



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Facultad de Ingeniería

Proyecto de Grado de Ingeniería en Computación

"Detección automática de mastitis bovina"

9 de Abril de 2016

Autores:

Juan Pablo Lorier Arismendi

Martín Rubio Mata

Tutores:

Jorge Visca

Martín Giachino

Resumen

En Uruguay, la lechería es una de las actividades agropecuarias de mayor relevancia económica. De los factores que afectan la producción lechera, la inflamación de las mamas (en adelante mastitis) es el de mayor incidencia en términos económicos y de prevalencia. Esta patología provoca pérdidas económicas al disminuir sustancialmente la producción de la vaca infectada, baja la calidad de la leche producida lo que genera un decremento en el precio por litro y aumentando los costos asociados al tratamiento veterinario necesario para el animal. El método más utilizado en Uruguay para la detección de la mastitis es el California Mastitis Test (en adelante CMT), que por su forma de empleo y necesidad de intervención de personal capacitado generalmente no logra detectar la enfermedad hasta estadios cercanos al clínico. El presente trabajo propone aplicar un método de detección mediante la medición de la conductividad eléctrica de la leche, para lo cual se pretende desarrollar un dispositivo medidor y un software de gestión asociado. Este método pretende mejorar la detección eliminando el factor de error de subjetividad y aumentando los niveles de sensibilidad y especificidad (que son la capacidad de la prueba de detectar casos positivos y negativos respectivamente en forma correcta) respecto del CMT de forma de poder hacer la detección en su estado subclínico lo más tempranamente posible. Para este fin, se combinan distintas técnicas de eliminación de errores y multi-muestreo de cada pezón de la vaca (en adelante cuarto). El dispositivo a diseñar debe contar con un sensor de electroconductividad para medir las muestras, identificar la vaca muestreada, enviar los datos al software de gestión y permitir la interacción con el usuario. Se requiere también diseñar un portal que permita la gestión, consultas y estadísticas y cumpla la función de almacenar los datos recolectados. Durante el desarrollo del proyecto, se logró construir un prototipo funcional que cumple con todas las premisas planteadas lo que permite concluir que es viable emplear esta metodología en forma eficaz y eficientemente como solución de la problemática planteada.

Palabras Clave: Mastitis, Sensores, Electroconductividad, CMT

Índice general

1. Introducción	1
1.1. La industria lechera en Uruguay	1
1.2. La mastitis	3
1.3. Producción, calidad y su interrelación con el valor económico .	4
1.4. Aplicaciones	6
2. Métodos de detección de mastitis	7
2.1. Conductividad Eléctrica y la mastitis	8
2.1.1. Método Manual	9
2.1.2. Método Automatizado	9
3. Propuesta	11
3.1. Descripción de la realidad	11
3.1.1. Sistemas informáticos aplicados a la lechería	12
3.2. Solución Propuesta	12
3.2.1. Recolección	13
3.2.2. Procesamiento	14
3.2.3. Presentación	14
4. Implementación del prototipo	16
4.1. Arquitectura	16
4.2. Diseño del hardware	17
4.3. El software	19
4.3.1. Interacción con el usuario	
.	20
4.3.2. Procesamiento de muestras	
.	20
4.3.3. Evaluación de los resultados	
.	22
4.3.4. Comunicación	
.	23

4.4. Plataforma Web	24
4.4.1. Configuración	25
4.4.2. Configuración de grupos de establecimientos	25
4.4.3. Grupos de establecimientos	25
4.4.4. Establecimientos	25
4.4.5. Vacas	26
5. Experimentos	27
5.1. Objetivos	27
5.2. Herramientas utilizadas	27
5.3. Protocolo de recolección y análisis	30
5.4. Resultados	31
5.4.1. Resultados del prototipo	31
5.4.2. Resultados del laboratorio	32
5.4.3. Análisis de resultados	33
6. Conclusiones	40
6.1. Trabajo a futuro	41
Anexos	42
Nomenclatura	52
Bibliografía	56

Capítulo 1

Introducción

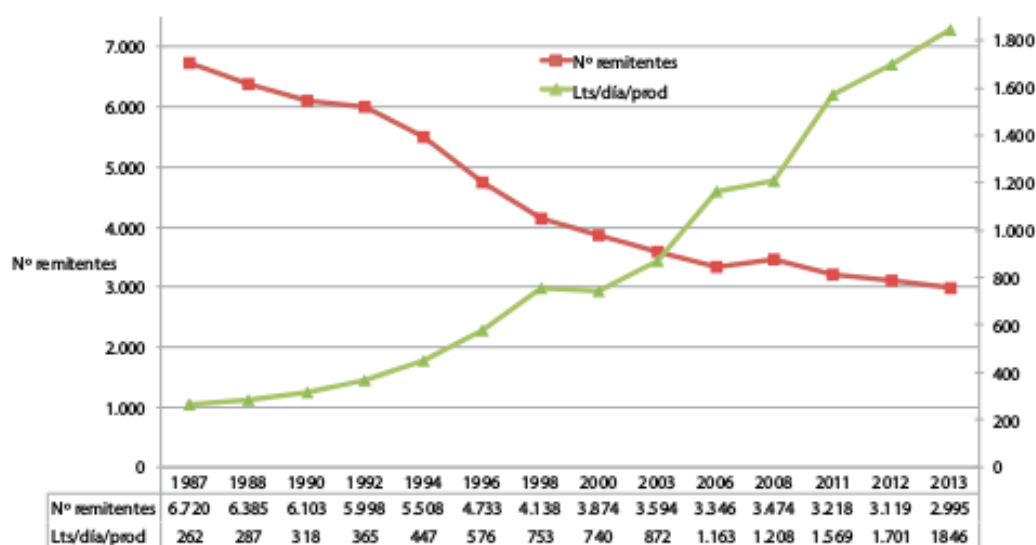
Se advierte que la industria lechera en Uruguay enfrenta distintos problemas endémicos a los que no se ha podido atacar en el pasado. En la actualidad, con el uso de tecnología, esta realidad puede revertirse de forma práctica y económicamente viable.

1.1. La industria lechera en Uruguay

Históricamente la lechería ha sido una industria muy relevante en la economía uruguaya, por lo que el estudio de la misma es un tema de importancia para nuestra sociedad. En el año 2008 la industria láctea ocupó el tercer lugar entre las agro-industrias más pujantes a nivel nacional, representando un 9% del Valor Bruto de Producción (VBP). Asimismo empleó en forma directa 19300 personas y en forma indirecta generó 4600 puestos de trabajo. Cabe destacar que esta industria también se encuentra entre las más importantes en cuanto a las exportaciones generadas en el sector agro-industrial [48]. Uno de los principales focos en los cuales toda industria debe prestar atención es en la producción, que es su fuente de ingresos. A su vez, para saber que factores afectan a la producción, es necesario estudiarla y no es posible hacerlo como un conjunto de sistemas aislados, es necesario estudiar la cadena productiva en su totalidad como una unidad dinámica. Existen diferentes factores que afectan la producción, por ejemplo, un factor claro es la distribución de la superficie dedicada a la actividad ganadera, la cual ha disminuido con el tiempo. Año tras año, tanto la forestación para atender a la industria maderera, como las áreas dedicadas a la producción agrícola (ya sean plantaciones de soja para la producción de biocombustibles y exportación u otros cultivos extensivos) han ido quitándole superficie. Otro de los factores que sobresalen debido a su importancia es el número de productores

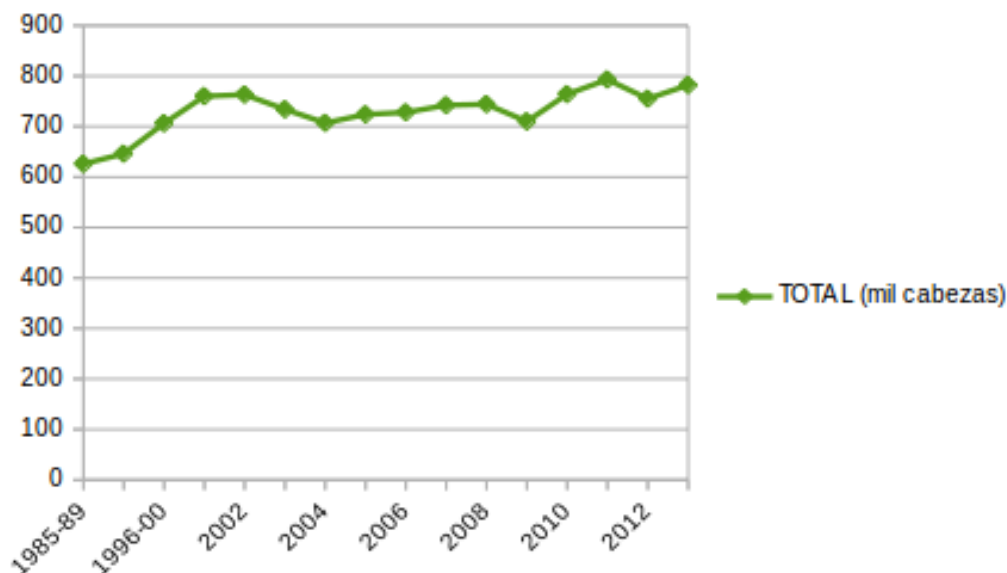
que remiten su producción lechera a las plantas (en adelante remitentes) y la cantidad de litros de leche que los mismos producen. En la Figura 1.1.1 se muestra una comparación del número de remitentes y el volumen diario de leche remitida que abarca el intervalo desde 1987 hasta 2013, donde se destaca la disminución en la cantidad de remitentes, pero en contraparte se aprecia un importante incremento en la cantidad de litros de leche producidos en el mismo período [12].

Figura 1.1.1: Remitentes y volumen diario remitido. [12]



Si bien la cantidad de remitentes y el área destinada a la lechería ha ido en decremento, la concientización que han hecho los productores sobre la necesidad de mejorar el rendimiento por hectárea invirtiendo en tecnología ha permitido que esta aumente de tal forma que compense las pérdidas mencionadas. La producción de leche ha crecido en forma constante en las últimas décadas, con una tasa promedio anual de 5 % [46]. El número de cabezas de animales involucradas también influye en la producción. Este presenta una proyección creciente con el paso de los años (Ver Figura 1.1.2, [12]), lo que permite aumentar la cantidad de litros de leche producidos pero también exige a toda la cadena productiva una optimización de sus procesos, tanto a nivel de los productores como de las plantas encargadas del procesamiento.

Figura 1.1.2: Cabezas de ganado por año. [12]



1.2. La mastitis

La mastitis es una inflamación de la glándula mamaria que en el caso del ganado puede afectar uno o más de cuartos de una vaca. Se distinguen dos estadios de la enfermedad que se diferencian por la presentación o no de signos observables a simple vista o por palpación del cuarto. Para este proyecto lo relevante de estos estadios es la diferencia en la incidencia de la calidad y la cantidad de la leche producida:

Mastitis subclínica: No presenta cambios aparentes en la leche por lo que su detección es más difícil. En este estadio, se produce una merma importante en la cantidad de la leche producida por el cuarto afectado. Entre un 70 % y 80 % de las pérdidas de producción son atribuidas a este estado de la enfermedad [39]. Según un estudio de los laboratorios Santa Elena [8], se pierde en el entorno de 5 % de la producción de un tambo por este motivo, siendo entre un 5 %-7 % un buen margen de rentabilidad para una empresa lechera.

Mastitis clínica: Es la que se puede detectar rápidamente por un cambio notable en la leche producida y por cambios físicos en el cuarto afectado. En este estadio la recuperación del cuarto afectado es más lenta y se produce la mayor afectación a la calidad de la leche ya que el aporte de

células somáticas es muy elevado, incluso llegando a influir en el total del tanque de enfriamiento.

En los estudios más recientes registrados que datan de 1999 [21], se reporta que el promedio geométrico de cantidad de células somáticas (CCS) en muestras de leche de tanques de enfriamiento tomadas en el 80 % de los tambos del Uruguay de esa fecha, reportan valores en el entorno de 450000-500000 células/ml. Estos valores indican que al menos 51 % del ganado sufre de mastitis subclínica considerando los rangos estimados por Philpot y Nickerson [19].

Para el 2002 estos valores eran de 52,4 % de las vacas y 26,4 % de los cuartos diagnosticados con mastitis subclínica [19], lo cual representó una pérdida anual para el país de 26 millones de dólares [20].

