

# **Estrategia informático-analítica para generar indicadores de eficiencia reproductiva en tambos**

**Mónica B. Piccardi<sup>1</sup>, Mónica Balzarini<sup>1,2</sup>, Ariel Capitaine Funes<sup>3</sup> y**

**Gabriel A. Bó<sup>4</sup>**

*<sup>1</sup>Universidad Nacional de Córdoba, <sup>2</sup>CONICET, <sup>3</sup>DAIRY TECH S.R.L e*

*<sup>4</sup>Instituto de Reproducción Animal (IRAC)*

## **Resumen**

*La obtención de indicadores reproductivos y productivos de establecimientos lecheros a escala regional puede realizarse a través de la combinación de la información que se releva automáticamente durante el monitoreo regular tanto de variables de la producción como del manejo reproductivo. El volumen de datos que se generan a partir de controles lecheros y de sistemas para la gestión de las preñeces y partos en un tambo es cuantiosa. Para combinar los dos tipos de información es necesario explicitar el objetivo de la concatenación de los distintos tipos de datos. En este trabajo ilustramos una estrategia de análisis de datos de controles lecheros (1.465.011) e historia reproductiva (1.112.319) provenientes del seguimiento (Año 2007-2008) de 291 tambos fundamentalmente de la Provincia de Córdoba y de la zona centro y sur de Santa Fe. Las herramientas estadísticas aplicadas luego de unir y depurar ambas bases fueron: curvas de sobrevivencia de Kaplan-Meier, regresión de riesgo proporcionales de Cox y regresión logística múltiple. Los resultados sugieren que, en relación al objetivo de preñar las vacas lo antes posibles, los indicadores días abiertos y la tasa de preñez acumulada a los 100 días son de relevante información para evaluar la eficiencia reproductiva de un tambo*

## **Abstract**

To obtain regional productive and reproductive indicators from dairy herds we can use and combine the automatic generate information of the milk tests and the regular reproductive monitoring, and management information. Normally, the amount of data in a herd is very large and hard to handle because of milk test and the regular reproduction monitoring. So, before match the two kind of information we need think very well the objectives. In this paper we illustrate an analysis strategy of milk tests (1,465,011) and reproductive management data (1,112,319) from 291 dairy herds. These herds were followed for two years (2007-2008) and are mainly from Cordoba and from the central and south area of Santa Fe. After cleaning and joining the two data sets we performed three statistical analyses and these were: Kaplan-Meier survival curves, Cox proportional hazard ratio, and multiple logistic regression. Following the objective of gets pregnant as soon as possible the cows, the results suggest that days open and 100 days cumulative pregnancy rate are good indicators of reproductive efficiency of dairy herds.

## **Palabras Clave**

Eficiencia reproductiva, concatenación de bases de datos.

## Introducción

Los rodeos lecheros demandan nuevas prácticas de manejo reproductivas y productivas eficaces para mejorar su rentabilidad y sustentabilidad. El análisis de cada uno de los factores relacionados al manejo puede realizarse bajo diferentes escalas, local o de grupos de productores así como regional o poblacional. Es escasa la información disponible para evaluar los factores de manejo reproductivo y su articulación con la producción a nivel regional para el sector lechero en nuestro medio [1]. El conocimiento disponible se sustenta más en datos experimentales que observacionales y los hallazgos no son siempre fácilmente extrapolables a nivel de los productores de una región. Aunque los sistemas de manejo de los rodeos comerciales varían ampliamente, el objetivo reproductivo principal es preñar a las vacas lecheras lo más rápido posible después del parto para disminuir los días improductivos de la vida útil de cada vaca [2]. Los índices más utilizados para reflejar el comportamiento reproductivo de rodeos lecheros han cambiado en los últimos años. Índices clásicos como el lapso interparto o el intervalo parto-concepción no se reconocen ya como suficientes. Actualmente, el índice más utilizado para diagnosticar el comportamiento reproductivo global de un establecimiento es la tasa de preñez (TP). Esta refleja en forma objetiva la velocidad con que se preñan las vacas [3]. La TP se mide cada 21 días (1 ciclo estral) y representa la proporción de vacas que se preñan en un ciclo. Otro indicador muy usado en la Argentina para reflejar la eficiencia reproductiva son los días abiertos. Como indicador directo de la eficiencia productiva de un tambo, e indirecta de la eficiencia reproductiva, se encuentra los datos de la curva de lactancia. La curva de lactancia es una función que refleja la dinámica del volumen (litros de leche) de leche que da un animal durante un ciclo de lactancia (330 días aproximadamente – 10 meses). Para obtener esta información se realizan controles lecheros diarios, i.e. medición de los litros producidos por cada animal en el día. Los controles lecheros se repiten durante toda la lactancia y en las distintas lactancias de cada vaca. Los datos derivados de los controles lecheros permiten analizar el comportamiento productivo regional, convirtiéndose en una herramienta eficaz para el manejo global del negocio lechero. Aún cuando se dispone de información de un solo año, los volúmenes de datos que se producen como consecuencia del control lechero a nivel regional son cuantiosos y prontamente sobrepasan el millar de registros. Por ejemplo si suponemos que se hace un sólo control lechero por mes en 200 vacas en promedio durante un año vamos a tener 2.400 datos como resultado para un solo tambo (12 controles/año\*200 vacas), y si queremos trabajar con la información de 200 tambos, la base de datos se nos agrandará a 480.000 datos (filas) a lo largo de un solo año y esto implica sólo la información productiva. Un objetivo común es combinar estos datos productivos, con la información reproductiva, la cual se asemeja en su tamaño a la productiva. Para combinar o concatenar los dos tipos de información es necesario pensar bien el objetivo al que se quiere llegar con el análisis antes de depurar y procesar la base de datos consolidada por la concatenación de las bases de datos individuales. Existen varios software para el seguimiento productivo y reproductivo de rodeos, entre ellos Diary Comp305®. Este combina la funcionalidad de hojas de cálculos, base de datos y gráficos con un programa integrado

