

# *Causas de la pérdida de leche en una vaquería localizada en Puerto Rico*

*Eliann Lugo Leandry  
Maestría en Ingeniería de Manufactura  
Mentora: María García Sandoval, Ph.D.  
Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas  
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

---

**Abstracto** — *En este proyecto de investigación se analizaron las causas de la pérdida de leche en las vacas, específicamente en una vaquería ubicada en Moca. Se analizó el proceso de ordeño de la vaca y el uso del robot Lely Astronaut A5. En el proceso de limpieza, se identificó que una de las causas de la pérdida de leche es la presencia de una bacteria ubicada en la ubre de la vaca. Se utilizó la metodología de DMAIC para analizar el problema de la pérdida de leche y el proceso de limpieza. Además, se presentan recomendaciones para reducir la pérdida de leche y evitar la producción de bacterias.*

**Palabras claves** — *Célula Somática, DMAIC, Manual de Limpieza, Robot Lely Astronaut A5.*

## **INTRODUCCIÓN**

Durante años en Puerto Rico, las vaquerías han tenido grandes pérdidas de leche por el mantenimiento riguroso a las vacas. Según fueron pasando los años y la tecnología fue avanzando, se creó el Robot Lely Astronaut A5, encargado de alimentar y ordeñar las vacas sin la necesidad de un ganadero, realizado por el sistema automático de este.

La empresa IDEA Solutions fue de las primeras en traer a Puerto Rico este sistema e implementarlo en las ganaderías. Esta compañía cuenta con un equipo de personas que ayudan y les explican a los ganaderos cómo funciona y se hace un mantenimiento general al robot, una vez alguna parte del equipo no funcione. Las ganaderías han invertido una alta cantidad de dinero para implementar este robot; a su vez, los ganaderos han tenido que involucrarse en la tecnología para lograr entender cómo funciona cada parte del robot.

Las vacas en esta ganadería se encuentran sueltas en varias cuerdas, expuestas a la lluvia, y muchas veces pasan bastante tiempo en lugares que

no están en las condiciones adecuadas. El robot cuenta con un manual de limpieza para cada una de las pantallas y equipo. Por otra parte, los ganaderos son responsables de estar constantemente verificando y realizando las limpiezas diarias. Muchas veces, las infecciones de las vacas se propagan más rápido debido a al incumplimiento de la limpieza del robot [1]. Cuando una vaca es catalogada con bacteria, debe pasar un periodo en aislamiento para que no se propague a las demás vacas [1]. Es necesario cumplir con el manual de limpieza del robot porque la vaca puede hasta perder su vida.

## **Planteamiento del Problema**

En Puerto Rico hay varios ranchos ganaderos que producen leche con fines comerciales. A lo largo de los años, la tecnología para ordeñar la vaca ha ido mejorando. Una de las tecnologías disponible es el Robot Lely Astronaut A5. El robot requiere mantenimiento, tanto diario como semanal. En la vaquería de Moca, cada vaca genera 40 litros de leche diariamente. Cuando la vaca está enferma, esa cantidad de leche no se puede vender ni consumir. Durante el 2022, se diagnosticaron de 6 a 8 vacas mensuales con una célula somática. Esta célula es una bacteria localizada en la ubre de la vaca que no permite que se consuma su leche y, por lo tanto, resulta en una gran pérdida. Se estima que de enero a agosto de 2022 se generaron 479,758 litros de leche y eso representa una cantidad en venta de \$335,830 dólares. Sin embargo, 32,130 litros de leche salieron con la bacteria, representando una pérdida de \$22,491 dólares en la vaquería de Moca. El litro se vende entre 60-70 centavos actualmente.

## Objetivo de la Investigación

El objetivo de esta investigación fue explorar el por qué la pérdida de leche por células somáticas. Se usó la metodología DMAIC para presentar las razones del problema y se presentan sugerencias de cómo reducir la pérdida de leche por bacteria somáticas.

## Contribución de la Investigación

La investigación contribuyó a la industria ganadera en conocimientos sobre el manejo de las vacas cuando se utilizan los robots de ordeño. Además, ayudó para establecer estándares de trabajo en el proceso de ordeñar la vaca.

## REVISIÓN DE LITERATURA

En Puerto Rico actualmente existen más de 250 vaquerías. Durante años, las vacas han sido afectadas por una mastitis; una enfermedad de mayor importancia, que provoca grandes pérdidas en el ganado lechero. Para estas vaquerías es difícil conseguir un alto nivel de producción de leche estando los rebaños afectados con esta enfermedad.

La mastitis es la tercera de las principales causas de descarte de las vacas, luego de la baja producción de leche y problemas reproductivos. Para el 1975 se estimó que la mastitis causó una pérdida de 38 millones de toneladas de leche por año en todo el mundo [2]. A nivel de un rebaño, el costo anual causado por una mastitis varía entre los \$140 y \$300 por cada vaca. Las pérdidas se representan principalmente por una producción de leche menor (65%), leche descartada (15%), el costo de reposición (10%), el costo de los diferentes medicamentos (5%), gastos de un veterinario (3%) y trabajo adicional (2%). Esta enfermedad, a nivel industrial, afecta la leche y sus productos, causando un gusto indeseable durante el periodo de conservación [3]. La leche condensada se vuelve un producto inestable a causa de esta enfermedad. La producción del queso se afecta, el sabor, aroma de la mantequilla se alteran si se utiliza leche con mastitis. Mientras menor sea el conteo de células

somáticas en las vacas, mayor será la producción de leche y más segura.

