + (\text{Disminución en TM} \times \text{beneficio en TM}) + (\text{Disminución en TD} \times \text{beneficio en TD})$$

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

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

$$\text{Período de repago} = \frac{\text{Antena} + \text{procesador} + (\text{Costo del collar} \times \text{N}^\circ \text{ de collares}) + \text{Costo de instalación}}{(\text{Mejora en TP} \times \text{beneficio en TP}) + (\text{Disminución en TM} \times \text{beneficio en TM}) + (\text{Disminución en el TD} \times \text{beneficio en TD})}$$

Tabla 6. Sensibilidad del período de repago de la inversión (años) ante variaciones en el número de collares adquiridos y la mejora en la tasa de reposición lograda por utilizar la tecnología.

		N° de Collares								
		200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Mejora en tasa de reposición (%)	2,0	3,8	3,6	3,5	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3
	2,5	3,4	3,2	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9
	3,0	3,0	2,8	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
	3,5	2,7	2,5	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3	2,3
	4,0	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	4,5	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9
	5,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
	5,5	1,9	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6
	6,0	1,8	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5

Aclaración: Los collares pueden generar mejoras en diferentes aspectos. Para este análisis de sensibilidad se consideró que, en todos los casos, los collares mejoran la tasa de preñez en 1,5%. Para realizar los cálculos se utilizó: el costo promedio de los proveedores 1 y 3, ya que comercializan collares con características similares (antena+procesador+instalación 7.750 USD, collar 181,5 USD/unidad y 8,5 años de vida útil) y el valor histórico del litro de leche (0,28 USD/litro).

Como se lee la tabla?

- **Ingreso por Número de collares:** Si tienes 400 vacas con collares y a partir del uso de la tecnología logras mejorar la tasa de reposición en un 4%, recuperas la inversión en 2,2 años.
- **Ingreso por mejoras en tasa de reposición:** Si a partir del uso de la tecnología logras mejorar la tasa de reposición un 3%, para repagarla en menos de 3 años necesitas un rodeo de al menos 300 animales.

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. 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:

- La mejora en la gestión reproductiva y sanitaria de los rodeos, que genera:
 - Incremento en la tasa de preñez (TP)
Por lo tanto, menor tasa de descarte por vacas vacías y más terneros para la venta.
Mayor tasa de preñez, mayor V.A.N de la inversión.
 - Reducción en la tasa de mortandad de animales (TM)
Por lo tanto, disminución del costo de reposición de vaquillonas (en empresas que no alcanzan el porcentaje de reposición objetivo), o aumento del ingreso por ventas de vaquillonas de reposición (en empresas que exceden el porcentaje de reposición objetivo).
Menor tasa de mortandad, mayor V.A.N de la inversión.
 - Disminución en la tasa de descarte de vacas (TD)
Por lo tanto, disminución del costo de reposición de vaquillonas (en empresas que no alcanzan el porcentaje de reposición objetivo), o aumento del ingreso por ventas de vaquillonas de reposición (en empresas que exceden el porcentaje de reposición objetivo).
Menor tasa de 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.
- La tasa de descuento o rendimiento esperado de la inversión.
Mayor tasa de descuento, menor V.A.N. de la inversión.

$$V.A.N. = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Mejora en gestión reproductiva y/o sanitaria}}{(1 + \text{tasa de descuento})^{\text{tiempo}}} - \text{Inversión inicial}$$

$$V.A.N. = \sum_{t=1}^n \frac{\begin{matrix} (\text{Mejora en TP} \times \text{beneficio en TP}) \\ + (\text{Disminución en TM} \times \text{beneficio en TM}) \\ + (\text{Disminución en el TD} \times \text{beneficio en TD}) \end{matrix}}{(1 + \text{tasa de descuento})^{\text{tiempo}}} - \text{Costo del equipo}$$

Tabla 7. Sensibilidad del Valor Actual Neto (VAN), expresado en dólares estadounidenses (USD), ante variaciones en el número de collares adquiridos y la mejora en la tasa de reposición lograda por utilizar la tecnología.