El impacto de la mastitis abarca factores directos e indirectos. Entre los directos encontramos la disminución de la producción de la vaca infectada, la necesidad de poner al animal en cuarentena separándolo del grupo lo que implica un tratamiento especial, la pérdida total de la producción de este ya que su leche no es comercializable durante el uso de antibióticos y el costo asociado al tratamiento veterinario. En casos extremos donde no se trate la infección puede llegar a producir la muerte del animal [5].

Entre los factores indirectos están el aumento de la probabilidad de contagio a otras vacas, la reducción de la fertilidad en la lactancia temprana [46] y la degradación de la calidad de la leche en el tanque de enfriamiento durante el lapso que la vaca presenta la enfermedad y que es detectada para poder separar la vaca afectada.

Existen diferentes métodos directos e indirectos que permiten detectar la enfermedad. Entre los métodos indirectos se destacan el recuento de células somáticas y la medición de la conductividad eléctrica (EC) [15] de la leche. Desde 1942 la medición de la conductividad eléctrica viene siendo propuesta como una técnica de alta eficiencia para la detección de la mastitis [32].

1.3. Producción, calidad y su interrelación con el valor económico

Desde la década de los 90's, el país ha puesto énfasis en el control y mejora de la calidad de leche producida. Particularmente en el año 1995, el decreto del Poder Ejecutivo Nro. 90/995 estableció una normativa para la creación del Sistema Nacional de Calidad de la Leche [46]. Con el tiempo el mismo fue evolucionando hasta que en marzo de 1999, el sistema habilita a la industria la posibilidad de crear categorías de bonificación en base a la calidad. Cuando

se habla de calidad de leche, se involucran varios aspectos de la misma que pueden dividirse según categorías [7]:

- Calidad higiénico-sanitaria: microorganismos patógenos y saprofitos, toxinas, residuos químicos, células somáticas y materias extrañas.
- Calidad de composición: grasa, proteína, lactosa, vitaminas y minerales.

De los distintos factores que son considerados a la hora de evaluar la calidad de la leche, el que es de interés para el presente proyecto es el número de células somáticas (o también denominado recuento celular)¹, ya que está relacionado directamente con la presencia de mastitis [46]. Por ejemplo, en Uruguay, Conaprole bonifica a los productores en base a los siguientes parámetros:

- bonifica con un 18 % a las producciones con menos de $400 \times 10^3 \text{ cel/ml}$
- bonificación variable para las producciones que tengan entre $401 \times 10^3 \text{ cel/ml}$ y $600 \times 10^3 \text{ cel/ml}$
- no tienen bonificación las producciones que se encuentren entre $601 \times 10^3 \text{ cel/ml}$ y $800 \times 10^3 \text{ cel/ml}$
- a partir de $801 \times 10^3 \text{ cel/ml}$ comienzan las penalizaciones

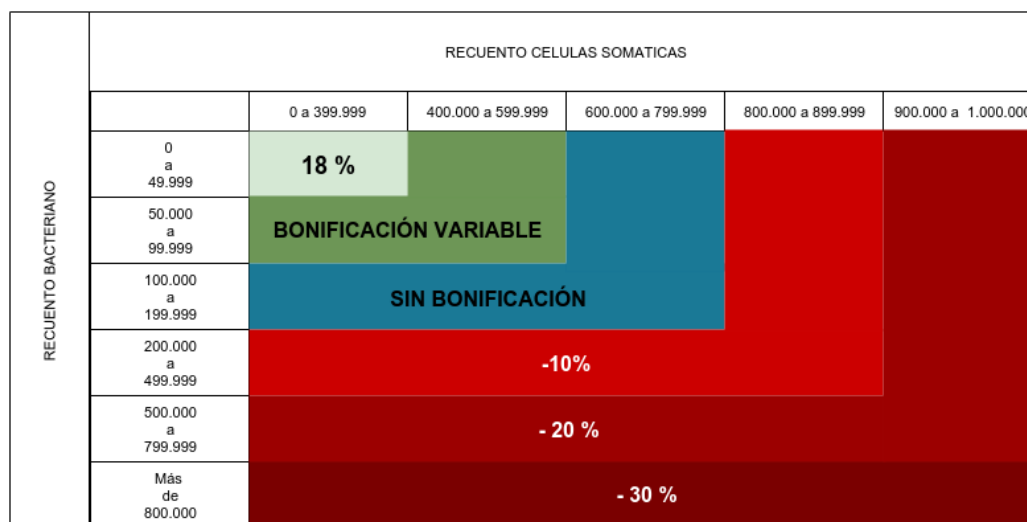


Figura 1.3.1: Sistema de pago por Calidad de CONAPROLE [46]

¹"Las células somáticas representan la totalidad de las células del organismo excepto las células germinales y las células embrionarias, que son el origen de los gametos." - <http://salud.ccm.net/faq/14637-celulas-somaticas-definicion>

1.4. Aplicaciones

En la década de los '70 expertos internacionales diseñaron un plan de mitigación [8] donde se estableció un conjunto de pautas a seguir para realizar un combate efectivo de la prevalencia de la enfermedad. En dicho plan se destaca la necesidad de contar con información actual y confiable acerca del estado de cada vaca.

Se entrevistó a doctores veterinarios (A. Brienza, comunicación personal 23 de junio de 2015, L. De Brun, comunicación personal 6 de julio de 2015) como expertos en la materia con el fin de recabar información actualizada sobre la incidencia de la mastitis a nivel nacional. De sus comentarios se desprende que no existen estudios actuales sobre la incidencia, y que el último estudio que se realizó se remonta al año 2002 [19]. Se resalta la necesidad de generar un plan de monitoreo de la enfermedad que permita un seguimiento más constante. Los estudios precedentes al realizado en 2002 datan de 1976 [10] y 1981 [31] con lo que se evidencia una clara brecha temporal entre cada muestreo. Creemos que la inclusión de tecnología que pueda detectar la mastitis mediante la medición de la electroconductividad de la leche y la recolección automática de esta información en un repositorio centralizado de datos, puede aportar la herramienta que está faltando en nuestro país para diseñar el plan mencionado.

Respecto a los aspectos productivos que se ven afectados por la mastitis, por ser esta tecnología capaz de detectar la enfermedad en su estadio subclínico, posibilita reducir el tiempo que la vaca está produciendo por debajo de su potencial y ayuda a prevenir el contagio al resto del rodeo. Además, disminuye el tiempo de recuperación del cuarto y minimiza el impacto en la calidad de la leche en el tanque de enfriamiento. Por último, bajan los costos asociados por tratamientos veterinarios.

Capítulo 2

Métodos de detección de mastitis

La actualización de los métodos de detección de mastitis en los tambos es una necesidad para permitir una mejora en el estado sanitario del rodeo uruguayo a largo plazo. Los métodos utilizados en la actualidad no permiten avanzar en este aspecto, por lo que se requiere la aplicación de tecnologías más modernas. Es con este fin que se investigan los principales métodos de detección de dicha enfermedad, en búsqueda de una solución que permita aplicar una metodología sencilla, económica y escalable.

Dado que la mastitis bovina representa un problema cotidiano en la producción lechera, es crucial la detección de la enfermedad en las etapas más tempranas posibles. Existen diversas técnicas para detectar la enfermedad que van desde simples exámenes visuales de los cuartos, hasta exámenes realizados en laboratorios especializados.

En el caso de los laboratorios, existen distintas técnicas como las que miden los anticuerpos y enzimas asociadas a las células o el recuento de células somáticas. Esta última es la técnica más utilizada para la detección de mastitis ya que posee alto grado de fidelidad y se basa en la estrecha relación entre el recuento de células somáticas por mililitro cuadrado y la presencia de la enfermedad.

El problema general de este tipo de técnicas es que requieren de equipamiento especializado para realizar el análisis, con los consecuentes costos económicos y temporales importantes. Además requieren de la intervención manual en cada vaca para extraer la muestra que debe ser enviada al laboratorio.

Las empresas procesadoras utilizan la técnica de recuento celular por su alto grado de confiabilidad y por esto cuentan con laboratorios para medir la

calidad de la leche recibida mediante el recuento celular de una muestra de la partida enviada a planta por cada productor. El resultado es compartido con el productor para que tenga conocimiento de su estado sanitario. Dichos informes no son diarios ni por vacuno, por lo que no son de utilidad para detectar la enfermedad.

También existen exámenes que pueden ser realizados por productores y personal idóneo. Por lo general, las técnicas más rudimentarias tienen buenos resultados para detectar los casos en estado clínico.

Una prueba muy común y económica es el CMT. Esta se realiza a cada vaca y es una prueba indirecta que según sus instrucciones debe realizarse mediante la extracción manual de una muestra de 2 ml de leche de cada cuarto, depositando cada una en su correspondiente compartimiento de una bandeja diseñada para este fin y observar ciertos cambios de coloración y consistencia al agregarles 2 ml de un reactivo químico. De la observación que se hizo en los distintos tambos visitados y del comentario de los veterinarios Andrés Brienza y Laureana de Brun consultados en entrevista personal, se constata que quienes aplican el método no cumplen con estas instrucciones, ya que, en la práctica general no miden las cantidades de leche y reactivo afectando así la precisión del método. Otro aspecto que también va en demérito de la precisión del CMT es la subjetividad, ya que cada persona percibe distinto estos cambios de coloración y consistencia.

2.1. Conductividad Eléctrica y la mastitis

Los cambios químicos en la leche son los primeros en producirse cuando se presenta la mastitis, por esto es de gran interés la detección de los mismos. Uno de los cambios es el aumento en los iones de sodio y cloruro, con el consiguiente incremento de la conductividad eléctrica [35].

La medición de la conductividad eléctrica de la leche como forma de detección de la mastitis viene siendo investigada desde el año 1942 [15] y se relaciona directamente con la lesión real de la ubre mientras que el recuento celular mide la reacción del sistema inmunológico de la vaca frente a la lesión. Sin embargo una de las limitaciones más importantes del uso de la electroconductividad es que para obtener resultados precisos es necesario el relevamiento diario de la conductividad de cada ubre de cada vaca para detectar anomalías en los cuartos enfermos. A continuación se presentan métodos manuales y automáticos existentes que utilizan a la EC como método de detección.

2.1.1. Método Manual

En Polonia se desarrolló un dispositivo portátil que viene en modelos para 1 o 4 cuartos (Ver Figura 2.1.1), siendo este último el de interés para el presente estudio ya que equivale en metodología a la técnica del CMT. La diferencia es que es capaz de detectar mastitis subclínica sin factores subjetivos lo que mejora la realización de la prueba aunque la misma sigue dependiendo de un usuario encargado de ejecutarla y recolectar la información. El producto se comercializa local y regionalmente. Se contactó al representante local (J. C. Constantino, comunicación personal 8 de abril 2016) quien manifestó que se han vendido varios dispositivos en Uruguay y una cantidad superior en Argentina. El costo del modelo de cuatro sensores es de U\$S 750 exento de IVA en plaza.

Figura 2.1.1: Detector de mastitis Draminski 4x4Q [14]



2.1.2. Método Automatizado

También existen soluciones más sofisticadas cuya principal ventaja es la automatización del análisis. Uno de los productos más destacados del mercado es el denominado AfiMilk [1] que se muestra en la Figura 2.1.2 que además de detectar la mastitis mide una variedad de indicadores de la leche. Este es un dispositivo que analiza en tiempo real la producción de cada va-

ca tomando lecturas del flujo combinado de los cuatro cuartos y muestra la información al operario.

Figura 2.1.2: Medidor de electroconductividad AfiMilk [1]



Estas dos soluciones expuestas a modo de ejemplo muestran distintas formas de hacer la detección por electroconductividad, existiendo otras que utilizan estas mismas metodologías. De los datos recabados para estos ejemplos se desprende que difieren mucho en el costo y en el grado de intervención humana.

Capítulo 3

Propuesta

Se propone realizar un sistema para la detección de mastitis basado en la conductividad eléctrica de la leche, el que debe recolectar los datos automáticamente para evitar la intervención humana. Los datos deben ser almacenados en un repositorio central para permitir su posterior análisis de forma facilitar la toma de decisiones. A continuación se presentan las principales características del sistema propuesto y la implementación de un prototipo.