para la administración de la información y la organización de las tareas, pero no presenta facilidades para el análisis estadístico inferencial. El objetivo del presente trabajo es ilustrar una estrategia informático-analíticas para derivar indicadores productivos y reproductivos a partir de datos de controles lecheros y su combinación con datos de historia reproductiva.

## **Elementos del Trabajo y Metodología**

### *Datos:*

Las bases de datos de control lechero e historia reproductiva que combinamos son del seguimiento durante dos años (2007-2008) de 291 tambos fundamentalmente de la zona centro y sur de Santa Fe y Provincia de Córdoba.

La planilla que contiene la información productiva (1.465.011 registros) consta de las siguientes variables: el código del tambo al que pertenece el animal, la identificación numérica del animal, el número de lactancia al que pertenece la información presentada, la fecha del parto de donde comenzó la lactancia, día 0 de la lactancia, luego de manera ascendente se encuentran las fechas en las cuales se realizaron los controles lecheros, los litros correspondientes a cada control lechero y los días en leche (DEL) que corresponde a cada control. Por lo tanto todas son variables numéricas discontinuas, a excepción de los litros de leche medidos con el lactómetro.

La información reproductiva (1.112.319 registros) consta, igual que la base anterior, de los datos necesarios para identificar el tambo, el animal y su lactancia, luego, tiene además las fechas en las cuales ocurrió un evento trascendental en la historia reproductiva del animal en cada lactancia, por ejemplo el evento de ser inseminada o servida por un toro, otro evento es si llega abortar como así también si se decide descartar al animal por algún motivo, o si se decide vender o bien si éste muere o si se decide secar al animal (dejar de ordeñar). Por lo tanto en un campo se registran las fechas en que ocurren los eventos, en otro el evento propiamente dicho, en otra columna los DEL en que ocurren los eventos, y también se encuentra en otra columna la información del diagnóstico de preñez como resultado de cada oportunidad que se le dio al animal para preñarse. En este caso ninguna variable es numérica continua, todas son numéricas discretas o categorizadas.

El objetivo del análisis realizado en este trabajo es calcular indicadores de eficiencia del establecimiento lechero. Para ello se procesaron las dos bases de datos (reproductiva y productiva) por separado y luego se concatenaron por lactancia usando la combinación del código del tambo, el ID del animal y el número de lactancia al que corresponde el registro.

### *Procedimientos de análisis para obtener indicadores.*

*Indicador “días abiertos”*: Los días abiertos son el número de días entre el parto y la subsecuente preñez, es decir un sentido más amplio que el convencionalmente usado intervalo parto concepción (IPC) de un animal. Este indicador nos refleja la eficiencia reproductiva de un rodeo.