		N° de Collares								
		200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Mejora en tasa de reposición (%)	2,0	3.067	8.475	13.883	19.292	24.700	30.109	35.517	40.925	46.334
	2,5	9.974	18.836	27.698	36.560	45.422	54.284	63.146	72.008	80.869
	3,0	16.881	29.197	41.512	53.828	66.143	78.459	90.774	103.090	115.405
	3,5	23.788	39.557	55.326	71.096	86.865	102.634	118.403	134.172	149.941
	4,0	30.695	49.918	69.141	88.363	107.586	126.809	146.032	165.254	184.477
	4,5	37.603	60.279	82.955	105.631	128.308	150.984	173.660	196.336	219.013
	5,0	44.510	70.640	96.769	122.899	149.029	175.159	201.289	227.419	253.549
	5,5	51.417	81.000	110.584	140.167	169.751	199.334	228.918	258.501	288.084
	6,0	58.324	91.361	124.398	157.435	190.472	223.509	256.546	289.583	322.620

Aclaración. Para realizar este análisis de sensibilidad se consideró que los collares mejoran la tasa de preñez en un 1,5%. Para realizar los cálculos se utilizó una tasa de descuento del 12%, flujos netos por 6 años, el costo promedio de los proveedores 1 y 3, ya que comercializan collares con características similares (antena+procesador+instalación 7.750 USD, collar 181,5 USD/unidad) y el valor histórico del litro de leche (0,28 USD/litro).

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por N° de collares:** Si tenés 500 vacas con collares y a partir del uso de la tecnología logras mejorar la tasa de reposición en un 4%, el V.A.N. es de 88.363 USD.
- **Ingreso por mejoras en tasa de reposición:** Si a partir del uso de la tecnología logras mejorar la tasa de reposición 5%, para que el V.A.N. sea superior a 100.000 USD necesitas incorporar 500 collares.
- **Ingreso por V.A.N.:** Si querés lograr un VAN mayor a 50.000 USD, pretendiendo lograr una mejora en la tasa de reposición de 4% necesitas incorporar 400 collares.

Tasa Interna de Retorno (T.I.R)

La Tasa Interna de Retorno (T.I.R) es la tasa de interés o la 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:

- (i). La mejora en la gestión reproductiva y sanitaria de los rodeos, que genera:
 - a. Incremento en la tasa de preñez (TP)
Por lo tanto, menor tasa de descarte por vacas vacías y más terneros para la venta.
Mayor tasa de preñez, mayor T.I.R. de la inversión.

- b. Reducción en la tasa de mortandad de animales (TM)
Por lo tanto, disminución del costo de reposición de vaquillonas (en empresas que no alcanzan el porcentaje de reposición objetivo), o aumento del ingreso por ventas de vaquillonas de reposición (en empresas que exceden el porcentaje de reposición objetivo).

Menor tasa de mortandad, mayor T.I.R. de la inversión.

- c. Disminución en la tasa de descarte de vacas (TD).
Por lo tanto, disminución del costo de reposición de vaquillonas (en empresas que no alcanzan el porcentaje de reposición objetivo), o aumento del ingreso por ventas de vaquillonas de reposición (en empresas que exceden el porcentaje de reposición objetivo).

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

- (i) El costo de los equipos.
Mayor costo de los equipos, menor T.I.R. de la inversión.
- (ii) La tasa de descuento o rendimiento esperado de la inversión.
Mayor tasa de descuento, menor T.I.R. de la inversión.

Tabla 8. Sensibilidad de la Tasa Interna de Retorno (TIR) ante variaciones en el número de collares adquiridos y la mejora en la tasa de reposición lograda por utilizar la tecnología.