Cuando la vaca es detectada con una mastitis severa, rápidamente pasa a aislamiento y comienza un tratamiento de antibióticos para reducir la infección. El rechazo al uso de los distintos medicamentos para poder curar los casos de mastitis ha tenido un aumento de las terapias no tradicionales, para no utilizar los productos farmacológicos [4]. Los medicamentos farmacológicos son diferentes alimentos o dispositivos que se utilizan para un diagnóstico, tratamiento, curación o para la prevención de una enfermedad. La mastitis es una reacción inflamatoria de la glándula mamaria y se caracteriza por alteraciones físicas y químicas en la leche de la vaca. Es representada por el número de células somáticas de la leche y por la inflamación de la glándula mamaria. Existen diferentes tipos de mastitis, según se observa en la Tabla 1 [4].

**Tabla 1**  
**Tipos de Mastitis**

Mastitis Clínica Infecciosa	Este tipo de mastitis detecta agentes patógenos y alteraciones visibles.
Mastitis Subclínica Infecciosa	Detecta agentes patógenos y detección en los laboratorios.
Mastitis Clínica no Específica	Las alteraciones son solo visibles.
Mastitis Subclínica no Específica	Solamente se detecta mediante un laboratorio.
Ubre saludable	Una apariencia normal en la ubre y la ausencia de las 1, 2, 3 y 4.

**Nota:** Los agentes patógenos son enfermedades micro orgánicas, como lo son los virus, bacterias, hongos, entre otros. Se encuentran en animales, humanos y plantas.

La gran mayoría de los casos de esta enfermedad, un 90-95%, son por infecciones y un 5-10% es por origen traumático. Los ganaderos se percatan que una vaca tiene mastitis clínica debido a la disminución de la leche, cambios en la apariencia de la ubre y alteraciones sistemáticas. Esta enfermedad afecta la ubre como el organismo de la vaca. Un 90% de los casos de mastitis subclínica se presenta debido a las bacterias encontradas frecuentemente en la leche; por tanto, las pérdidas de producción son extremadamente significativas. Las células somáticas o Conteo de

Células Somáticas (CCS) es un método clásico para monitorear el estado de salud de la ubre de la vaca. El CCS se realiza en más de 10 millones de muestras por mes, en 26 países distintos. Para determinar el total de células somáticas en una vaca se realiza la Prueba Californiana de Mastitis (CMT). Esta prueba fue desarrollada para tomar una muestra individual en cada cuartillo de la leche y determinar la cantidad de mastitis subclínica. Cuando la vaca presenta esta mastitis, su leche no es de apariencia anormal, pero tampoco presenta hinchazón o molestar en la ubre. La prueba también se realiza mediante muestras tomadas de los tanques y contenedores donde se almacena la leche para lograr determinar el total de células somáticas de todas las vacas que estén presentes.

La prueba se realiza desinfectando la ubre de la vaca con alcohol y en una paleta de plástico con cuatro cavidades que se marcan A, B, C y D, se coloca ½ cucharadita de la leche de cada cuartillo y se le añade una cantidad equitativa de reactivo de la prueba CMT. Luego, la paleta se mueve de manera circular para mezclarlas y tras la espera de 10 segundos, se leen los resultados mientras la paleta se sigue moviendo. La reacción va a desaparecer luego de los 20 segundos; por lo tanto, se debe leer rápidamente. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de una prueba realizada y cómo se nota visualmente la leche [5].



**Figura 1**  
**Prueba CMT**

En la Tabla 2 se muestra cómo leer los resultados de la prueba. Se observa cómo reacciona la prueba con los glóbulos blancos y la mezcla se pone más espesa, según los resultados. Se evalúan los puntajes de la prueba y los totales somáticos de las células se evalúan en mililitros y la descripción de la reacción de cada prueba.

Para lograr un mejoramiento en estas vaquerías es necesario prácticas sanitarias más rigurosas por parte de las personas que trabajen diariamente con el animal. Es necesario realizar procedimientos correctos para extraer la leche, una revisión periódica del equipo utilizado para ordeñar las vacas y de las instalaciones donde se encuentra la vaca durante todo el día, mantener cada área limpia y siguiendo un orden. Estas tareas, si son cumplidas correctamente, logran garantizar una menor exposición de cada una de las vacas para evitar la mastitis y reducir las infecciones de la ubre.

