



Ministerio
**de Ganadería,
Agricultura y Pesca**

Oficina de
Programación y
Política Agropecuaria

Explorando la implementación de blockchain y sensores para la trazabilidad en la quesería artesanal de Uruguay

Juan Pablo Albornoz, Estefanía Almeyda, Flavia Fernández, Enrique
Topolansky y Ernesto Triñanes

Explorando la implementación de *blockchain* y sensores para la trazabilidad en la quesería artesanal de Uruguay

Juan Pablo Albornoz,¹ Estefanía Almeyda,² Flavia Fernández,³ Enrique Topolansky⁴ y Ernesto Triñanes⁵

Este artículo describe el desarrollo y la implementación de un prototipo de trazabilidad digital para la producción de quesos artesanales en Uruguay, mediante el empleo de tecnología blockchain y sensores con el objetivo de elevar la transparencia y la calidad del producto. El sistema combina hardware y software de trazabilidad, en colaboración con diversas instituciones, y se enfoca en la captura de datos en tiempo real y la capacitación de los productores. Los resultados evidencian la viabilidad técnica del sistema en áreas rurales, una alta aceptación por parte de los productores y un impacto positivo en la productividad, además de brindar una capacidad de monitoreo en tiempo real. Este sistema representa un avance significativo para la quesería artesanal en Uruguay, con el potencial de optimizar la cadena de valor y ofrecer un producto de calidad respaldado por una certificación.

Palabras claves: sector lácteo, blockchain, tecnologías emergentes, queso artesanal.

1. Introducción

La producción de quesos artesanales en Uruguay es una actividad clave en el sector agroalimentario. No obstante, enfrenta desafíos en términos de trazabilidad, calidad y transparencia, lo cual limita su competitividad y sostenibilidad. La falta de métodos de control eficientes dificulta la certificación de los productos y afecta la confianza de los consumidores.

Este proyecto tiene como objetivos:

¹ Doctor en Ciencias Veterinarias, MSc. Ingeniería Ambiental, especialista de enlace y procesos estratégicos para las áreas de Producción & Ambiente, Oficina de Representación de la FAO en Uruguay.

² Licenciada en Sistemas, Tecnologías de la Información, MBA, consultora técnica en la División Tecnologías Emergentes e Innovación - Área Tecnología de la Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC).

³ Contadora pública, MBA, Posgrado de Alta Dirección en Agronegocios y Alimentos, gerenta de Administración y Finanzas, Instituto Nacional de la Leche (INALE), ffernandez@inale.org

⁴ Máster en Negocios y Administración, director del Centro de Innovación y Emprendimientos, Universidad ORT Uruguay.

⁵ Ingeniero agrónomo, gerente de Sostenibilidad y Proyectos, INALE, etrinanes@inale.org

- Implementar un sistema de trazabilidad en tiempo real que permita monitorear la producción de queso desde la leche cruda hasta el producto final.
- Asegurar la calidad del producto mediante parámetros controlados y certificados en *blockchain*.

La trazabilidad mediante *blockchain* aporta beneficios al sector de la quesería artesanal, como la capacidad de documentar cada etapa del proceso y ofrecer una garantía de calidad verificable. Esto no sólo beneficia al productor, sino también al consumidor, que puede confiar en la autenticidad y la calidad del producto artesanal.

2. Desarrollo de soluciones para la quesería artesanal

El Acuerdo Interinstitucional para el Desarrollo de la Quesería Artesanal Fase I⁶ (AIDQA, Fase I) ha representado una oportunidad única para abordar desafíos en la producción de quesos artesanales. Durante la primera fase, el proyecto enfrentó la incertidumbre generada en parte de la población quesera artesanal, especialmente en aquellos productores que se veían afectados por el nuevo reglamento de seguridad de generadores de vapor implementado a partir de mayo de 2016. Este reglamento, con la supervisión de la Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua (URSEA), exige la habilitación de los generadores de vapor⁷ y prevé sanciones en caso de incumplimientos.

Con la colaboración de AIDQA y el Instituto Nacional de la Leche (INALE), se alcanzó el primer hito: demostrar que era factible elaborar quesos artesanales usando agua caliente en lugar de vapor, lo cual eliminaba la necesidad de generadores de vapor. La instalación de cuatro prototipos de calderas de agua caliente y tinas de doble camisa con capacidad de 1.200 litros, equipadas con sensores básicos, permitió automatizar algunas tareas en el proceso, marcando el segundo hito en la fase inicial.