		N° de Collares								
		200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Mejora en tasa de reposición (%)	2,0	14%	17%	18%	19%	19%	20%	20%	20%	20%
	2,5	20%	22%	23%	24%	25%	25%	26%	26%	26%
	3,0	25%	27%	29%	30%	30%	31%	31%	31%	32%
	3,5	30%	32%	34%	35%	36%	36%	36%	37%	37%
	4,0	34%	37%	39%	40%	41%	41%	42%	42%	42%
	4,5	39%	42%	44%	45%	46%	46%	47%	47%	47%
	5,0	43%	47%	49%	50%	51%	51%	52%	52%	52%
	5,5	48%	51%	53%	55%	55%	56%	57%	57%	57%
	6,0	52%	56%	58%	59%	60%	61%	61%	62%	62%

Aclaración. Para realizar este análisis de sensibilidad se consideró que, en todos los casos, la adopción de collares mejora la tasa de preñez en un 1,5%. Para realizar los cálculos, se utilizó flujos netos por 6 años, el costo promedio de los proveedores 1 y 3, ya que comercializan collares con características similares (antena+procesador+instalación 7.750 USD, collar 181,5 USD/unidad) y el valor histórico del litro de leche (0,28 USD/litro).

Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por N° de collares:** Si tenés 500 vacas con collares y a partir del uso de la tecnología logras mejorar la tasa de reposición en un 4%, la T.I.R. es del 40%.
- **Ingreso por mejoras en tasa de reposición:** Si a partir del uso de la tecnología logras mejorar la tasa de reposición un 5,5%, para que la T.I.R. sea de 51% necesitas incorporar 300 collares.
- **Ingreso por T.I.R.:** Si querés lograr una T.I.R de 20%, pretendiendo lograr una mejora en la tasa de reposición de 2,5% necesitas incorporar 200 collares.

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 (6 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 su valor histórico (0,28 USD/L). 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:

- (i). La cantidad de collares.
Mayor cantidad de collares, menor cuota de amortización.
- (ii). El precio del litro de leche.
Mayor precio del litro de leche, menor cuota de amortización.

Tabla 9. Cuota de amortización (expresada en Litros de leche/collar/año).

		N° de Collares								
		200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Precio leche (USD/L)	0,36	102	96	93	91	90	89	89	88	88
	0,34	108	102	98	97	95	94	94	93	93
	0,32	115	108	105	103	101	100	100	99	99
	0,30	122	115	112	109	108	107	106	106	105
	0,28	131	123	120	117	116	115	114	113	113
	0,26	141	133	129	126	125	123	123	122	121
	0,24	153	144	139	137	135	134	133	132	131
	0,22	167	157	152	149	147	146	145	144	143

Aclaración: Pese a que los collares poseen una durabilidad de 8,5 años, en este análisis se consideró una vida útil de 6 años para contemplar el reemplazo por obsolescencia de la tecnología. Se consideró el costo promedio de los proveedores 1 y 3, ya que comercializan collares con características similares (antena+procesador+instalación 7.750 USD, collar 181,5 USD/unidad)

Como se lee la tabla?

- **Ingreso por N° de collares:** Si tienes 400 vacas equipadas con collares y el precio de la leche es de 0,30 USD/L, se necesitan 112 litros de leche por cada collar, por año para cubrir la cuota de amortización.
- **Ingreso por precio de leche:** Si el precio de la leche es de 0,26 USD/L y tienes 700 vacas equipadas con collares, se necesitan 123 litros de leche por cada collar, por año para cubrir la cuota de amortización.

Mantenimiento y Servicio Postventa

Las empresas cuentan con repuestos y con representantes técnicos y centros de servicio postventa distribuidos por todo el país. La cercanía de los centros de servicio postventa al establecimiento donde se quiere implementar la tecnología suele ser un punto a tener en cuenta al momento de analizar su adopción. No obstante, las empresas proveedoras suelen ofrecer asistencia remota. De todas formas, por lo general, cuando surge algún problema, como una rotura o un desperfecto, las empresas proveedoras suelen reemplazarlos en plazos de tiempo cortos.

Algunas referencias de empresas proveedoras

Información de las empresas proveedoras:

Empresa	
	Webpage: https://www.afimilk.com/es/ Contacto: Gonzalo Bader e-mail: gonzalo_b@afimilk.com
Otros proveedores	DeLaval Allflex – Villanueva Ciale - Alta