**Tabla 2**  
**Resultados de la Prueba**

Puntaje de la prueba	Total, somático promedio	Descripción de la reacción
N(negativa)	100.000	Homogénea, no se espesa.
I(indicios)	300.000	Se espesa muy poco y la reacción desaparece luego de 10 segundos.
1	900.000	Se espesa levemente y no se cuaja.
2	2.700.000	Se espesa inmediatamente, comienza a cuajarse y se asienta en el fondo de la cavidad.
3	8.100.000	Se cuaja y la superficie se levanta con un pico central arriba de la masa

En la actualidad, el robot Lely Astronaut A5, mostrado en la Figura 2, es utilizado en Puerto Rico en la vaquería de Moca. Este robot cuenta con un número limitado de movimientos eléctricos y rápidos que lo convierten en un sistema bajo de consumo energético. El robot se encarga de alimentar y ordeñar las vacas. Es un equipo que requiere de un mantenimiento exclusivo para que opere de manera correcta. Con el robot, la prueba CMT se realiza sin la necesidad de una persona. Cuenta con un manual de instrucciones para que cada empleado pueda operararlo de la forma correcta. De haber fallas en la operación del robot, se puede incurrir en contaminación de la leche.

Para poner en operaciones el robot, el ganadero debe incurrir en costos de apoyo técnico, así como mantenimientos preventivos posteriores para

asegurar el buen funcionamiento. En caso de presentar algún tipo de problema técnico, recibirá una señal de alarma automática en la pantalla del robot [2].



Figura 2  
Lely A5 Astronaut

## METODOLOGÍA

Para este proyecto de diseño se usó la metodología DMAIC. Esta metodología se utiliza para mejoras continuas de procesos y productos, como parte de la filosofía Six Sigma. El acrónimo DMAIC significa definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Se utilizó para analizar el problema que se planteó en este proyecto [6].



Figura 3  
Metodología DMAIC

**Definir:** Se centra en entender quién es el cliente. Se hizo un *Project Charter* para conocer acerca del lugar, el problema y tener una visión más clara del proyecto. También proporciona información general sobre la descripción del lugar, el problema, las metas, alcance, riesgos y problemas, el manejador del proyecto, su patrocinador, la fecha de comienzo del proyecto, junto con la fecha final. Finalmente, esta herramienta ayuda a resumir de manera breve y organizada lo que se debe lograr a través del proceso DMAIC. Además, se hizo una tabla con cada una de las tareas de limpieza que son realizadas en el robot. La tabla menciona las partes del equipo que deben ser limpiadas para que opere

de forma correcta. Por último, se hizo un flujograma para entender el proceso y el orden de las limpiezas realizadas en el robot.

**Medir:** Proporciona información sobre el rendimiento del proceso y las expectativas de cliente. Se hicieron estadísticas descriptivas para describir y comprender las características de un conjunto de datos específicos. También, ayuda a ofrecer resúmenes breves sobre la muestra y la medida de los datos. También, el histograma es un gráfico que indican la frecuencia de un hecho mediante una distribución de los datos.

**Analizar:** Permite investigar sobre las relaciones entre el rendimiento de los procesos y sus entradas de acuerdo con los datos recogidos en la fase de medición. En esta fase se identifican y confirman las correlaciones entre los valores que son considerados en distintas hipótesis. El Diagrama de Causa y Efecto representa varios elementos (causas) de un sistema o proceso que pueden contribuir a un problema (efecto). También, se hicieron *Run Charts*, que indican si el proceso representa variación por causas especiales en cuanto al patrón. Se realizaron distintos *Run Charts* que determinarán las variables que se están analizando y de igual manera se analizarán los resultados según los *p-values* obtenidos. Se analizaron los datos extraídos por el robot de las células somáticas. Actualmente, estas células tienen un rango de 500,000; el número extraído del robot es el promedio por día de estas células. Al hacer este análisis se podrá evaluar los meses donde se presentan estas células más altas.

**Mejorar:** Se generan posibles soluciones potenciales, se seleccionan y se priorizan soluciones aplicando las mejores prácticas de Lean/Six Sigma. En esta fase se estará realizando un Estándar de Trabajo; esta herramienta permite medir el procedimiento y verificar en qué parte se puede mejorar o presentar una mejora continua.

**Controlar:** Se realizó un plan de control para reevaluar continuamente las mejoras implementadas y mantener una consistencia en la limpieza del robot.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se discuten los resultados de cada una de las etapas de la metodología de DMAIC, para entender el proceso y la magnitud del problema.

### Definir

El propósito de esta etapa es definir el problema de la manera más clara y precisa posible para una mayor comprensión de los procesos, problemas y aquellos involucrados en el proceso. A través de esta etapa se seleccionó la ganadería de Moca para recopilar datos que luego se analizaron para resolver problemas potenciales. Se discutieron los términos y la descripción del área donde se llevó a cabo el proyecto. Se realizaron distintas reuniones con el personal de apoyo técnico de la empresa y los ganaderos del establecimiento para recopilar información. Durante este proceso, se hicieron una serie de preguntas para identificar las necesidades del cliente.

Luego de varias reuniones, se realizó un *Project Charter* (véase Tabla 3) para tener una visión más definida del proyecto. La tabla muestra una idea general del problema.