Para obtener una estimación insesgada debe relacionarse a distintos factores, entre los más importantes se cita el nivel de producción. En este trabajo se propuso el uso de curvas de sobrevivencia de Kaplan – Meier según nivel productivo para su obtención. Para este análisis la variable dependiente (y) fue el tiempo a un evento deseado (preñez) y la variable independiente (x) fue definida según los niveles de producción (Figura 1). El evento (censor) fue usado para clasificar los registros en censurado (fracaso=1) y no censurado (éxito=0). Para esto se desarrolló una función lógica a través de los comandos que nos provee el programa JMP de SAS [4]. Para generar la variable días abiertos se originó una variable que contenía los tiempos entre la fecha del parto al evento deseado (preñez) o a un evento no deseado o bien hasta el día que termine el estudio (31/12/2008). Los eventos podían ser: la preñez confirmada (deseado), el rechazo, la muerte, la venta, haber tenido un aborto o que llegue el último día del estudio (31/12/08). Luego, se generó una variable evento (censor) para indicar si el bovino luego de los servicios tenía una preñez confirmada (éxito=0), eventos no censurados, o si estaba vacía (fracaso=1), eventos censurados. Se censuraron para este análisis los días abiertos en los siguientes casos: animales rechazados o descartados (culled), muertos, vendidos, animales que si bien quedaron preñados, luego sufrieron un aborto y no se volvieron a preñar y los animales que no les ocurrió ninguno de los eventos anteriores y llegaron al último día del análisis abiertos (31/12/08). Por lo tanto, la variable “días abiertos” se cuantificó en días desde el momento del parto o comienzo de la lactancia hasta la censura del dato o hasta la confirmación de la preñez de la vaca.

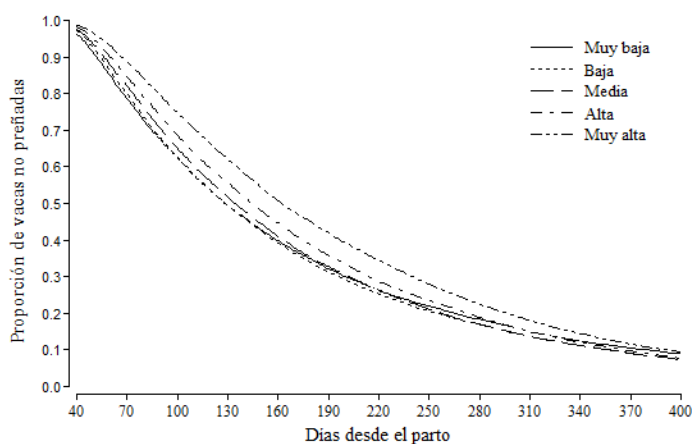
Otra manera de analizar este indicador de manera más profunda pero con los mismos datos que los antes descritos, es usando una regresión de riesgo proporcionales de Cox. El modelo de Regresión de Riesgos Proporcionales es un modelo de regresión múltiple que relaciona el tiempo en el que el animal permanece abierto (en días) (afectado por la variable evento) como variable dependiente con las variables predictoras o variables potencialmente asociados con el indicador reproductivo. Este análisis permite estimar los parámetros de la regresión y además provee razones de riesgo (Hazard Ratios) para cada nivel de cada variable predictor que en este trabajo no sólo fue el nivel de producción sino también variables de manejo (Tabla 1 y 2).

*Indicador “Tasa de preñez acumulada a los 100 días”*. La TP acumulada es la proporción de vacas preñadas a un momento dado y es función de la TP. La TP acumulada a los 100 días en lactancia indica la proporción de vacas que se preñan hasta los 100 días. Consideramos hasta los 100 días porque si asumimos una espera voluntaria de 40 días, es la proporción acumulada de preñeces que se logran en 3 ciclos estrales (60 días en servicio). Para estimar la contribución relativa de factores que afectan la tasa de preñez acumulada, como indicador reproductivo, se realizó una regresión logística y se obtuvo los cocientes de chances (odds ratios) para cada nivel de cada variable

independiente (x) analizada. Para esto, se creó una función lógica en el JMP para crear una variable dependiente (y) con dos posibles respuestas, éxito (preñada=0) o fracaso (vacía=1). En la tabla 3 se presenta los coeficientes de regresión y en la tabla 4 se presentan los cocientes de chances para cada nivel de cada factor analizado.