3.1. Descripción de la realidad

El sistema está enfocado en las personas vinculadas a la producción lechera, que pueden ser productores, veterinarios, administradores, por citar algunos ejemplos. El objetivo final es poder conocer la información en tiempo real acerca del estado de cada vaca de un establecimiento.

Por el tipo de usuario que va a utilizar la plataforma, en general personas poco familiarizadas con la informática y dispositivos altamente tecnológicos, el diseño de la interfaz de usuario debe ser sencillo y altamente amigable para evitar el rechazo a su utilización.

Según lo relevado con propietarios y veterinarios, el usuario puede tener más de un establecimiento y a estos separarlos en grupos, por ejemplo, tener los establecimientos agrupados por la zona geográfica donde se encuentran. Esta jerarquía debe ser manejada por el sistema para permitirle al usuario mantener la estructura organizacional que maneja en la actualidad.

Existen condicionantes para el desarrollo del sistema vinculadas con las condiciones físicas dentro de un tambo. El ganado defeca y orina durante el ordeño y se trabaja con agua para la limpieza de los equipos e instalaciones lo que implica que todo el equipamiento se moje y ensucie continuamente. También es golpeado tanto por el personal como por el ganado, por lo que

debe ser resistente a esta clase de esfuerzos. Este conjunto de condiciones son altamente agresivas para los equipamientos electrónicos, por lo que el hardware debe ser capaz de soportar estas adversidades. Deben aislarse los componentes electrónicos en compartimentos estanco para evitar la humedad y estos deben ser de materiales resistentes a los golpes.

Para la medición de la electroconductividad se utilizan sondas que deben estar sumergidas en la leche. Por ser componentes físicos, tienen pequeñas diferencias al momento de la construcción lo que hace necesario un proceso de calibrado para asegurar que el valor que entregan corresponda a la realidad. Esto se logra mediante la medición de una solución de valor conocido y la posterior corrección del valor obtenido.

Finalmente, el costo del sistema es un factor importante. Debe cumplir con el requerimiento de mantener un bajo el costo para evitar esta barrera a la adopción del mismo. Muchos productores no implementan soluciones tecnológicas por el elevado costo que suele estar asociado a estas. Un ejemplo es que existe en el mercado local la solución de Aflab [1] para detectar la mastitis que en conversaciones con el representante local del producto, si bien no reveló el costo del mismo, mencionó que tiene un costo que podía llegar a ser un impedimento para un tambo que no tuviese ciertas condiciones para afrontar la inversión.

3.1.1. Sistemas informáticos aplicados a la lechería

Existen numerosos sistemas que permiten la gestión en el sector lechero. Particularmente el Instituto Nacional de Mejoramiento Lechero [24], recomienda el uso de los sistemas Syscordwin [28], Macoel [34] y DHMS [11], que tienen origen tanto nacional como internacional. Los mismos abarcan gran parte de las necesidades del sector, pero muchos usuarios no los utilizan debido a su complejidad y a la fuerte necesidad de dedicación de los usuarios para mantener actualizados los datos del sistema.

El hecho de que no haya un sistema único designado por las instituciones del rubro genera inconvenientes para poder unificar la información existente. Existe un esfuerzo impulsado por la organización civil Mejoramiento Lechero de unificar estos datos en una única base de datos. Por este motivo, se propone diseñar un software que elimine los obstáculos de las soluciones existentes.

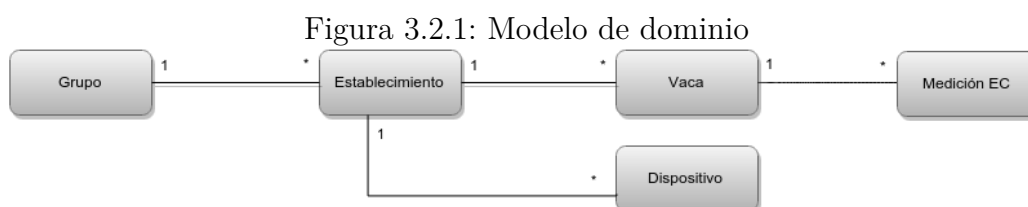
3.2. Solución Propuesta

Se propone un sistema integral que sea capaz de recolectar la información necesaria para la detección de la enfermedad en tiempo real y automática,

procesarla y ponerla a disposición del productor o usuario final en forma clara facilitando la toma de decisiones. El sistema incluye un software central de gestión y la instalación de dispositivos para realizar el muestreo de la leche, los que están asociados únicamente a un establecimiento de forma de tener una relación biunívoca sensor-establecimiento. Esto le permite al software central discernir a que establecimiento pertenecen los datos que está enviándole el dispositivo.

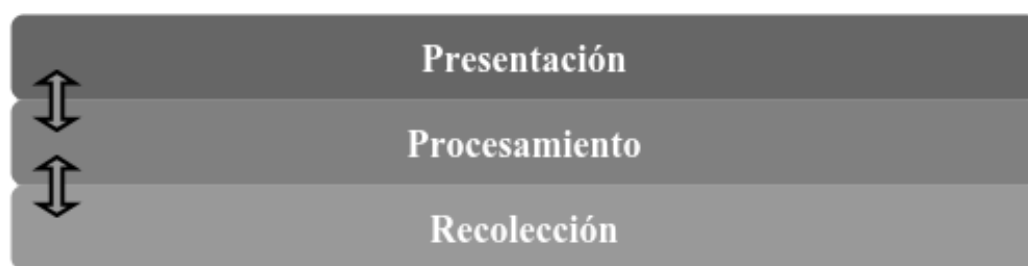
El sistema debe emitir alertas que los usuarios pueden recibir de forma de no requerir un continuo monitoreo para estar al tanto de los eventos.

De la descripción de la realidad y de la propuesta se desprende el siguiente modelo de dominio (Ver Figura 3.2.1):



La arquitectura del sistema propuesto se compone de tres capas para las cuales se deben desarrollar los componentes que cumplan las tareas inherentes a cada una de ellas. Estas capas son: recolección de datos, procesamiento de la información y presentación de la información.

Figura 3.2.2: Arquitectura en capas



A continuación se describirán cada una de las capas mencionadas.

3.2.1. Recolección

Por más que parte del rodeo no esté en condiciones de comercializar su leche, ya sea por enfermedad, presencia de antibióticos u otros factores, si están produciendo leche igual debe ser ordeñado. De esto se desprende que

el mejor momento para recabar datos de todas de las vacas en producción es en momento del ordeño, ya que todas van a pasar por la sala de ordeño.

Para la extracción de leche en el momento del ordeño a cada vaca se le coloca en la ubre un dispositivo denominado órgano. Se requiere instalar un microcontrolador con un sensor de electroconductividad en cada órgano, que haga las lecturas y las envíe a la capa de procesamiento.

También es necesario relacionar la recolección de datos con una vaca, por lo que resulta crucial poder identificar los animales. En Uruguay se estableció la Ley 179.997 donde se dispone que todos los animales deben ser identificados de forma única. Esta identificación se realiza mediante un microchip según las normas ISO 11784 [26] y 11785 [25], permitiendo la identificación inequívoca de cada animal. Por esto, cada órgano deberá disponer de un lector de trazabilidad interconectado con el dispositivo de recolección con el fin de identificar la vaca a la cual se está ordeñando.

3.2.2. Procesamiento

Como se mencionó en la sección 3.2.1 los microcontroladores envían a la capa de procesamiento la información recabada en cada lectura. Para esto, la capa expone una interfaz de servicios publicados por HTTP para que los microcontroladores puedan hacer el envío de los datos.

Los datos recolectados pueden contener errores y por si solos no permiten emitir un juicio sobre el estado de la vaca. Por ello es necesario catalogarlos para eliminar los que se consideren erróneos y consolidar el resto para que de este valor final se pueda emitir el juicio. Este procesamiento se realiza en un módulo independiente cuya función es exclusivamente esta tarea. Para ejecutar este módulo se elige un microcomputador de arquitectura ARM [4], ya que poseen suficiente capacidad de cómputo a un muy bajo consumo de energía, evitando así el procesamiento de datos en los microcontroladores que tienen escasa capacidad de cómputo.

3.2.3. Presentación

Los usuarios objetivo del sistema son mayoritariamente personas sin formación informática que pueden tener o no conocimientos previos en el área, por lo que una presentación sencilla y minimalista es crucial para el aprovechamiento de la información y el uso del sistema.

Como se mencionó anteriormente, existen numerosos sistemas cuyo foco es la lechería, los cuales son muy completos y tienen una gran cobertura de las necesidades del sector, pero la principal barrera para su adopción es la complejidad.

Se elige que la presentación se implemente como una aplicación web de forma de hacerla agnóstica a la plataforma que posea el usuario, ya sea esta un PC, una tablet, un smartphone o cualquier otro dispositivo con capacidad de navegación web. Esto posibilita el acceso a la misma desde cualquier equipo sin necesidad de instalaciones previas ni recursos específicos. Además, se hace que sea responsive, que es la posibilidad de adaptar la presentación al tamaño de pantalla del dispositivo utilizado para cargar la página, de forma que la experiencia no se vea degradada por el cambio de dispositivo.

Capítulo 4

Implementación del prototipo

El prototipo implementado parte de las pautas descritas en el capítulo 3, pero en lugar de construir un dispositivo fijado al órgano de ordeño para la capa de recolección y otro cuya función sea el procesamiento, se optó por construir un dispositivo portátil que encapsule las capas de recolección y procesamiento. Esta decisión se tomó para poder asegurar que la muestra que se enviara al laboratorio era exactamente la misma que se había analizado con el prototipo y para permitir más libertad a la hora de recolectar datos para validar el concepto. Dado que se debían tomar mediciones en distintos tambos, un dispositivo estático como el propuesto originalmente requeriría de instalar y desinstalar el dispositivo en cada establecimiento. Si bien esto permite la recolección automática de los datos sin necesidad de intervención humana alguna, para esta etapa de validación no permite la flexibilidad requerida. A continuación se presenta un prototipo que es el resultado de la evolución de variados prototipos implementados con distintas tecnologías y hardware.

4.1. Arquitectura

La arquitectura se diseñó en base a dos componentes (Ver Figura 4.1.1) que encapsulan las capas presentadas en la sección 3.2 del capítulo anterior.

Figura 4.1.1: Arquitectura



Estos componentes son la Plataforma Web que contiene la capa de presentación y el dispositivo portátil que se encarga de la recolección y procesamiento primario de la información. El transporte de la información se realiza por TCP mediante una red WiFi conectada a Internet. Esto brinda la flexibilidad de poder utilizar el equipo en cualquier parte sin un costo extra, ya que puede ser una conexión compartida desde un celular o la red doméstica del tambo.

En cuanto a consideraciones de seguridad, se divide la solución en dos escenarios; el primero es la red interna al tambo donde solo se permite la conexión de dispositivos con dirección MAC [23] conocida como mecanismo de prevención de conexiones no autorizadas. En este ámbito se utilizan únicamente web services del tipo REST [43] con el cifrado de HTTPS [22] ya que se entiende que la posibilidad de ataques es pequeña. El segundo es la comunicación entre los dispositivos del tambo y el sistema web. En este caso, por la gran exposición de los servicios se opta por utilizar web services con el protocolo SOAP dadas las opciones de seguridad nativas al mismo.

4.2. Diseño del hardware

Para la elección del hardware requerido se recorrió un camino de investigación de las distintas opciones disponibles, considerando el precio y las prestaciones en cuanto a buses y terminales que cada producto. Se requería poder conectar un display y botones para la interacción con el usuario, un lector de RFID para identificar la vaca que está siendo analizada, un sensor de electroconductividad y una tarjeta de red WIFI. Inicialmente se seleccionó el microcontrolador Arduino Nano [2] para cumplir el rol de unidad de procesamiento. La elección se basó en que no se requiere gran capacidad de procesamiento en el puesto de ordeño y el Arduino Nano cuenta con buses I2C, SPI y terminales GPIO a un costo inferior a los cinco dólares americanos. En particular se utilizó el modelo Nano ya que se pretendía minimizar los requerimientos de espacio y a diferencia del modelo Pro-mini, contaba con un puerto USB para la comunicación.