**Tabla 3**  
**Project Charter**

<b>Título del Proyecto:</b> Identificar las causas de la pérdida de leche en vaquerías localizadas en Puerto Rico	
El proyecto fue realizado en una ganadería en el pueblo de Moca, ubicada al noroeste de Puerto Rico. La ganadería actualmente cuenta con 130 vacas. Es de las primeras vaquerías en Puerto Rico, con un sistema automático que se encarga de ordeñar y alimentar a las vacas.	
Durante el periodo de enero a septiembre 2022 se estima una pérdida de \$22,491 dólares en la vaquería de Moca por las vacas que se infectaron por una bacteria. Actualmente, el litro de leche se vende entre 60-70 centavos.	
Reducir la cantidad de leche perdida en el año, por las vacas infectadas.	Salud de las vacas, Calidad del Producto y Cumplimiento con el Manual de Limpieza
El poder detectar la cantidad de bacterias, el manejar la aplicación de seguir el manual correctamente y el mantenimiento de las vacas.	

Actualmente, las vacas se dirigen al robot cuando desean comer. Una vez las vacas culminan, los ganaderos revisan la pantalla del robot para verificar que no haya alarmas. Si hay alarmas

existentes de limpieza, deben de limpiar el equipo que el robot identificó.

Para los ganaderos se hizo una tabla que explicaba detalladamente las tareas de limpieza que debían realizarle al robot para que operara de manera correcta. La Tabla 4 fue extraída del Manual de Limpieza del robot. Los operadores, actualmente, tienen acceso al manual, y se colocaron las páginas donde ellos pueden verificar la información y obtener las imágenes de las partes del equipo para reconocer cada una de las pantallas.

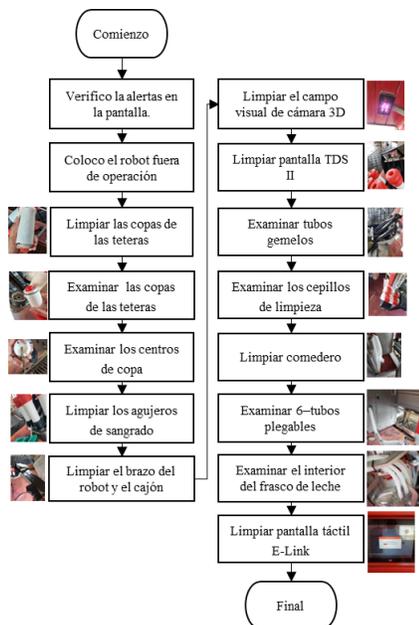
Las tareas mencionadas deben de tener una limpieza diaria y semanal. El robot tiene la capacidad de promover una alerta en la pantalla cuando necesita una verificación y el ganadero pueda hacer la limpieza. El equipo de apoyo técnico realiza visitas semanales a la ganadería y se mantiene en comunicación con el ganadero las 24 horas del día. Ellos reciben las alertas de la programación y le comunican al ganadero la situación que esté ocurriendo.

**Tabla 4**  
**Limpieza del Robot Lely Astronaut A5**

Tareas de Limpieza	Diario	Semanal
Limpiar pantalla TDS II (página 7-79)	2	
Limpiar pantalla táctil E-Link (página 7-51)	1	
Limpiar el brazo del robot y el cajón (página 7-16)	1	
Examinar el interior del frasco de leche (página 7- 63)	1	
Limpiar los agujeros de sangrado (página 7-19)	1	
Limpiar las copas de las teteras (página 7- 19)	1	
Examinar los cepillos de limpieza (página 7-24). sexto	1	
Examinar tubos gemelos (página 7-23)	1	
Examinar 6-tubos plegables (página 7- 25)	1	
Examinar los centros de copa (página 7-23)	1	
Examinar las copas de las teteras (página 7-22)	1	
Examinar la cantidad de químico de cuidado de la ubre (página 7-97)	1	

Tareas de Limpieza	Diario	Semanal
Examinar la cantidad de químico de reactivo MQC-C de somática y llenar (página 7-67)	1	
Examinar cantidad de químicos en la Unidad Central (página 7-53)	1	
Examinar el compresor de aire y secador (página 7-51)	1	
Limpia comedero (página 7-45)		1
Limpia el campo visual de cámara 3D (p página 7-28).		1

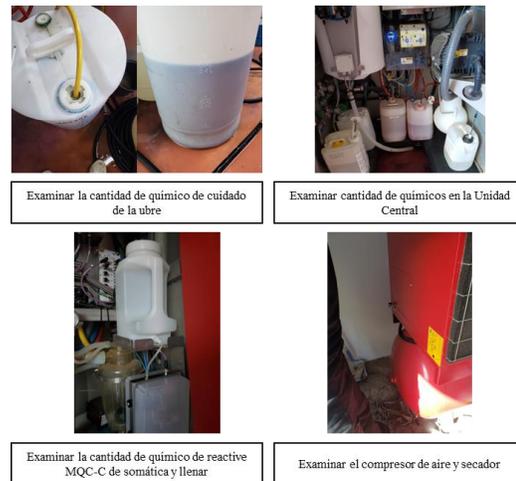
Para comprender el orden del proceso, se realizó un Flujograma (véase Figura 4) con los pasos de limpieza del robot. El proceso de limpieza comienza cuando el robot está fuera de operación. En la pantalla del robot aparece cada una de las limpiezas que se deben de realizar y una vez culminadas, el ganadero oprime una marca de cotejo (✓) verde que aparece en la pantalla. Es importante mencionar que la pantalla se debe limpiar con agua, jabón, cepillo y una bayeta húmeda.