## Resultados

En la Figura 1 se presenta las curvas de sobrevivida de Kaplan-Meier para cada nivel de producción generado por el análisis de sobrevivida realizado con el software JMP. Este gráfico muestra cómo aumenta la proporción de vacas que se preñan a medida que avanza la lactancia para cada nivel de producción. A los 130 días se preñó el 50% de las vacas de muy baja y baja producción versus el 35% de las vacas de muy alta producción y el 45% de las vacas de alta producción.



**Figura 1.** Curvas de Kaplan-Meier para distintos niveles de producción. Aquí se puede apreciar cual es la proporción de animales que se van preñando a medida que pasa el tiempo de acuerdo al nivel de producción al que pertenecen.

En la Tabla 1 se presentan los parámetros estimados del modelo regresión de riesgo proporcionales de Cox y en la Tabla 3 los coeficientes regresión estimados del modelo de regresión logística. En estas tablas se observa cuál variable explicativa afecta más o menos los días abiertos (ver significancia estadística a través de valores p). Los valores p sugieren la probabilidad de que las asociaciones detectadas sean por azar, por tanto valores p pequeños (menores al nivel de significación fijado en 0,05 se usan como indicador de significancia estadística de la asociación). Coeficientes de regresión negativos están relacionados a menor ocurrencia del éxito (Preñez) con respecto al nivel que se toma para cada variable regresora como nivel de referencia. A valores positivos, el nivel de la variable está relacionado a mayor ocurrencia del éxito con respecto al nivel de referencia y mientras mayor es el valor mayor es la probabilidad de la ocurrencia del éxito. Por ejemplo en el caso del modelo de riesgos proporcional de Cox la variable nivel de producción es la de mayor valor y dentro de ella el nivel de

producción baja y muy baja contienen los mayores valores porque a ellas dos se las asociaría con mayor “riesgo” de preñez. El tipo de servicio IA (inseminación artificial) muestra el mayor valor negativo, por lo que estaría asociado a un menor “riesgo” de preñez. De la misma manera se deben leer los coeficientes de la regresión logística (Tabla 3) pero asociados a más o menos chances de preñez.

**Tabla 1.** Parámetros Estimados y valor – p para cada variable explicativa del modelo de regresión de riesgos proporcionales de Cox. La clase faltante es la considerada como clase de referencia para las comparaciones estadísticas, para el nivel de producción (NP): muy alta; número de lactancia (#Lact):  $\geq 4$  lactancia; estación del parto (EP): verano y el tipo de servicio (TS): natural.

Variable Explicativa	Coefficientes	Valor – p
Regresión		
<b>Nivel de Producción (NP)</b>		
Muy baja	0,1250	<,0001*
Baja	0,1374	<,0001
Medio	0,0450	<,0001
Alta	-0,0635	<,0001
<b>Número de lactancia (#Lact)</b>		
1era	0,0562	<,0001
2da	0,0622	<,0001
3era	0,0318	<,0001
<b>Estación del parto (EP)</b>		
Invierno	0,0441	<,0001
Otoño	0,0585	<,0001
Primavera	-0,0095	<,0001
<b>Tipo de servicio (TS)</b>		
Combinado	0,0205	,7432
IA	-0,2041	<,0001

\*Valores  $p < 0,05$  indican diferencias estadísticamente significativa entre la clase especificada y la clase de referencia para el factor en estudio.

La Tabla 2 muestra las razones de riesgo para la comparación entre los niveles de cada variable explicativa resultantes del modelo regresión de riesgos proporcionales de Cox. En este caso los resultados se leen de la siguiente manera, remitiéndonos en los resultados de la variable nivel de producción, una vaca de muy baja producción tiene 1,43 más riesgo de quedar preñada que un animal de muy alta producción. En la Tabla 4

se presentan las razones de chances (odds ratios) para cada comparación entre los distintos niveles de cada variable analizada. El mismo se lee de la siguiente manera, las vacas de baja producción tienen 1,71 veces más chances de quedar preñada a los 100 días en lactancia que las vacas de alta producción.

**Tabla 2.** Razones de riesgo (HR) para comparaciones entre las clases de nivel de producción (NP), estación del parto (EP), número de lactancia (# Lact) y tipo de servicio (TS) para especificar su efecto sobre los días abiertos.