Se le conectó un display LCD de dieciséis caracteres por dos líneas. El menor costo para el display se consiguió con un display con conexiones para los segmentos, el backlight, contraste, enable y datos. El problema es que requiere demasiados terminales del arduino por lo que no permite la conexión de otros dispositivos. Por esto se terminó agregando un IO extender con interface I2C dado que el bus I2C permite conectar múltiples periféricos en modo slave mediante el uso de una dirección única para cada dispositivo. Para el lector RFID se intentó utilizar el bus I2C para evitar usar más buses,

pero si bien el microchip cuenta con soporte para este bus, el fabricante no conecta los terminales por lo que finalmente se conectó por SPI. Este lector no implementa las normas ISO 11784/11785, sino que implementa el formato MIFARE [36], pero a fines de emular la lectura de una caravana no representa un problema. Para el sensor de EC se buscó uno que tuviese alta precisión de forma de eliminar los errores relacionados con el valor obtenido en la lectura. Así se eligió un sensor de Atlas Scientific [3] con $k = 0,1$ para minimizar el error de precisión. Este sensor no mantuvo el objetivo del bajo costo, ya que al ser un equipo de alta precisión su costo rondó los U\$S 250.

A medida que se avanzó con el código de control de los periféricos, las librerías requeridas más el código relativo a los casos de uso llenaron la capacidad de memoria del microcontrolador.

Fue necesario entonces recurrir a hardware que contara con las mismas posibilidades de buses pero que no tuviese la limitante de memoria y que permitiera seguir con la premisa de mantener el costo lo más bajo posible. En este punto se eligió el microcomputador NanoPI 2 que cuenta con red WiFi incorporada y los mismos buses que el Arduino pero sin las limitaciones de espacio para el código. Lamentablemente no se logró hacer funcionar la librería para interactuar con los terminales por falta de documentación y se debió descartar la placa.

Por último, buscando una solución que tuviese suficiente documentación y casos de éxito, se eligió el microcomputador Raspberry PI B, ya que contaba con todos los buses requeridos y amplio soporte de la comunidad.

La integración de cada periférico a excepción del módulo de medición de electroconductividad, requirió de un esfuerzo para encontrar las librerías adecuadas para el hardware ya que este se compró en China y no contaba con soporte. Las librerías que se utilizaron son open source.

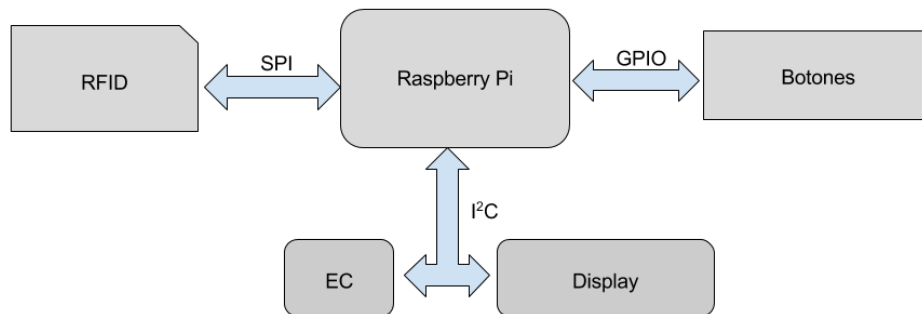
Para poder alimentar el dispositivo se lo dotó de una batería de litio para alimentarlo de forma que sea autónomo.

No se presentaron desafíos en cuanto a las señales eléctricas, ya que el cableado requerido es corto y las velocidades de los distintos buses no imponen restricciones de diseño. El bus más veloz es el SPI que requirió que los cables se soldaran en la placa para evitar capacidades parásitas que deformaran el tren de pulsos.

Una vez finalizado el dispositivo, su costo total se mantuvo por debajo de los U\$S 400, lo que lo hace competitivo con la solución más económica en plaza que además no cuenta con todas las prestaciones de este dispositivo y tomando en consideración que el sensor de EC elegido fue costoso.

En la Figura 4.2.1 se muestra el diagrama de interconexión de los dispositivos y el bus correspondiente.

Figura 4.2.1: Buses de comunicación



4.3. El software

El software del dispositivo es el responsable de comandar los distintos componentes de hardware recolectando y procesando información. Por un lado se encarga de presentar una interfaz de interacción para el usuario mediante el uso del display LCD y los botones, y por otro debe obtener los datos necesarios para poder determinar el estado sanitario de las muestras para luego enviar esta información a la capa de presentación. Se implementó utilizando el lenguaje Python para mantener un uso bajo de recursos de hardware y a la vez mantener la simplicidad y facilidad de programación. La base de datos utilizada es SQLite [45] por el mismo motivo y por no requerirse mantener un volumen de datos grande que requiera un RDBMS de mayor porte.

4.3.1. Interacción con el usuario

La interacción con el usuario se realiza mediante el despliegue en el display de un menú navegable a través de los botones del equipo, que cuenta con las funcionalidades básicas como ser configuración, lectura completa, lectura rápida y envío de datos. La lectura completa hace un ciclo de recolección de datos primero obteniendo la identificación del animal por RFID y luego tomando de a uno la lectura de electroconductividad de los cuatro cuartos. Esta lectura completa es la que finalmente se envía a la plataforma web mediante los web services expuestos en Internet. Si al momento de terminar una lectura completa no se puede establecer la comunicación con la Plataforma Web, esta se persiste en la base de datos. Para enviar estas lecturas se cuenta con la opción de menú que envía todas las lecturas persistidas. La lectura rápida solo realiza una medición de electroconductividad y la despliega en el display, no interacciona con la plataforma.

4.3.2. Procesamiento de muestras

Debido a que el sensor de electroconductividad es un componente electrónico, es propenso a tener errores a la hora de realizar una lectura, por lo que no alcanza con tomar una sola medición ya que la misma puede que no sea representativa. Para esto se realizan varias lecturas de una misma muestra y de esta manera se busca reducir los posibles errores de sensado. A partir de este conjunto de lecturas se debe obtener un único valor que lo represente, donde se deben descartar las lecturas que posiblemente sean erróneas. Estas lecturas erróneas son conocidas como valores atípicos o outliers en inglés. La media de un conjunto de valores donde no existan valores atípicos puede ser considerada como un valor representativo del mismo. Parte del procesamiento consiste en eliminar los valores atípicos y retornar la media del subconjunto resultante. Para esto se definió un procedimiento que se detalla a continuación, donde se calculan los siguientes indicadores:

- Media
- Desviación Estándar
- Coeficiente de variación(CV)= $\frac{DesviaciónEstándar}{Media}$

Para determinar si existe un valor atípico en el conjunto de lecturas, se calcula el coeficiente de variación que cuantifica la dispersión de los puntos del

conjunto. Un valor por encima del punto de corte elegido implica que la colección de datos contiene un valor atípico. En análisis de laboratorio comúnmente se considera que la media es un valor confiable y representativo de un muestreo cuando el CV es menor a 15%. Para la implementación del prototipo, tras consultas en Facultad de Veterinaria sobre el valor de CV utilizado, se informó que se estila utilizar el 10%. Se consideró como aceptable dicha cota por lo que mientras el muestreo tenga un CV mayor a 10% se asume que contiene valores atípicos que deben ser descartados. El valor a ser descartado es el que se encuentre por fuera del intervalo: [media - desviación estándar ; media + desviación estándar]. Debido a que se descartan valores de forma recursiva buscando minimizar el CV, existe la posibilidad de que la cantidad de valores obtenidos sea insuficiente para determinar la presencia o no de outliers. Como primer cota inferior para esta cantidad podrían tomarse tres lecturas, ya que, con una o dos no podría detectarse un outlier por lo que esa muestra debe descartarse. También es posible que con tres valores el resultado no sea representativo para la muestra de leche. Una forma para mejorar la precisión sería realizar un estudio exhaustivo e identificar un valor preciso para la cantidad mínima requerida. Para dicho estudio se requiere hacer ensayos del dispositivo, ya que depende directamente del sensor. Lamentablemente la cantidad de muestras obtenidas en el proyecto no permitió llegar a conjeturas, por lo que se estableció una cota de 5 lecturas de forma de mejorar la cota mínima descrita anteriormente. En el algoritmo 4.1 se describe mediante pseudocódigo el algoritmo implementado para descartar dichos valores:

Algoritmo 4.1 Algoritmo para descartar outliers

```

consolidarlecturas(lecturas):
    si (cantidad(lecturas)<minimo_lecturas_validas)
        retornar -1
    sino
        calculo_la_media(lecturas)
        calculo_la_desviacion_estandar(lecturas)
        coef_variacion = dev. estandar/media

        si (coef_variacion < 10%)
            retornar media
        sino //existen al menos un valor atipico

            minimo_permitido = media - desv estandar
            maximo_permitido = media + desv estandar

            lecturas_n = quitar_fuera_rango(lecturas ,
                minimo_permitido , maximo_permitido);
            retornar consolidarlecturas(lecturas_n);
        fin si
    fin si
finconsolidarlecturas

```

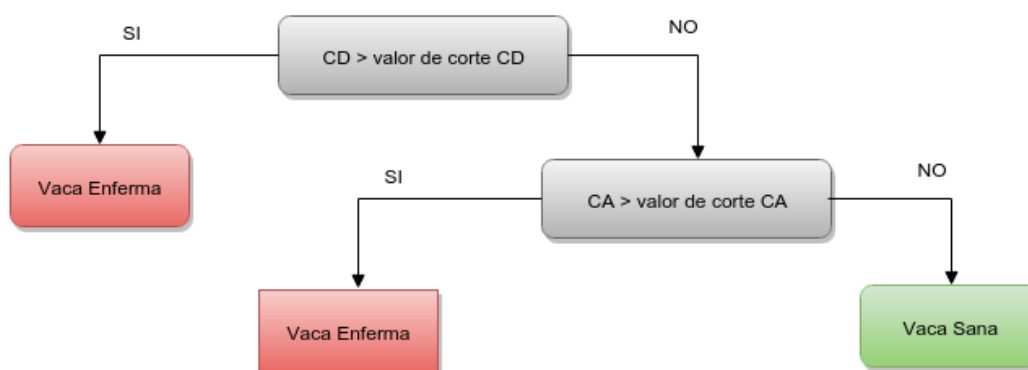
4.3.3. Evaluación de los resultados

Una vez obtenidas las mediciones y calculado un único valor representativo para cada cuarto, resta determinar el estado sanitario de las muestras. Para esto se toman en cuenta dos indicadores, la electroconductividad absoluta de cada cuarto (CA) que es evaluar el valor de la electroconductividad de cada cuarto en forma independiente y la electroconductividad diferencial (CD) que es el cociente de dividir la electroconductividad de cada cuarto entre el menor valor de electroconductividad de los cuatro cuartos. La primera presenta una sensibilidad mayor que su especificidad y la segunda, una mayor especificidad que su sensibilidad.

En el año 2009 [15] se realizó un estudio donde se evaluó la efectividad de la detección de la mastitis comparando dichos indicadores. Del estudio se concluye que la conductividad diferencial permite eliminar los factores de error introducidos por las condiciones particulares de cada individuo y los factores externos, como ser el estrés térmico que afectan el valor basal de las mediciones. Esto permite mejorar considerablemente la especificidad de la detección para detectar casos de mastitis subclínica en comparación con la especificidad lograda utilizando la CA.

La evaluación de resultados consiste en aplicar una composición de las metodologías para permitir maximizar tanto la sensibilidad como la especificidad de la detección. Para esto se comienza por medir la conductividad eléctrica diferencial, obteniéndose así una alta especificidad en los resultados. En los casos que la CD clasifica como negativos, se aplica la CA con un punto de corte alto para minimizar los falsos positivos con lo que se consigue aumentar la sensibilidad de la CD. Esta metodología se denominó electroconductividad compuesta. (Ver Figura 4.3.1).

Figura 4.3.1: Árbol de decisión



Los valores de corte utilizados y la manera en que estos fueron establecidos se detallan en la sección 5.4.3.

4.3.4. Comunicación

Una vez consolidadas las lecturas en el dispositivo, quedan disponibles para ser enviadas a la Plataforma Web. El módulo de comunicaciones se encarga de realizar esta tarea mediante la comunicación con el Web Service expuesto por la Plataforma Web. La información enviada consiste en un paquete de datos que contiene: el identificador del dispositivo (dirección MAC del dispositivo), fecha de la medición, identificador de la vaca y el resultado obtenido para cada cuarto.