**Figura 4**  
**Flujograma**

Una vez culmina el proceso de limpiar las partes del equipo del robot, se procede a examinar las cantidades de químicos de la prueba MQC-C de

somática, los químicos localizados en la Unidad Central, la cantidad de químico del cuidado de la ubre y el compresor del aire junto con el secador (Figura 5). Cuando los ganaderos terminan de limpiar el robot y no continúan con la verificación de los químicos, el robot comienza a trabajar a base de agua volviendo a infectar los equipos que se limpiaron. El aire comprimido se verifica, porque si se encuentra bajo presión, el robot inmediatamente se apaga.



**Figura 5**  
**Químicos Examinados**  
**Medir**

La etapa de Medir se destaca en recolectar los datos para analizar el problema presentado por la vaquería de Moca. Para la recolección de los datos de este estudio, el primer paso fue solicitarles a los técnicos de la ganadería los datos recopilados por el robot. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de los datos recopilados en agosto 2022. Los datos brindados fueron recolectados por el robot durante los meses de enero a septiembre de 2022. La variable seleccionada fue la Cantidad de Leche de la vaquería de Moca durante enero a septiembre de 2022 y las poblaciones estudiadas fueron la Producción de Leche Aceptable y la Leche Separada por Bacterias.

Fecha	Días de lactancia	Nr de vacas	Producción de leche	Ordeños	Denegaciones	Fallas	Leche separada	Promedio de recuento de células
8/31/2022	207	139	3874	2.1	1.7	0.1	241	344
8/30/2022	206	139	4072	2.3	1.5	0.2	257	317
8/29/2022	208	137	3924	2.1	1.2	0.1	228	301
8/28/2022	207	137	4166	2.2	1.4	0.2	338	335
8/27/2022	209	135	4234	2.3	1.2	0.1	334	351
8/26/2022	208	135	4208	2.3	1.5	0.1	325	380
8/25/2022	208	136	4027	2.1	1.4	0.1	374	346
8/24/2022	208	137	3845	2.1	1.2	0.1	329	377
8/23/2022	209	136	4251	2.3	1.5	0.2	205	404
8/22/2022	210	138	3837	2	1.4	0.1	243	338
8/21/2022	209	138	4047	2.2	1.5	0.1	275	379
8/20/2022	206	139	4353	2.2	1.3	0.1	215	343
8/19/2022	205	139	4175	2.2	1.3	0.2	245	330
8/18/2022	204	139	4230	2.2	1.5	0.1	279	338
8/17/2022	212	140	3912	2.1	1.2	0.2	280	390
8/16/2022	211	140	3951	2.1	1.4	0.2	303	338
8/15/2022	213	138	3940	2.2	2.3	0.2	279	282
8/14/2022	213	136	4240	2.3	0.7	0	249	360
8/13/2022	211	138	3971	2.2	1.2	0.1	292	386
8/12/2022	215	135	4124	2.4	1.6	0.1	307	409
8/11/2022	214	135	4138	2.1	1	0.1	265	391
8/10/2022	214	134	4186	2.1	0.8	0.1	354	337
8/9/2022	213	134	4376	2.2	1.3	0.1	487	298
8/8/2022	217	136	4291	2.1	1	0	435	282
8/7/2022	217	135	4291	2.1	1.2	0.1	421	306
8/6/2022	216	135	4236	2.2	1.3	0.1	317	356
8/5/2022	220	132	3991	2.2	1.2	0.1	290	355
8/4/2022	218	133	4152	2.3	2.4	0.1	369	330
8/3/2022	223	129	4127	2.3	2.2	0	334	321
8/2/2022	222	129	4334	2.3	1.8	0	252	336
8/1/2022	221	130	4330	2.1	0.7	0.1	395	306

**Figura 6**  
Recolección de Datos

En las estadísticas descriptivas mostradas en la Figura 7 (entre 01-01-2022 y 08-31-2022), se observa que el número promedio de la Producción de Leche Aceptable fue 4,483, mientras que el número promedio de Leche Separada por Bacterias fue 300, para un total de 4,783 número promedio de leche en la vaquería de Moca. La diferencia de la cantidad de leche en libras entre la Producción de Leche Aceptable fue de 5,073 la leche sin bacterias, sin embargo, la Leche Separada por Bacterias fue 618. El rango de la Producción de Leche Aceptable fue de 1,471 mientras que el de Leche Separada por Bacterias fue 482. La desviación estándar de Producción de Leche Aceptable fue de 332, mientras que la Leche Separada por Bacterias fue 83. Finalmente, del periodo de 243 días, entre enero a septiembre de 2022, la Producción de Leche Aceptable fue de 1,089,418 libras de leche, mientras que la Leche Separada por Bacterias (leche contaminada por bacterias) fue de 72,961.

El cambio de libras a litros de leche se realiza mediante una conversión, y la leche de vaca tiene una densidad de 1.030 g/cm<sup>3</sup>. La cantidad de Producción de Leche Aceptable fue de 479,758 litros de leche mientras la Leche Separada por Bacterias fue de 32,130 litros de leche.