Variable explicative	HR	Valor-p
NP [Muy baja vs. muy alta]	1,43	<,0001
NP [Muy baja vs. alta]	1,20	<,0001
NP [Muy baja vs. media]	1,07	<,0001
NP [Muy baja vs. baja]	0,98	,4262
# Lact [1 vs. 4]	1,22	<,0001
# Lact [2 vs. 4]	1,23	<,0001
# Lact [3 vs. 4]	1,19	<,0001
EP [Invierno vs. verano]	1,14	<,0001
EP [Otoño vs. verano]	1,16	<,0001
EP [Primavera vs. verano]	1,08	<,0001
TS [Natural vs. combinado]	1,18	<,0001
TS [Natural vs. IA]	1,47	<,0001

**Tabla 3.** Parámetros estimados de la regresión logística para cada variable explicativa del modelo. La clase faltante de cada variable es la considerada como clase de referencia para las comparaciones estadísticas, para el nivel de producción (NP): baja; número de lactancia (#Lact):  $\geq 4$  lactancia; estación del parto (EP): verano y el tipo de servicio (TS): natural.

Variable explicativa <sup>1</sup>	Coficiente de regresión	Valor-p
<b>Nivel de Producción (NP)</b>		
Media	0,1006	<,0001*
Alta	-0,3190	<,0001
<b>Estación del Parto (EP)</b>		

<b>Otoño</b>	0,2324	<,0001
<b>Invierno</b>	0,2812	<,0001
<b>Primavera</b>	-0,1196	<,0001
<b>Número de la Lactancia (# Lact)</b>		
<b>1era</b>	0,0741	<,0001
<b>2da</b>	0,1016	<,0001
<b>3era</b>	0,0564	<,0001
<b>Tipo de Servicio (TS)</b>		
<b>Combinado</b>	0,0041	,7533
<b>IA</b>	-0,3352	<,0001

*\*Valores  $p < 0,05$  indican diferencias estadísticamente significativa entre la clase especificada y la clase de referencia para el factor en estudio.*

**Tabla 4.** Razón de Chances (OR) para comparaciones entre las clases de nivel de producción (NP), estación del parto (EP), número de lactancia (# Lact.) y tipo de servicio (TS) para especificar su efecto sobre TP acumulada.

<b>Variable Explicativa</b>	<b>OR</b>	<b>Valor – p</b>
<b>NP [Baja vs. alta]</b>	1,71	<,0001
<b>NP [Baja vs. media]</b>	1,12	<,0001
<b>EP [Otoño vs. primavera]</b>	1,42	<,0001
<b>EP [Otoño vs. verano]</b>	1,87	<,0001
<b>EP [Invierno vs. primavera]</b>	1,49	<,0001
<b>EP [Invierno vs. verano]</b>	1,96	<,0001
<b>#Lact. [1era vs. 2da]</b>	0,97	,0574
<b>#Lact. [1era vs. 3era]</b>	1,01	,2680
<b>#Lact. [1era vs. 4ta ó &gt;]</b>	1,36	<,0001
<b>TS [Natural vs. IA]</b>	1,95	<,0001

## Discusión



Tanto los días abiertos como la tasa de preñez acumulada a los 100 días en lactancia, son indicadores de la eficiencia reproductiva para los tambos argentinos posibles de calcular a partir de controles lecheros y registros de preñeces y estados de los animales. Lo mismos se ven afectados significativamente por el nivel productivo, la estación de parto, el número de lactancia y por el tipo de servicio empleado y prácticamente en la misma dimensión, por tanto estas variables también deben monitorearse regularmente y usarse como covariables en los análisis del indicador. Los indicadores generan la necesidad de combinar datos productivos y reproductivos para determinar la eficiencia económica de un animal.

#### **Referencias**

1. Capitaine Funes A, Vater A, Acosta N. 2007. Análisis reproductivo de rodeos lecheros usuarios del Dairy Comp 305. <http://www.dairytech.com.ar>
2. Lucy M C, McDougall S, Nation D P. 2004. The use of treatments to improve the reproductive performance of lactating dairy cows in feedlot or pasture based management systems. *Anim Reprod Sci* 82-83, 495-512.
3. Capitaine Funes A. 2002. Monitoreo de la eficiencia reproductiva de rodeos lecheros. Memorias Primeras jornadas Taurus de Reproducción Bovina. Buenos Aires, Argentina, 44-55.
4. JMP ® 9.0.1 Copyright©. 2010. SAS Institute Inc. Software for Windows. Cary, NC, USA.

#### **Datos de Contacto:**

*Mónica B. Piccardi. Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.  
Dirección postal: Estadística y Biometría-Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Avenida Valparaíso s/n Ciudad Universitaria, Córdoba Capital C.P. 5000 c.c. 509.  
E-mail: monicapiccardi@gmail.com*