4.4. Plataforma Web

La capa de presentación se implementó como una plataforma web desarrollada en Java mediante la utilización de la tecnología JSF [30] y el framework Primefaces [41]. Para la persistencia de la información se utilizó JPA [29] con una base de datos postgresql [40]. La elección de estas tecnologías responde a las siguientes consideraciones:

Se seleccionó JAVA [27] como lenguaje de programación de la plataforma web por su amplia adopción en este tipo de desarrollos así como su vasta bibliografía. Es un lenguaje de tercera generación con un conjunto de herramientas muy amplio para aplicaciones web. Entre estas se cuenta el framework JSF que implementa el patrón modelo-vista-controlador que simplifica fuertemente el desarrollo de la interfaz de usuario.

La elección de PrimeFaces se hizo tras una evaluación de las opciones más utilizadas en el medio, ya que proporcionaba una solución muy sencilla de implementar con una curva de aprendizaje relativamente pequeña.

La elección de JPA se debe a ser esta la herramienta para manejo de la persistencia que posee JAVA.

Figura 4.4.1: Captura de pantalla de la Plataforma web



La principal tarea de la presentación es permitir la gestión y consulta de la información recolectada y procesada por las capas inferiores. Permite al usuario administrar grupos de establecimientos, establecimientos, y vacas siguiendo el modelo de dominio presentado en la sección 3.1. La plataforma expone un Web Service, cuya función es la de comunicación entre la capa

de procesamiento y presentación, donde la plataforma recibe las lecturas consolidadas.

A continuación se describen las distintas funcionalidades de la plataforma.

4.4.1. Configuración

Permite configurar el sistema y definir parámetros generales. El prototipo utiliza dos parámetros generales, los cuales permiten configurar los rangos donde se establece los valores mínimos de electroconductividad absoluta y diferencial para determinar la presencia de mastitis. Estos parámetros son `corte_diferencial` y `corte_absoluta`.

4.4.2. Configuración de grupos de establecimientos

Dentro del menú de configuración, se encuentra la funcionalidad de administración de grupos, donde se permite el alta, baja y modificación de grupos de establecimientos. Esto permite manejar la jerarquía en el manejo de los establecimientos mencionada anteriormente.

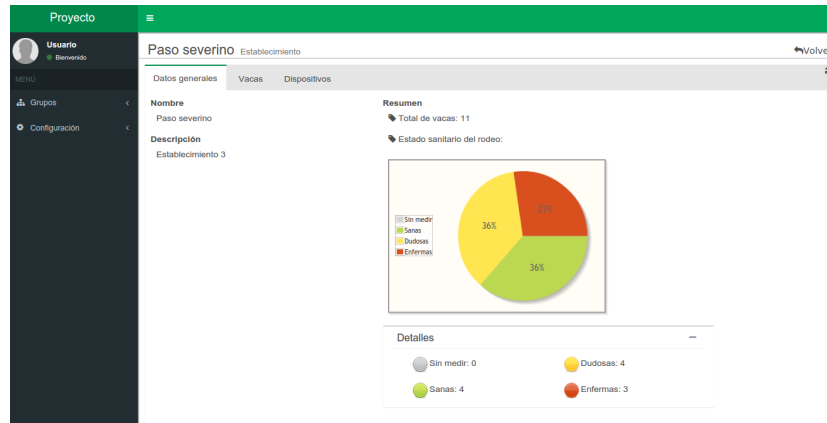
4.4.3. Grupos de establecimientos

En la pantalla se muestra la información principal de un grupo, y se pueden dar de alta/baja los establecimientos.

4.4.4. Establecimientos

En la Figura 4.4.2 se muestra una de las principales pantallas de la plataforma. Cuenta con una serie de pestañas donde la de Datos Generales despliega los atributos del establecimiento tales como nombre, localidad y descripción. Además se muestra un gráfico donde resume el estado actual del rodeo tomando como base a la última medición de cada vaca. También cuenta con una pestaña denominada Vacas donde se permite el alta, baja y visualización de las vacas de un establecimiento y muestra el estado de cada vaca basándose en la última medición. Por último, dentro de la pestaña dispositivos es donde se deben configurar los dispositivos encargados de comunicarle las lecturas consolidadas asociados a cada establecimiento. A cada dispositivo se les asigna una descripción y se utiliza su dirección MAC como identificador. Elegimos la dirección MAC como identificador para permitir sólo la comunicación a los dispositivos registrados. Si bien somos conscientes de que puede ser falsificada, presenta un nivel básico de seguridad aceptable para esta etapa.

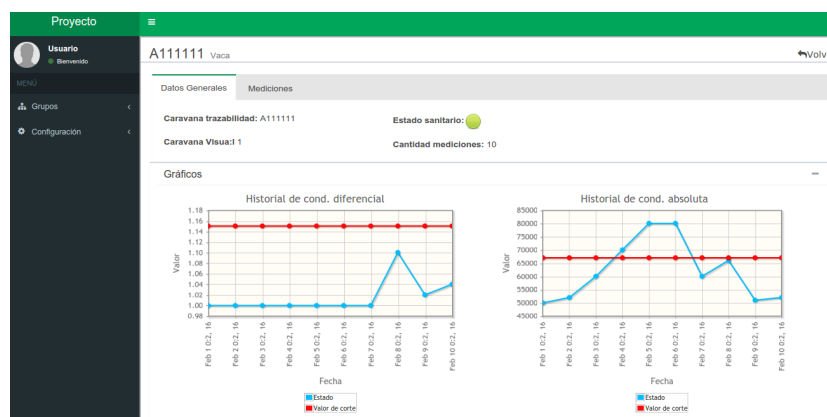
Figura 4.4.2: Captura de pantalla de sección: establecimiento



4.4.5. Vacas

A través de la Figura 4.4.3 se pueden ver los atributos de la vaca y la caravana de trazabilidad que corresponde con el número identificador del chip proporcionado por el [44]. Es común que los establecimientos utilicen su propia numeración de las vacas con fines administrativos, por lo que cada vaca posee un atributo de caravana visual. También se muestra el estado de la vaca y dos gráficos que muestran la evolución en el tiempo de la conductividad diferencial y la conductividad absoluta.

Figura 4.4.3: Captura de pantalla de sección: Vacas



Capítulo 5

Experimentos

En este estudio se busca validar la efectividad de la solución planteada mediante la confrontación de mediciones hechas con el prototipo de la leche de vacas escogidas al azar y el resultado obtenido de el envío de las mismas muestras a laboratorio para conocer el recuento celular.

5.1. Objetivos

Se debe validar que la solución propuesta es capaz de detectar la presencia de mastitis en el ganado con un grado de fiabilidad igualar o superar a la del CMT en las condiciones descritas en su instructivo de uso. Se necesita encontrar metodologías que permitan asegurar que los resultados obtenidos son generalizables y óptimos así como detectar los principales factores que introducen errores para poder mitigarlos.

5.2. Herramientas utilizadas

Se implementó y utilizó el prototipo que fue descrito en el capítulo anterior. Para validar los resultados de la electroconductividad y su relación con la enfermedad se utilizaron dos técnicas tradicionales para su detección como grupo de control: CMT y Recuento Celular. Este último se realizó en el laboratorio COLAVECO en el departamento de Colonia, Uruguay [9]. Cabe destacar que los resultados más confiables son los obtenidos del laboratorio, pero estos análisis representan un costo considerable y una logística que no permitió masificarlos, por lo que se vio limitada la cantidad de pruebas realizadas. Se recurrió al uso del CMT para tener una segunda referencia y para aumentar la cantidad de muestras comparativas.

Para referencia del lector, los términos sensibilidad y especificidad en el contexto de pruebas de verificación de un estimador se definen como:

Definición 1. *Sensibilidad:* La sensibilidad de un método de detección de una enfermedad, es la probabilidad de este clasifique en forma correcta a un individuo enfermo [17].

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{VP+FN} \quad [17]$$

Definición 2. *Especificidad:* La especificidad de un método de detección de una enfermedad, es la probabilidad de este clasifique en forma correcta a un individuo sano [17].

$$\text{Especificidad} = \frac{VN}{VN+FP} \quad [17]$$

Donde:

- VN = verdadero negativo
- VP = verdadero positivo
- FN = falso negativo
- FP = falso positivo

Esto es en referencia al resultado experimental respecto al correspondiente en el grupo de control, siendo un verdadero positivo y negativo cuando el resultado experimental coincide con el de control, falso negativo cuando el experimental es negativo siendo el control positivo y falso positivo en el caso inverso.

En el año 2003 se realizó un estudio [13] para evaluar la efectividad del CMT, en dicho estudio se indica que la sensibilidad y especificidad del test son 68.8 % y 71.5 % respectivamente, con lo que se puede inferir que el margen de error del método es del orden de un 30 % lo que aplica para la utilización del producto según las indicaciones del mismo.

El método propuesto en este trabajo pretende mejorar la sensibilidad que presenta el CMT para que la detección por electroconductividad sea más precisa, por lo que se debería obtener una sensibilidad no menor al 80 %.

Se pretende también mejorar la especificidad para evitar falsos positivos que desalienten el uso del sensor. Por este motivo, se establece que la especificidad tampoco puede ser menor al 80 %. Según la información sobre estudios estadísticos, el nivel de confianza se estila fijar en un 95 %. Por estos motivos, se fija un nivel de confianza del 95 % y un margen de error (intervalo de

confianza) en la detección de la mastitis del 10 %.

Se busca con esta información poder definir el tamaño de la muestra representativa necesaria, que permita afirmar que el prototipo puede obtener resultados con la precisión deseada. Según el anuario 2015 de la DiEA [12], en Uruguay en el año 2014 existían 772 mil cabezas de ganado vacuno destinados a la producción lechera.

La ecuación 5.2.1 muestra la fórmula para el cálculo del tamaño de muestra [47] :

$$n = \frac{Z^2 N p q}{e^2 (N - 1) + Z^2 p q} \quad (5.2.1)$$

donde:

- n = tamaño de la muestra.
- N = tamaño el universo de individuos.
- $Z\alpha$ = es la probabilidad acumulada en de la distribución normal $N(0,1)$, que se obtiene con la función inversa de la normal en el valor de confianza elegido. Para 95 % es 1,65.
- e = margen de error, que se elige del 10 %.
- p = porcentaje de individuos infectados, se elige 0,52. [19]
- q = porcentaje de individuos sanos, se elige 0,48 por ser el complemento de p .

$$n = \frac{1,65^2 * 772000 * 0,52 * 0,48}{0,1^2(772000 - 1) + 1,65^2 * 0,52 * 0,48} = 67,9477 \simeq 68 \quad (5.2.2)$$

El tamaño de la muestra representativa como se observa en la ecuación 5.2.2 es de 68 vacas elegidas al azar en todo el territorio uruguayo. Lamentablemente, los costos y tiempos requeridos para un estudio de esta dimensión escapan a las posibilidades del presente proyecto. Se logra tomar muestras de un total de 25 vacas de 3 establecimientos, por lo que los datos obtenidos no son suficientes para ser concluyentes. De todas formas, permiten identificar un comportamiento alineado con los objetivos y validar el método de medida y la usabilidad del prototipo.

5.3. Protocolo de recolección y análisis

Tanto la recolección como el análisis de muestras se realizaron en los propios establecimientos, donde antes de realizar el ordeño habitual se extrajeron las muestras ordeñando de forma manual cada cuarto de las vacas, las cuales fueron seleccionadas al azar.

Estas muestras se depositaron en frascos estériles identificados (Ver Figura 5.3.1) de forma de poder determinar cada cuarto de cada vaca. Para esto se utilizó la siguiente nomenclatura, tomando como punto de vista una persona de pie mirando de frente a la cabeza de la vaca:

- AI: Anterior Izquierdo
- AD: Anterior Derecho
- PI: Posterior Izquierdo
- PD: Posterior Derecho

También se registran las fechas de la última parición, si la vaca estaba bajo tratamiento con antibióticos y el resultado del CMT entre otros con el fin de poseer información relevante que pudiese tener relación el recuento celular. Debido a que estos datos debían ser proporcionados por el personal de los establecimientos no fue posible establecer relaciones, ya que no siempre se contaba con la información necesaria para todas las vacas estudiadas. Una vez extraídas las muestras, se midieron utilizando el prototipo manual (Ver Figura 5.3.2), se les realizó la prueba de CMT y se enviaron las muestras al laboratorio (Ver Figura 5.3.3). Cabe destacar que en primera instancia se analizaron cuarenta muestras (10 vacas) de prueba con el fin de calibrar y testear el dispositivo. Luego se analizaron cien muestras más (25 vacas) con el fin evaluar los resultados.