Estadísticas Descriptivas: La Cantidad de Leche en libras de la vaquería de Moca durante enero hasta agosto del año 2022

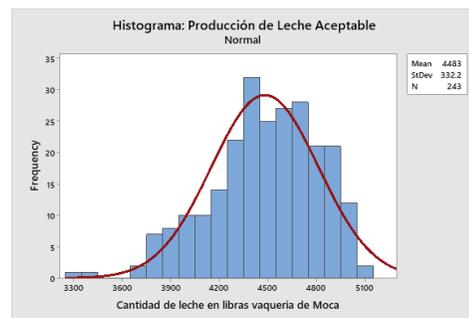
Variable	Total Count	Mean	StDev	Sum	Minimum	Q1	Median	Q3
Producción de Leche Aceptable	243	4483	332	1089418	3332	4293	4508	473
Leche Separada por Bacterias	243	300	83	72961	136	241	289	34

Variable	Range	Mode	N for Mode
Producción de Leche Aceptable	1741	4352, 4375, 4575, 4599	2
Leche Separada por Bacterias	482	278	3

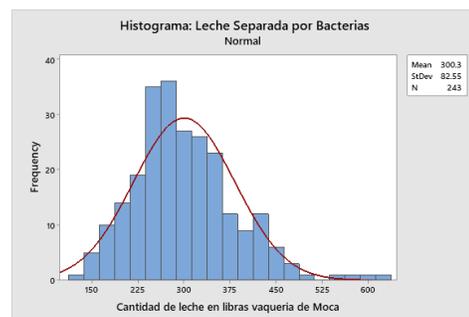
**Figura 7**  
Estadísticas Descriptivas: La Cantidad de Leche

En el histograma de la Figura 8 se observa la cantidad de Producción de Leche Aceptable en los meses de enero-agosto 2022. La mayor concentración de las libras de leche estuvo en 4,450 – 4,650. Sin embargo, presenta un sesgo negativo, ya que la concentración está en la parte derecha del histograma. Incluso se pueden observar posibles valores atípicos en el histograma.



**Figura 8**  
Histograma: Producción de Leche Aceptable

En el histograma de la Figura 9 se observa la cantidad de Leche Separada por Bacterias a causa de las células somáticas para los meses de enero-agosto, siendo la mayor concentración de las libras de leche entre 262 – 287. Sin embargo, presenta un sesgo positivo, ya que la concentración está en la parte izquierda del histograma. Incluso se pueden observar posibles valores atípicos en el histograma.



**Figura 9**  
Histograma: Leche Separada por Bacterias

## Analizar

La empresa IDEA Solutions creó hace dos años uno de sus mayores proyectos, la implantación del Robot Lely Atronaut A5. Este robot fue implementado en una ganadería en Puerto Rico, localizada en Moca. Actualmente este servicio se da a 130 vacas. Con la ayuda del robot, las vacas deciden por sí mismas cuándo deben ir a comer, beber agua y leche. El robot tiene una pantalla de interfaz fácil de usar, pone al alcance del ganadero las funciones, configuraciones, información e informes de importancia. Se monitorean las 24 horas del día, utilizando el brazo híbrido que proporciona mayor alcance y acoplamiento más rápido y seguro, además de que permite reducir el consumo energético y aumentar el rendimiento de las vacas.

Durante este proyecto, las causas que afectan a las vacas para producir correctamente la leche fueron investigadas. El primer hallazgo fue que este robot es una tecnología muy avanzada y es necesario realizar un mantenimiento correcto para que funcione de manera efectiva. El mantenimiento está indicado en el manual llamado “*Lely Astronaut A5 Operator Manual*”, indicando que el mantenimiento debe ser diario y semanal. El segundo hallazgo es que las vacas actualmente sufren de una célula somática—El robot detectó la bacteria al tomarle una muestra de la leche y al agregarle un líquido reactivo.

El recuento de células somáticas se generó a partir de la viscosidad de la muestra. Cuanto más espesa se volvió la leche, mayores fueron las señales de que había un alto nivel de células somáticas. Este sistema en el robot es el “Recuento de células de control de calidad de la leche” (MQC-C por sus siglas en inglés); de esta manera aparece en la pantalla. El MQC-C se realiza cada tres ordeños. La prueba se considera alta si su valor es superior a 500,000 células/ml. Es importante destacar que las vacas que padecen esta bacteria deben permanecer aisladas del resto y comenzar un tratamiento diario para poder curarse. Este tratamiento es monitoreado por los ganaderos. Si no

se siguen las instrucciones para aplicar medicamentos, las vacas continuarán con la bacteria y su leche no puede ser consumida ni vendida.

La Figura 10 presenta el Diagrama de Causa y Efecto sobre las principales causas para grandes pérdidas en libras de leche en la vaquería. Las causas se presentan para las 5 categorías: Materiales, Personal, Maquinaria, Medio Ambiente y Métodos.



**Figura 10**  
**Diagrama de Causa y Efecto**

El robot tiene la función de recopilar los datos del recuento de las células somáticas. Para ello, se estuvieron analizando los meses de enero hasta agosto 2022, con el fin de detectar los meses que las vacas padecen más de esta bacteria. Actualmente, el robot recopila esta muestra de las células somáticas y el número dado debe de multiplicarse por 1,000 para saber el valor real. El valor no puede pasar de 500,000 células/ml. Luego de analizar los datos y realizar la multiplicación, se encontró que, durante los meses de julio hasta agosto, hubo un alto valor en el recuento de las células somáticas.

