



Autor: Eliann Lugo Leandry

Asesora: Dra. Maria Garcia Sandoval  
Maestría en Ingeniería de Manufactura

## 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.

## Introducción

El Robot Lely Astronaut A5, encargado de alimentar y ordeñar las vacas sin la necesidad de un ganadero, realizado por el sistema automático. 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. Cuando una vaca es catalogada con bacteria, debe pasar un periodo en aislamiento para que no se propague.

## Background

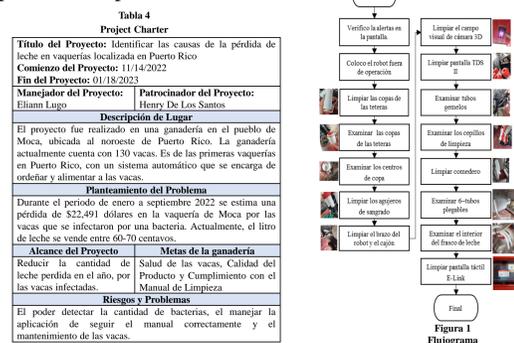
La mastitis es la tercera de las principales causas de descarte de las vacas, luego de la baja producción de leche y problemas reproductivos. La mastitis es una reacción inflamatoria de la glándula mamaria, y se caracteriza por alteraciones físicas y químicas en la leche de la vaca. Cuando la vaca es detectada con una mastitis severa, rápidamente pasa a aislamiento y comienza un tratamiento de antibióticos para reducir la infección. 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. Cuando la vaca presenta esta mastitis, su leche no es de apariencia anormal, pero tampoco presenta hinchazón o molestar en la ubre. 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 1/2 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. Mientras mas espesa se vuelva la mezcla, significa que hay grandes cantidades de bacterias.

## Problema

Durante el 2022, se diagnosticaron de 6 a 8 vacas mensuales con una célula somática. 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.

## Metodología

Para este proyecto de diseño se es uso la metodología DMAIC. Esta metodología se utiliza para mejoras continuas de procesos y productos como parte de la filosofía Six Sigma. **Definir:** Actualmente las vacas se dirigen al robot cuando desean comer, los ganaderos revisan la pantalla del robot para verificar que no haya alarmas, si hay alarmas existentes deben limpiar el equipo que el robot identifico. Luego de varias reuniones, se realizó un Project Charter (véase Tabla 4). Para comprender el orden del proceso se realizó un Flujiograma (figura 1), con los pasos de limpieza del robot.



**Medir:** La variable seleccionada (La Cantidad de Leche de la vaquería de Moca durante enero a agosto del año 2022) las poblaciones son (Producción de Leche Aceptable) y (Leche Separada por Bacterias).

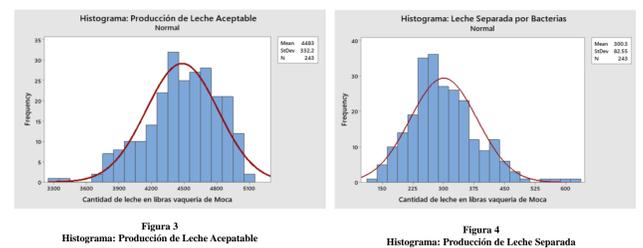
Estadísticas Descriptivas: La Cantidad de Leche en libras de la vaquería de Moca durante enero hasta agosto del año 2022

Variable	Total Count	Mean	STDev	Sum	Minimum	Q1	Median	Q3
Producción de Leche Aceptable	243	4483	332	1089418	3332	4293	4508	4773
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

En las estadísticas descriptivas en la (figura 2) entre (01-01-2022 – 08-31-2022), el número promedio de la Producción de Leche Aceptable fue 4,483, mientras que el número promedio de Leche Separada por Bacterias es de 300 para un total de 4,783 número promedio de leche en la vaquería de Moca. 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.



En el histograma (figura 3) la cantidad de Producción de Leche Aceptable en los meses de enero-agosto 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. En el histograma (figura 4) Leche Separada la mayor concentración de las libras de leche se encuentra desde 262 – 287. Sin embargo, presenta un sesgo positivo ya que la concentración esta en la parte izquierda del histograma.

## Resultados y Discusión

**Analizar:** 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, 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. Este sistema en el robot es el “Recuento de células de control de calidad de la leche”. La prueba se realiza cada tres ordeños y se considera alta si su valor es superior a 500.000 células/ml. En el Diagrama de Causa y Efecto presentado en la (figura 5), se presentan las diferentes causas de este problema.



En el Run Chart (figura 6) la Cantidad de Células Somáticas durante el mes de julio, presenta una variación por causas especiales, 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. 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.

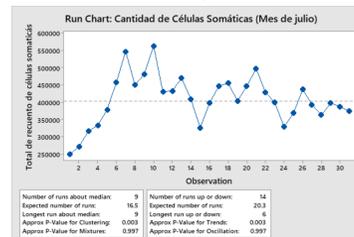


Figura 6 Run Chart: Cantidad de Células Somáticas (Mes de Julio)

**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.

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 de realizarse.

**Control:** Los empleados de apoyo técnico deben de 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.

VAQUERIA SAN MIGUEL				
Hoja de Cotejo para la Limpieza del Robot Lely A5 Astronaut				
Instrucciones: El operador deberá realizar estas tareas (diarias y semanales). Las tareas en color azul se realizan diariamente, las verdes se realizan semanales.			Firma del Técnico:	
Tareas de Limpieza	SI	NO	N/A	Observaciones
Limpieza las copas de las tetinas				
Examinar las copas de las tetinas				
Examinar los controles de copa				
Limpieza los agujeros de sangrado				
Limpieza el brazo del robot y el cañón				
Limpieza el campo visual de cámara 3D				
Limpieza pantalla TDS II				
Examinar tubos gemelos				
Examinar los contenedores de limpieza				
Limpieza comederos				
Examinar 6-tubos plegables				
Examinar el interior del fiasco de leche				
Limpieza pantalla E-Link				
Examinar la cantidad de químico de cuidado de la ubre				
Examinar la cantidad de químico de reactivo MQC-C de acrombia y litras				
Examinar cantidad de químicos en la Unidad Central				
Examinar el compresor de aire y soplador				

Figura 7 Hoja de Cotejo

## Conclusión

Durante esta investigación, se identificaron las causas que afectaban la perdida 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 realizo las limpiezas necesarias para evitar que las células somáticas se sigan propagando entre las demás vacas. Se creo 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.

## Future Work

Para aumentar la cantidad de Leche producida en la vaquería, este tipo de investigación y desarrollo puede aplicarse en procesos como este. Ayuda a minimizar las células somáticas encontradas en las vacas y aumentar la cantidad de leche producida anual. Al final, ayuda a establecer una rutina y compromiso con los ganaderos para realizar la limpieza continua al robot Lely Astronaut A5. La Hoja de Cotejo, conocida en inglés como “Checklist” garantiza que los ganaderos no se les olvide nada importante durante el proceso y que puedan comprometer los resultados. Además, garantiza que cada una de las tareas de limpieza se cumplan de forma organizada.

## Agradecimientos

La Dra. María García Sandoval tuvo el privilegio de ser su estudiante desde que comencé mi bachillerato en Ingeniería Industrial. La compañía IDEA Solutions, en especial a Juan David y Henry De Los Santos por darme la oportunidad de realizar el proyecto. Por último, al Dr. Rafael Nieves, tome con él la clase de “Research Methodology” y gracias a sus consejos académicos logre comenzar a realizar este proyecto.

## 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] 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].