Figura 5.3.1: Frascos estériles con muestras de leche



Figura 5.3.2: Dispositivo portátil realizando análisis



Figura 5.3.3: Frascos para enviar a laboratorio.



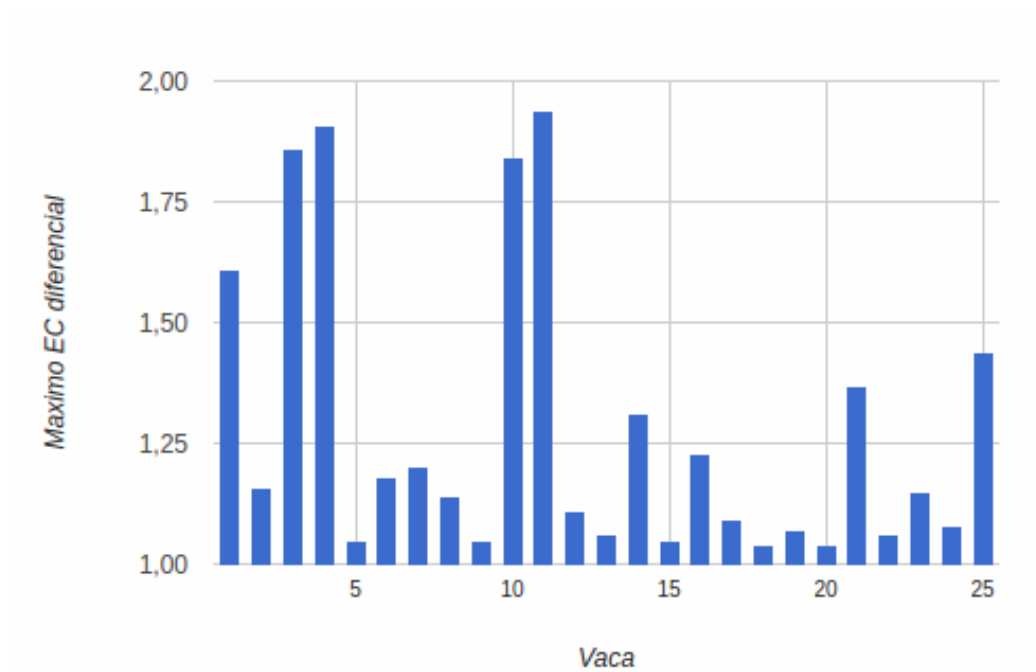
5.4. Resultados

En la siguiente sección se describe el análisis de los resultados obtenidos utilizando el prototipo y la comparación de estos con la información brindada por el laboratorio.

5.4.1. Resultados del prototipo

Las muestras de leche fueron analizadas utilizando el prototipo desarrollado. En la Figura 5.4.1 se muestra un gráfico donde se representan los valores de EC diferencial para cada vaca. Estos valores son los resultantes del procesamiento de los datos recolectados utilizando el mismo procedimiento que aplica el prototipo a las muestras, donde cada valor representa la conductividad eléctrica diferencial de cada cuarto. Por más información sobre los valores de electroconductividad diferencial para cada vaca, ver Anexo B.

Figura 5.4.1: Valor máximo del EC diferencial por vaca



Valores máximos de EC diferencial que presentó cada una de las vacas muestreadas.

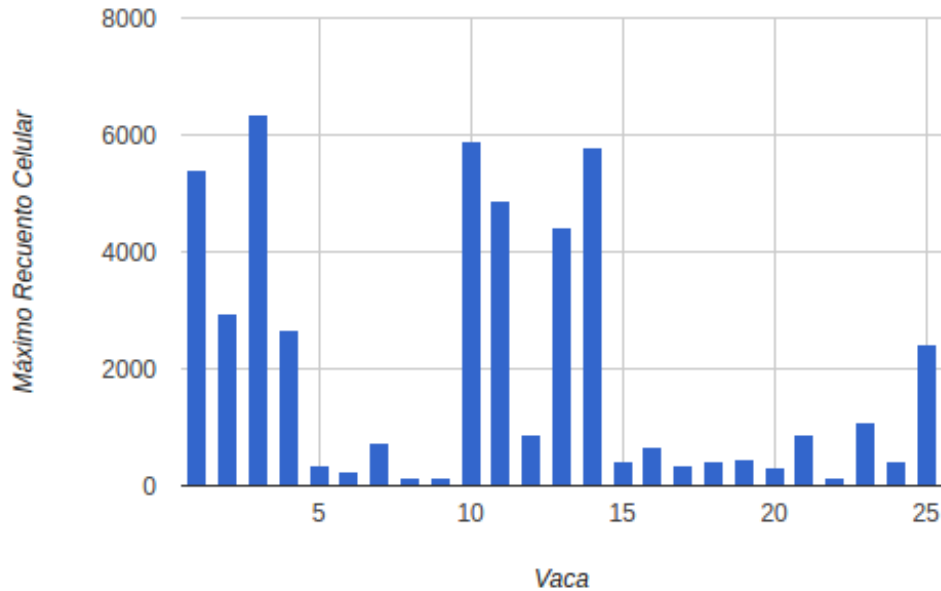
5.4.2. Resultados del laboratorio

Las muestras analizadas por el prototipo se enviaron al laboratorio para realizar un recuento celular. El resultado de este análisis se muestra en la Figura 5.4.2.

Para determinar si la muestra pertenece a una vaca enferma, el laboratorio toma como referencia los siguientes indicadores [6]:

- Recuento celular menor a 150: probablemente libre de infección.
- Recuento celular entre 150-400: posiblemente infectadas.
- Recuento celular mayor a 400: probablemente infectadas.

Figura 5.4.2: Valor máximo del recuento celular por vaca



Valores de recuento celular según resultado de COLAVECO que presentó cada una de las vacas muestreadas.

5.4.3. Análisis de resultados

Para determinar la efectividad en los experimentos realizados, se compararon los resultados del prototipo implementado con los del laboratorio. Estos últimos se tomaron como Gold Standard.

Es necesario establecer un valor de corte para la conductividad diferencial que permita discernir cuando una vaca debe ser considerada enferma y cuando no. Para establecer este valor de corte, se procedió a utilizar la metodología de análisis de la curva ROC (Receiver Operating Characteristic)[18] evaluando los resultados del prototipo en comparación con los del laboratorio. Esta técnica compara la razón de verdaderos positivos (VPR) que es igual a la sensibilidad contra la razón de falsos positivos (FPR) que es igual a 1-especificidad mientras se hace variar el umbral de decisión o punto de corte. Se gráfica en el eje de las ordenadas la VPR y en las abscisas la FPR y se elige el valor que represente mayor VPR con menor FPR, lo que corresponde a valores que tiendan al ideal (0,1) que es la relación es perfecta por lograr sensibilidad y especificidad del 100%. De esta forma, se posibilita elegir modelos óptimos y descartar los subóptimos. Para los mismos datos, se establecieron valores de clasificación positiva a la mastitis con umbrales

de electroconductividad diferencial en el rango de 1.05 a 2.0. Para cada valor de corte se compararon los datos normalizados para cada vaca y se clasificó con un 1 si el valor para la vaca está por encima del valor de corte y 0 en caso contrario. En el cuadro 5.1, se muestran los distintos resultados para cada valor de corte.

Cuadro 5.1: Test ROC, clasificación para distintos valores de corte EC diferencial

Vaca	Normalizado																				
		1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
1	1,61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1,16	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1,86	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
4	1,91	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
5	1,05	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1,18	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1,20	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1,14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1,05	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,84	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
11	1,94	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
12	1,11	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1,06	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1,31	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1,05	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1,23	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1,09	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1,07	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1,37	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1,06	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1,15	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1,08	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1,44	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Clasificación: 1=positivo, 0 = negativo

Cuadro 5.2: Resultados de COLAVECO para cada muestra

Vaca	Resultados COLAVECO
1	1
2	1
3	1
4	1
5	0
6	0
7	1
8	0
9	0
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1
16	1
17	0
18	1
19	1
20	0
21	1
22	0
23	1
24	1
25	1

Clasificación: 1=positivo, 0 = negativo

Luego, a partir de estos datos para cada valor de corte se puede comparar el resultado con los obtenidos en el laboratorio (Ver cuadro 5.2), donde cada comparación se clasificó de la siguiente manera:

- Verdadero Positivo (VP): Si tanto el prototipo como el laboratorio determinan que una vaca está enferma.

- Verdadero Negativo (VN): Si tanto el prototipo como el laboratorio determinan que una vaca no está enferma.
- Falso Positivo (FP): Si para el prototipo la vaca se clasifica como enferma y el laboratorio determina que la vaca no está enferma.
- Falso Negativo (FN): Si para el prototipo la vaca se clasifica como sana y el laboratorio determina que la vaca está enferma.

El resultado de la comparación se muestra en el cuadro 5.3 .

Finalmente se pueden calcular distintos indicadores (Ver cuadro 5.4) para poder establecer la especificidad y sensibilidad que determina cada valor de corte. Los indicadores calculados fueron la cantidad de verdaderos positivos, verdaderos negativos, falsos positivos y falsos negativos para cada valor de corte. Partiendo de la sensibilidad y especificidad ya definidas, se puede crear el gráfico de ROC que se muestra en la Figura 5.4.3 para cada valor de corte tomando como abscisas la sensibilidad y 1-especificidad. El valor de corte que obtiene mejor resultado es el 1,15, que determina una sensibilidad del 67 % y una especificidad del 86 %. Si bien el valor de corte 1,10 tiene mejor balance entre especificidad y sensibilidad, como ya se expresó, se prefiere mantener la especificidad lo más alto posible para minimizar los falsos positivos y por esto no se toma como el valor de corte elegido al 1,10.

Cuadro 5.3: Clasificación de resultados del prototipo por valor de corte

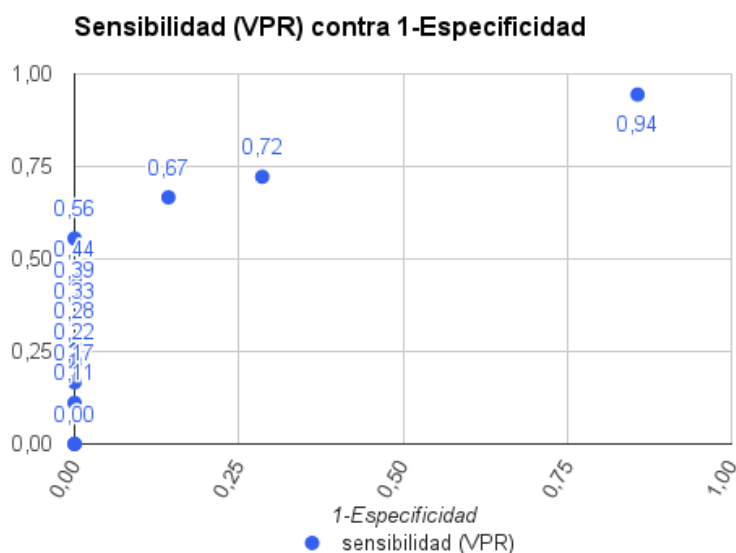
Vaca	Normalizado																				
		1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
1	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
2	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
3	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	FN	FN	FN	0
4	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	FN	FN	0
5	FP	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	0
6	FP	FP	FP	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	0
7	VP	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
8	FP	FP	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	0
9	FP	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	0
10	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	0
11	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	FN	FN	0
12	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
13	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
14	VP	VP	VP	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
15	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
16	VP	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
17	FP	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	0
18	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
19	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
20	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	0
21	VP	VP	VP	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
22	FP	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	0
23	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
24	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0
25	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	0

Clasificación: VP=Verdadero positivo, VN=Verdadero negativo, FP=Falso positivo, FN=Falso negativo

Cuadro 5.4: Totales por clasificación e indicadores de sensibilidad y especificidad por valor de corte

Valor de Corte	Indicadores																			
	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
Verdaderos Positivos (VP)	17	13	12	10	8	8	7	6	5	5	5	5	4	4	4	4	3	2	0	0
Verdaderos Negativos (VN)	1	5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Falsos Positivos (FP)	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Falsos Negativos (FN)	1	5	6	8	10	10	11	12	13	13	13	13	14	14	14	14	15	16	18	18
Especificidad	0,14	0,71	0,86	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
sensibilidad (VPR)	0,94	0,72	0,67	0,56	0,44	0,44	0,39	0,33	0,28	0,28	0,28	0,28	0,22	0,22	0,22	0,22	0,17	0,11	0	0

Figura 5.4.3: Curva de ROC



De forma análoga, se aplicó el mismo procedimiento para determinar un valor de corte para la conductividad absoluta, es decir, un valor de conductividad mínimo para el cual la vaca debe considerarse enferma. En este último análisis se evaluaron distintos valores de corte entre 60 mS/cm^2 y 79 mS/cm^2 para los casos en que la conductividad diferencial determina un caso negativo. Se concluyó que el mejor valor de corte para la conductividad absoluta es 67 mS/cm^2 para la composición de los métodos, o sea, los resultados negativos de la electroconductividad diferencial son valorados por su electroconductividad absoluta.