En el *Run Chart*, presentado en la Figura 11, se pueden observar los diferentes *p-values*. En este caso, la Cantidad de Células Somáticas durante el mes de junio, presenta una variación por causas especiales. Esto se debe a que el *p-value* muestra una tendencia con un valor de 0.010, lo cual es un *p-value* menor al nivel de significancia, que es un 0.05, por lo tanto, rechaza la hipótesis nula. Por otro lado, el valor de agrupación con un valor de 0.051 mezcla con un valor de 0.949 y el de oscilación con un valor de 0.990 son mayor que el valor de significancia que es 0.05. Esto quiere decir que no hay presencia de estos patrones de variación

de causas especiales. No obstante, si hay tendencia, por lo que se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, esto representa variación por causas especiales en el conjunto de datos. Se observa que, durante el mes de junio, específicamente los días 9, 12 y 14 se obtuvo un valor entre 403,000 – 418, 000 células/ml. Estos valores no sobrepasan las 500,000 células/ml. Sin embargo, estos valores dan a entender que durante esos días hubo una tendencia y las vacas presentaban síntomas para padecer de esta bacteria.

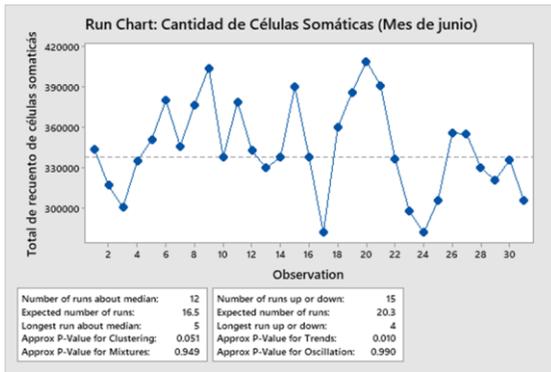


Figura 11

Run Chart: Cantidad de Células Somáticas (Mes de junio)

En el *Run Chart* (Figura 12) se pueden observar los diferentes *p-values*. En este caso, la Cantidad de Células Somáticas durante el mes de julio, presenta una variación por causas especiales. Esto se debe a que el *p-value* para agrupamiento y tendencia con un valor de 0.003, es menor al nivel de significancia, que es un 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Por otro lado, el valor de mezcla con un valor de 0.997 y el de oscilación con un valor de 0.997 son mayores que el valor de significancia que es 0.05. Para el 22 y 25 de julio se observan un alto valor de células somáticas, con un valor de 562,000 células/ml y 547,000 células/ml, respectivamente. El mes de julio fue detectado como el mes con más alto valor de células somáticas. Los resultados muestran que durante este mes las vacas no recibieron el tratamiento indicado y al robot no se le realizaron las limpiezas necesarias para evitar que las células somáticas se siguieran propagando entre las demás vacas.

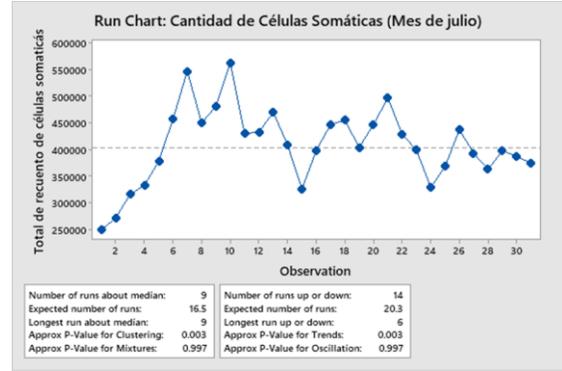


Figura 12

Run Chart: Cantidad de Células Somáticas (Mes de julio)

Por último, en el *Run Chart* (Figura 13) del mes de agosto se pueden observar los diferentes *p-values*. En este caso la Cantidad de Células Somáticas durante el mes de agosto presenta una variación por causas especiales. Esto se debe a que el *p-value* para agrupamiento es un valor de 0.001 y el de tendencia con un valor de 0.006, lo cual es un *p-value* menor al nivel de significancia que es un 0.05; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula. Por otro lado, el valor de mezcla con un valor de 0.999 y el de oscilación con un valor de 0.994 son mayores que el valor de significancia que es 0.05. Durante los días 12 y 23 de agosto se obtuvieron unos valores de 409,000 – 404,000 células/ml. Los valores entran dentro de las 500,000 células/ml; aun así, se deben mantener monitoreando los datos y verificar las vacas que detectan el alto valor de células somáticas.