Este último valor es importante, ya que una vaca podría tener los cuatro cuartos enfermos y en este caso la conductividad diferencial no representa un resultado certero, pero en este escenario, la conductividad absoluta sí puede brindar información como para determinar el estado de la vaca. La composición sirve para minimizar los efectos de baja especificidad de la electroconductividad absoluta.

Con este procedimiento se alcanzan valores de sensibilidad del 83 % y de especificidad del 86 %.

Cabe destacar que los valores son dependientes de la muestra actual y que deben ser validados con la adición de nuevas muestras. Se presentan los datos de esta última valoración en el Anexo A.

En el cuadro 5.5 se muestran los resultados obtenidos por el prototipo

para cada vaca luego de evaluar según el valor de corte óptimo. Se contrasta con el correspondiente resultado del laboratorio para la misma muestra.

Cuadro 5.5: Confrontación de resultados del Prototipo con valor de corte óptimo y COLAVECO

Vaca	Prototipo	COLAVECO
9	1	0
12	0	1
13	0	1
15	0	1

Clasificación: 1=positivo, 0 = negativo
Solo 4 casos difieren del resultado de COLAVECO

Mediante el contraste de los resultados del prototipo y el laboratorio se puede cuantificar la efectividad del prototipo para diagnosticar la enfermedad en base a la cantidad de verdaderos positivos, verdaderos negativos, falsos positivos y falsos negativos. Estos indicadores están reflejados en el cuadro 5.6.

Cuadro 5.6: Resumen de indicadores obtenidos

Indicador	Cantidad	%
<i>Verdaderos Positivos (VP)</i>	15	60
<i>Verdaderos Negativos (VN)</i>	6	24
<i>Falsos Positivos (FP)</i>	1	4
<i>Falsos Negativos (FN)</i>	3	12

Capítulo 6

Conclusiones

Se logró probar la viabilidad de la propuesta mediante el desarrollo de un prototipo compuesto por software y hardware, donde para el primero se implementó una plataforma web y para el segundo un dispositivo portátil el cual detecta la presencia de la enfermedad mediante la utilización de la electroconductividad de la leche. Ambos componentes cumplieron con las premisas de bajo costo de fabricación para evitar el problema de negación a la inversión y de diseño enfocado a la sencillez de uso para evitar la resistencia a la tecnología de la gente del medio. También cumplió con los requerimientos relacionados a lo agresivo del medio hacia equipos electrónicos como ser las arduas condiciones de humedad, suciedad y esfuerzos físicos.

La cantidad de vacas utilizadas en el estudio se vio acotada debido a costos logísticos y económicos, por lo que los resultados obtenidos se basan en un estudio de veinticinco vacas elegidas al azar dentro de tres establecimientos en el departamento de Florida. Si bien los resultados están sujetos a el muestreo realizado, se puede concluir que los mismos son alentadores ya que mediante la utilización de la metodología de curvas de ROC para establecer los valores de corte, se obtuvieron niveles dentro del orden deseado con un punto óptimo de sensibilidad del 83% y especificidad del 86%. Cabe destacar que dado el contexto en el que se utiliza esta solución, al momento de elegir el punto de corte tanto para la electroconductividad diferencial como para la absoluta, se optó por priorizar la especificidad del método por encima de la sensibilidad para evitar la ocurrencia de falsos positivos. Esto es en el entendido de que los usuarios rápidamente pueden caer en un descreimiento del sistema por comprobar que en realidad el vacuno no estaba enfermo y de que las pérdidas producidas por un falso positivo son mayores que las ocasionadas por un falso negativo. Los falsos negativos serán catalogados de forma correcta por el sistema a medida que la enfermedad evolucione aún estando en etapas tempranas.

Se concluye según la información recabada en el presente estudio, que la metodología utilizada de detección de mastitis mediante la medición de la electroconductividad de la leche, muestra grandes posibilidades de poder mejorar la realidad actual para la detección de la enfermedad en el tambo uruguayo. El uso de sensores asociado a software de manejo y análisis permite tener un resultado rápido y confiable sin requerir de los usuarios ningún conocimiento especial, eliminando el componente subjetivo del test CMT. El almacenamiento y análisis de la información sanitaria de cada vaca, permite implementar los planes internacionales de mitigación de la prevalencia de la mastitis infecciosa, utilizar tecnologías de la información para hacer por ejemplo toma de decisiones asistidas y principalmente brindarle al tambero herramientas para mejorar su rodeo. Todo esto fue posible gracias a la baja en los costos del equipamiento electrónico y la mejora en la conectividad para el transporte de datos, lo que abre la puerta a la masificación del uso de esta técnica como forma de detectar la mastitis. En este escenario, se entiende que es viable reducir las pérdidas económicas y productivas provocadas por la enfermedad y lograr un mejor estado sanitario del ganado lechero con la consiguiente mejora para la lechería nacional.

6.1. Trabajo a futuro

En el desarrollo del presente estudio se encontraron múltiples factores que afectan la precisión del método de detección de mastitis por medición de la electroconductividad. Uno de estos factores es la afectación de los valores dependiendo de la temperatura a la que se encuentra la leche al momento de la lectura. Al aumentar la temperatura, la leche aumenta su conductividad a iguales concentraciones de iones, por lo que es necesaria una corrección de las lecturas según la temperatura a la que se encuentre la muestra.

Para el caso de la medición en la línea de ordeño, el impacto de este cambio es menor ya que la regulación térmica de la vaca compensa en gran medida las variaciones de la temperatura ambiente, pero para el caso del medidor manual, los tiempos de espera entre la extracción de la muestra y la lectura pueden afectar el valor obtenido dependiendo del salto térmico entre la temperatura ambiente y la de la muestra. Se debería encontrar un polinomio de interpolación que ingresando la temperatura de la muestra retorne el factor de corrección que permita corregir la lectura. Otro factor es el cambio de composición que sufre la leche en los primeros días luego de la parición. Sería necesario encontrar un factor de compensación para los días en que la vaca está produciendo calostro de forma que no se detecten falsos positivos en animales recién paridos.

Anexo A

Se presenta la información referente a la aplicación de la electroconductividad absoluta, luego de aplicarse la diferencial para mejorar la aproximación los resultados al Gold Standard. No se detalla el procedimiento, ya que fue descrito en la sección 5.4.3. Se utilizaron diferentes valores de corte entre 60mS/cm y 79mS/cm. Para cada valor de corte se compararon los datos con valor máximo para cada vaca y se clasificó con un 1 si el valor para la vaca está por encima del valor de corte y 0 en caso contrario. En cuadro 6.1, se muestran los distintos resultados para cada valor de corte.

Cuadro 6.1: Test ROC, clasificación para distintos valores de corte función compuesta (diferencial \oplus absoluta).

Vaca	Normalizado	Máximo	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
1	1,61	106080	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1,16	73732	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1,86	113060	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1,91	104717	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,05	49856	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1,18	57229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1,20	55434	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1,14	52490	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1,05	71047	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1,84	92550	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1,94	83851	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1,11	53620	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1,06	66764	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1,31	81874	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1,05	57829	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1,23	64553	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1,09	66431	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1,04	73751	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1,07	72258	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1,04	61004	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1,37	100671	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1,06	64098	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1,15	68763	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1,08	67308	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1,44	105273	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Clasificación: 1=positivo, 0 = negativo

Cuadro 6.2: Resultados de COLAVECO para cada muestra

Vaca	Resultados COLAVECO
1	1
2	1
3	1
4	1
5	0
6	0
7	1
8	0
9	0
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1
16	1
17	0
18	1
19	1
20	0
21	1
22	0
23	1
24	1
25	1

Clasificación: 1=positivo, 0 = negativo

Cuadro 6.4: Totales por clasificación e indicadores de sensibilidad y especificidad por valor de corte de EC absoluta

Valor de Corte	Indicadores																			
	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Verdaderos Positivos (VP)	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Verdaderos Negativos (VN)	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Falsos Positivos (FP)	4	4	3	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Falsos Negativos (FN)	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Especificidad	0,43	0,43	0,57	0,57	0,57	0,71	0,71	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
sensibilidad (VPR)	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83

Cuadro 6.3: Clasificación de resultados del prototipo por valor de corte de EC absoluta ms/cm²

Vaca	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
1	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
2	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
3	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
4	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
5	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN
6	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN
7	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
8	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN
9	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP
10	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
11	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
12	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN
13	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN
14	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
15	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN	FN
16	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
17	FP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN
18	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
19	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
20	FP	FP	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN
21	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
22	FP	FP	FP	FP	FP	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN	VN
23	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
24	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
25	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP

Clasificación: VP=Verdadero positivo, VN=Verdadero negativo, FP=Falso positivo, FN=Falso negativo

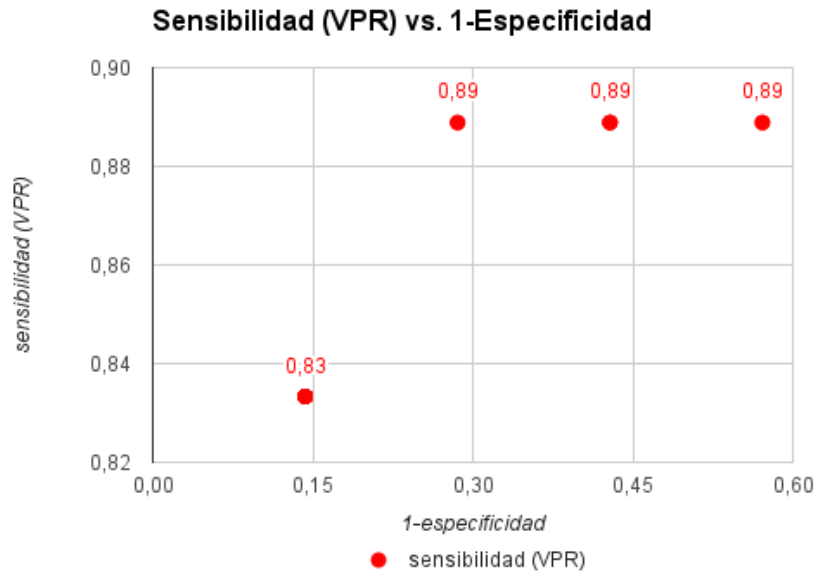


Figura 6.1.1: Curva de ROC

Se concluyó que el mejor valor de corte para la conductividad absoluta es 67 mS/cm^2 .

Anexo B

El siguiente cuadro muestra la conductividad diferencial para cada cuarto de cada vaca y determina cual es el valor máximo para cada vaca.