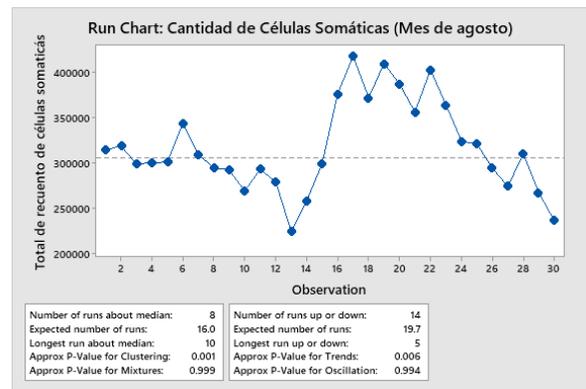


Figura 13

Run Chart: Cantidad de Células Somáticas (Mes de agosto)

## Mejora

En la etapa de Mejora se realizó una presentación para los ganaderos. Los técnicos de apoyo estuvieron brindándoles una presentación a todos los ganaderos para explicarles las partes del equipo que deben limpiarse y ser examinadas. Cada ganadero podía observar las partes y saber la ubicación de las diferentes partes del robot. También, se realizó una lista de cotejo para evaluar detalladamente cada una de las tareas de limpieza del robot y lograr resolver con eficiencia la actividad. También les permite ver a los técnicos con claridad las tareas que deben realizarse, siguiendo un orden detallado.

VAQUERIA SAN MIGUEL				
Hoja de Cotejo para la Limpieza del Robot Lely A5 Astronaut				
Instrucciones: El operador deberá realizar estas tareas diarias y semanal. Las tareas en color azul se realizan diariamente, las verdes se realizan semanal.			Firma del Técnico:	
Tareas de Limpieza	Sí	No	N/A	Observaciones
Limpia las copas de las teteras				
Examinar las copas de las teteras				
Examinar los centros de copa				
Limpia los agujeros de sangrado				
Limpia el brazo del robot y el cajón				
Limpia el campo visual de cámara 3D				
Limpia pantalla TDS II				
Examinar tubos gemelos				
Examinar los cepillos de limpieza				
Limpia comedero				
Examinar 6-tubos plegables				
Examinar el interior del frac de leche				
Limpia pantalla táctil E-Link				
Examinar la cantidad de químico de cuidado de la ubre				
Examinar la cantidad de químico de reactivo MQC-C de somática y llenar				
Examinar cantidad de químicos en la Unidad Central				
Examinar el compresor de aire y secador				

**Figura 14**  
**Hoja de Cotejo**

La Hoja de Cotejo está ubicada en el área donde se encuentran los químicos a examinar.

## Control

El propósito de esta etapa es mantener un control en la limpieza del robot ubicado en la vaquería de Moca. Los empleados de apoyo técnico deben asegurarse de que el proceso explicado anteriormente se siga al pie de la letra. En este control, se estableció el procedimiento de la limpieza de los equipos del robot, la examinación de los químicos como parte del proceso y otras tareas necesarias para garantizar cumplimiento. De esta forma, se evitará la gran pérdida de leche en la vaquería y el alto valor de las células somáticas.

## CONCLUSIÓN

Durante esta investigación, se identificaron las causas que afectaban la pérdida de leche en la vaquería de Moca, se encontró una alta cantidad de células somáticas en las vacas. Utilizando la metodología de DMAIC se lograron recolectar los datos y analizarlos, durante el mes de julio hubo un alto valor de bacterias a causa de las células somáticas y gran pérdida de leche a causa de la bacteria. Durante el mes de julio se observan un alto valor de células somáticas en los días 22 con un valor de 562,000 células/ml y 25 con un valor de 547,000 células/ml. Los resultados nos muestran que mediante este mes las vacas no recibieron el tratamiento indicado, también al robot no se le realizó las limpiezas necesarias para evitar que las células somáticas se sigan propagando entre las demás vacas. Se creó un “Checklist” para cumplir con la limpieza de las partes del robot y una presentación para explicarles a los ganaderos como realizar las tareas y como se realiza el proceso.

## REFERENCIAS

- [1] H. Monardes & N. Barria, “Recuento de células somáticas y mastitis”, TechnoVet, Chile, 1995.
- [2] Lely Industries N.V. *Lely Astronaut A5 Milking Robot*. 1-292, 2020.
- [3] P. Cervantes Acosta, A. Hernández B., D. P. Bonilla S., J. M. Martínez H., C. Lamothe Z, “Mastitis y Celulas Somaticas: factores no nutricionales que alteran la composicion lactea”, Universidad Veracruzana, 1-18, s.f. [En Línea]. Disponible: <https://www.uv.mx/veracruz/cienciaanimal/files/2013/11/Mastitis-y-Celulas-Somaticas-factores-no-nutricionales-que-alteran-la-composicion-lactea.pdf>.
- [4] M. Chahine y M. E. de Haro Martí, “Como Reducir el Recuento de Celulas Somaticas”, Sitio Argentino de Producción Animal, 2011. [En Línea]. Disponible: [https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad\\_intoxicaciones\\_metabolicos/infecciosas/bovinos\\_leche/52-reducir.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/infecciosas/bovinos_leche/52-reducir.pdf).
- [5] *Prueba Californiana de Mastitis (CMT)*, s.f. [En Línea]. Disponible: [http://www.infovets.com/books/spanish\\_dairy/D/D100.htm](http://www.infovets.com/books/spanish_dairy/D/D100.htm). [Accedido 22-sept-2022].
- [6] When should DMAIC be your go-to problem-solving tool?, *RACC*, May 2022 [Online]. Available: <https://traccsolution.com/blog/dmaic/>. [Accessed: May 8, 2022].