Vaca	AI	AD	PI	PD	Máximo
1	66037	75129	106080	94765	106080
2	65784	65359	63754	73732	73732
3	113060	104134	103052	60851	113060
4	54721	55791	62658	104717	104717
5	49416	47697	49856	49654	49856
6	54780	54395	48566	57229	57229
7	50290	46140	46100	55434	55434
8	48658	46208	47353	52490	52490
9	67660	69846	67837	71047	71047
10	54158	50370	53839	92550	92550
11	83851	44368	43288	44940	83851
12	49138	53620	48521	48423	53620
13	66764	66429	63901	62755	66764
14	63885	81874	62650		81874
15	54856	57829	56536	57118	57829
16	54222	52432	64553	56176	64553
17		60836	63339	66431	66431
18	72799	73751	70675	72904	73751
19	72111	67531	70455	72258	72258
20		60985	58714	61004	61004
21	73343	76265	100671	77484	100671
22	60466	62883	64098	61461	64098
23	61895	67917	68763	59959	68763
24	62585	67308	63591	63284	67308
25	105273	76304	73005	82256	105273

Cuadro 6.5: Conductividad Diferencial de cada vaca

Vaca	AI	AD	PI	PD	Máximo
1	900	1653	5410	3416	5410
2	764	202	634	2930	2930
3	5713	6365	5160	477	6365
4	303	*	444	2678	2678
5	125	132	17	362	362
6	124	259	205	82	259
7	302	22	101	745	745
8	25	30	34	146	146
9	100	149	40	82	149
10	550	55	5878	407	5878
11	4874	203	123	221	4874
12	28	880	401	31	880
13	4414	1430	373	230	4414
14	362	5777	*	308	5777
15	362	154	437	247	437
16	139	28	655	308	655
17	**	185	154	335	335
18	422	308	131	437	437
19	277	317	324	449	449
20	322	209	**	304	322
21	522	576	888	252	888
22	49	30	152	23	152
23	73	1073	1015	47	1073
24	24	422	289	227	422
25	2412	461	**	**	2412

Cuadro 6.6: Recuento celular realizado por el laboratorio

*Muestras que llegaron en mal estado al laboratorio impidiendo su análisis

** Cuarto mamario no funcional (mama atrofiada permanentemente que no produce leche)

Nomenclatura

Arduino	Compañía de hardware libre que diseña placas de desarrollo que incluyen un microcontrolador y un entorno de desarrollo.
Clínica	Etapa donde se aprecian signos de la enfermedad en una exploración física.
Conaprole	Cooperativa Nacional de Productores de Leche
Células somáticas	Son aquellas que conforman el crecimiento de los tejidos y órganos de un ser vivo pluricelular, las cuales proceden de células madre originadas durante el desarrollo embrionario y que sufren un proceso de proliferación celular y apoptosis. Son las que constituyen la mayoría de las células del cuerpo de un organismo pluricelular y no incluyen las células germinales.
Electroconductividad o Conductividad eléctrica,	es la medida de una sustancia para permitir el paso de la corriente eléctrica. Es la inversa de la resistividad y tiene unidad Siemens por metro (S/m).
Gold Standard	Conjunto de valores tomados como grupo de control.
GPIO	General Purpose Input/output es un terminal de uso genérico de un integrado que puede cambiar mediante programación su función entre entrada y salida.
Hectárea	área de 10.000 metros cuadrados.
HTTPS	Hyper Text Transport Protocol Secure es un protocolo de aplicación basado en HTTP que implementa encriptado de los datos mediante SSL.

IIC	o I2C por Inter-Integrated Circuit es un bus serial multi-master, multi-slave de comunicación entre integrados y periféricos. Fue inventado por Phillips.
LCD	Liquid Crystal Display es una pantalla formada por capas de cristal entre las que se colocan films que polarizan una luz trasera al display para permitir o impedir el paso de la misma. Pueden ser monocromo o color y son de bajo consumo eléctrico.
ml	Mililitro.
Outliers	Un valor atípico (en inglés outlier) es una observación que es numéricamente distante del resto de los datos.
RDBMS	Relational Data Base Management System es un software para manejar el almacenamiento de datos siguiendo el modelo relacional propuesto por E. F. Codd.
Recuento celular	El recuento celular o recuento de células somáticas en la leche es un indicador del estado general de salud de la glándula mamaria de la hembra lactante, el cual es ampliamente utilizado para el mejoramiento de la calidad en producción lechera.
REST	Representational State Transfer es una arquitectura de software para aplicaciones hypermedia distribuídas como la World Wide Web.
S.N.I.G	Sistema Nacional de Información Ganadera
SOAP	Simple Object Access Protocol es un protocolo que define como dos objetos en diferentes procesos pueden comunicarse mediante mensajes XML.
SPI	Serial Peripheral Interface es un bus serial asincrónico para comunicación de un microcontrolador con periféricos a distancias cortas.
Subclínica	Etapas de una enfermedad donde no es posible apreciar síntomas. Por debajo del umbral de apreciación en una exploración clínica.
VBP	Total de los valores de los bienes y servicios producidos por una sociedad.

Web service	Tecnología que utiliza un conjunto de protocolos y estándares para intercambiar datos entre aplicaciones.
WiFi	Es una marca de la Wi-Fi Alliance comúnmente usada para hablar de las redes inalámbricas LAN según la norma IEEE 802.11.

Bibliografía

- [1] Afimilk. [Online]. Disponible: <http://www.afimilk.com/products/milking-parlor-automation/integrated-milking-point-analysis-control> [Consulta 12-01-2016]
- [2] Arduino. [Online]. Disponible: <https://www.arduino.cc/> [Consulta 15-01-2016]
- [3] Atlas Scientific. [Online]. Disponible: <http://atlas-scientific.com/> [Consulta 10-08-2015]
- [4] ARM. [Online]. Disponible: <https://www.arm.com/> [Consulta 12-01-2016]
- [5] Beck, H. S., Wise, W. S., y Dodd, F. H. (1992). Cost benefit analysis of bovine mastitis in the UK. *Journal of Dairy Research*, 59(04), 449-460.
- [6] Blowey, R., y Edmondson, P. (1995). Control de la mastitis en granjas de vacuno de leche, Zaragoza, Acribia, 218 p.
- [7] Carro S., Barca J., Gonzalez A., Grille L. Microbilogía I. Recuento m.o. mesófilos aerobios totales. [Online]. Disponible: http://www.fvet.edu.uy/sites/default/files//cyleche/cyleche%202014.RMAT_.pdf [Consulta 12-08-2015]
- [8] Bouman, M. (2011). Programas uruguayos de control de Mastitis, *Lechuza Roja*, 24, 12-13.
- [9] COLAVECO. [Online]. Disponible: <http://www.colaveco.com.uy/colaveco/index.php> [Consulta 31-10-2015]
- [10] Del Baglivi, L. y Bonilla, M. L. (1976). Investigaciones sobre mastitis subclínica en rodeos lecheros del Uruguay, *Facultad de Veterinaria, Uruguay*, 12, 69-77.

- [11] DHMS. [Online]. Disponible: <http://www.dhms.com.ar> [Consulta 23-06-2015]
- [12] DIEA anuario 2014. [Online]. Disponible: <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-anuario-2014,O,es,0> [Consulta 12-12-2015]
- [13] Dingwell, R. T., Leslie, K. E., Schukken, Y. H., Sargeant, J. M. y Timms, L. L. (2003). Evaluation of the California mastitis test to detect an intramammary infection with a major pathogen in early lactation dairy cows. *Canadian Veterinary Journal*, 44 (5), 413-415.
- [14] Draminski. [Online]. Disponible: <http://www.draminski.es/agri/detectores-de-Mastitis> [Consulta 12-01-2016]
- [15] Elizalde, E. F., Signorini, M. L., Canavesio, V. R., Cuatrin, A., Tarabla, H. D. y Calvino, L. F. (2009). Medición de la Conductividad Eléctrica en Leche como Método Diagnóstico de Mastitis Subclínica Bovina. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 8 (1), 15-28.
- [16] Fawcett, T. (2004). ROC graphs: Notes and practical considerations for researchers. *Machine learning*, 31 (1), 1-38.
- [17] Fernández, P., y Díaz, P. (2002). Unidad de epidemiología clínica y bioestadística. Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (España). [Online] Disponible http://www.fisterracom/mbe/investiga/cuanti_cuali/cuanti_cuali.asp [Consulta 18-06-2016]
- [18] Fogarty, J., Baker, R. S., y Hudson, S. E. (2005). Case studies in the use of ROC curve analysis for sensor-based estimates in human computer interaction. In *Proceedings of Graphics Interface*. Canadian Human-Computer Communications Society, 129-136.
- [19] Giannechini, R., Concha, C., Rivero, R., Delucci, I. y López J. M. (2002). Occurrence of Clinical and Sub-Clinical Mastitis in Dairy Herds in the West Littoral Region in Uruguay. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 43 (4), 221-230.
- [20] Giannechini, R., Parietti, I. y De María, P. (2002). Evaluación de pérdidas económicas relacionadas a mastitis para establecimientos lecheros en Uruguay. Diez años de actividades del Laboratorio de Calidad de Leche, INIA Serie Actividades de Difusión, Jornada de lechería, La Estanzuela, Colonia, Uruguay, 287 (1), 35-39.

- [21] González, O. (1999). Células somáticas en Uruguay la necesidad de un programa. Jornadas de Salud de Ubre, Nva. Helvecia, Uruguay, 51-58.
- [22] HTTPS RFC. [Online]. Disponible: <https://tools.ietf.org/html/rfc2818> [Consulta 15-01-2016]
- [23] IEEE 802. [Online]. Disponible: <http://www.ieee802.org/> [Consulta 15-01-2016]
- [24] Instituto Nacional de Mejoramiento Lechero. [Online]. Disponible: <http://mu.org.uy/> [Consulta 13-10-2015]
- [25] ISO 11784:1996. [Online]. Disponible: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=25881 [Consulta 06-01-2016]
- [26] ISO 11785:1996. [Online]. Disponible: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=19982 [Consulta 06-01-2016]
- [27] Java. [Online]. Disponible: <https://www.java.com> [Consulta 17-01-2016]
- [28] JHO Soft. [Online]. Disponible: <http://www.jhosoft.com.ar/swcarac.html> [Consulta 07-01-2016]
- [29] JPA. [Online]. Disponible: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaeetech/persistence-jsp-140049.html> [Consulta 17-01-2016]
- [30] JSF. [Online]. Disponible: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaeetech/javaserverfaces-139869.html> [Consulta 12-01-2016]
- [31] Laborde, M., Barriola, J. y Bonilla, M. (1981). Etiología distribución de la infección en cuartos mamarios de vacas ordeñadas manual y mecanizadamente. Facultad de Veterinaria, Uruguay, 76, 75-80.
- [32] Lescourret, F., y Coulon, J. B. (1994). Modeling the impact of mastitis on milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77(8), 2289-2301.
- [33] Lozano Rivas, W. A. (2011). Determinación del número mínimo de observaciones en investigación, obviando las estimaciones de varianza de datos. *Revista de Didáctica Ambiental*, 10, 54-61.
- [34] Macoel AgroInformática. [Online]. Disponible: <http://www.maco.com.uy/macoel8.htm> [Consulta 07-01-2016]

- [35] Medina, C. M., y Montaldo, V. H. (2003). El uso de la prueba de conductividad eléctrica y su relación con la prueba de California para mastitis. In CNM. V Congreso Nacional de Control de Mastitis. Aguascalientes, Ags., México, 29-31.
- [36] Mifare [Online]. Disponible: <https://www.mifare.net/en/> [Consulta 18-06-2016]
- [37] Ming-Chih, C., Chien-Hsing, C. y Chong-Yu, S. (2014). Design of Information System for Milking Dairy Cattle and Detection of Mastitis. *Mathematical Problems In Engineering*, 1-9.
- [38] Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. [Online]. Disponible: <http://www.mgap.gub.uy> [Consulta 01-01-2016]
- [39] Philpot, W. N. y Nickerson, S. C. (1991). Mastitis attack. Surge International–Babson Bros. Co. Naperville, Illinois, USA, 10-28.
- [40] Postgresl. [Online]. Disponible: <http://www.postgresql.org> [Consulta 17-01-2016]
- [41] Primefaces. [Online]. Disponible: <http://www.primefaces.org/> [Consulta 19-10-2015]
- [42] Raspberry PI. [Online]. Disponible: <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/> [Consulta 19-10-2015]
- [43] Representational State Transfer. [Online]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Representational_State_Transfer [Consulta 15-01-2016]
- [44] Sistema de información ganadera, dependiente del Ministerio de ganadería, agricultura y pesca. [Online]. <https://www.snig.gub.uy/>, [Consulta 30-12-2015]
- [45] SQLite. [Online]. Disponible: <https://www.sqlite.org/> [Consulta 19-10-2015]
- [46] Torres, E. D. y de Torres Tajés, E. M. (2010). Estudio de la evolución del recuento celular y el aislamiento bacteriano durante la lactancia en vacas lecheras, Tesis de Maestría en Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Uruguay.

- [47] Torres, M., Paz, K. y Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado, Boletín electrónico, Facultad de ingeniería, Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 2 (1), 1-13
- [48] Yavuz, D., Pacheco, M. y Silva, M. (2010). Poder de mercado en la industria láctea uruguaya, Tesis de Licenciatura en Economía, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.