El éxito de la Fase I impulsó la expansión del proyecto en la Fase II. En esta etapa, se implementó un sistema de calentamiento con calderas de agua caliente en lugar de hornallas a gas, buscando mejorar la eficiencia energética, la seguridad de los trabajadores y la calidad del proceso productivo (ADQA, DECON, DTOX y Unidad Académica de Costos y Control de Gestión, 2018). Este sistema demostró beneficios en términos de eficiencia y viabilidad para productores de menor escala⁸ (500 a 1.000 litros de leche por día). Para esta

⁶ Más información disponible en <https://www.inale.org/proyectos/aidqa-fase-i/>

⁷ Todo generador de vapor cuya presión de trabajo supere los 0,5 kgf/cm² (0,5 bar) debe ser habilitado por la URSEA, a excepción de aquellos cuya capacidad total sea inferior a 25 litros y la presión que deba soportar sea menor a 5 kgf/cm² (4,9 bar).

⁸ Fondos MGAP-DGDR, ADQA, DECON, DTOX y Unidad Académica de Costos y Control de Gestión.

fase, se desarrolló un modelo que almacenaba los datos en tarjetas de memoria (SD), aunque la descarga manual y las condiciones de alta humedad afectaban la practicidad y la eficacia del sistema.

La segunda etapa también demostró que el uso de sensores en puntos críticos de la producción, como el control de temperatura y tiempos de maduración, facilitaba la recopilación de datos en tiempo real. Esto abrió nuevas posibilidades para establecer una trazabilidad detallada del producto y para considerar una futura certificación de calidad específica para cada tipo de queso artesanal.

Históricamente, la trazabilidad en los quesos artesanales en Uruguay tiene antecedentes desde fines del siglo XIX, cuando algunos queseros de Colonia Suiza marcaban sus productos en relieve para diferenciarlos en el mercado. Hoy en día, la identificación de quesos sigue un proceso formal ante el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), mediante una matrícula alfanumérica que incluye el departamento de origen y un número correlativo. Aun así, este sistema es vulnerable a manipulaciones y no asegura una trazabilidad exhaustiva.

El uso de sensores ha facilitado enormemente el trabajo en las queserías, mejorando la calidad del producto y permitiendo la generación de una gran cantidad de datos en tiempo real sobre el proceso productivo. Estos datos son esenciales para avanzar hacia una trazabilidad completa y detallada de cada lote de queso.

Con la experiencia acumulada en las fases anteriores, el AIDQA Fase III⁹ propone dar un paso más, integrando tecnología *blockchain* para la certificación de datos de trazabilidad. Esta fase contempla el diseño y la implementación de una red de sensores interconectados que permite a los productores enviar información automáticamente a un prototipo de trazabilidad. Utilizando *software* y *hardware* que interactúan para recopilar, almacenar y procesar los datos de acuerdo con las fichas técnicas de cada tipo de queso, se plantea resolver las limitaciones de los primeros prototipos al integrar tecnología de automatización de datos. *Blockchain* se utilizará para asegurar la inmutabilidad y la transparencia de los datos recolectados.

Después de una búsqueda de apoyo técnico y financiero, se encontró en la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) el socio ideal para proporcionar el respaldo necesario, facilitando así la implementación de esta tecnología innovadora en la quesería artesanal de Uruguay.

⁹ Más información disponible en <https://www.inale.org/continua-la-convocatoria-a-queserias-artesanales-previo-al-lanzamiento-del-proyecto-en-fase-iii/>

3 Metodología y colaboraciones

Colaboración institucional y roles clave

El proyecto se desarrolló mediante una colaboración estratégica entre varias instituciones que aportaron soporte técnico, capacitación y recursos clave para la implementación y la validación del sistema de trazabilidad. Las organizaciones involucradas y sus roles específicos fueron:

- **FAO:** Con su compromiso con el desarrollo sostenible y la inclusión de tecnologías digitales, la FAO apoyó la implementación de *blockchain* en la cadena de valor de la quesería artesanal en Uruguay. Esta colaboración se alinea con el Marco de Cooperación FAO-Uruguay (2021-2025), que prioriza áreas estratégicas como la producción, la nutrición, el medioambiente y la calidad de vida.
- **INALE:** Como entidad principal en el desarrollo del sector lácteo uruguayo, el INALE lideró la implementación del sistema de trazabilidad, facilitando la conexión con los productores de quesos artesanales y proporcionando el marco regulatorio y las directrices de calidad.
- **Universidad ORT Uruguay:** A través de su Centro de Innovación y Emprendimientos (CIE), la Universidad ORT colaboró en el diseño y la implementación tecnológica del sistema, contribuyendo con su experiencia en innovación y tecnología.
- **Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC):** La AGESIC proporcionó la infraestructura para la plataforma de *blockchain* y asesoría en tecnología de la información, asegurando que el sistema cumpla con los estándares de seguridad y transparencia requeridos para la trazabilidad.

Esta colaboración institucional fue fundamental para superar los desafíos técnicos y de infraestructura que enfrenta el sector de la quesería artesanal, asegurando que los productores puedan explorar nuevas herramientas digitales de manera efectiva.

Herramientas y tecnologías empleadas

Para este proyecto se seleccionaron tres tecnologías principales debido a su capacidad para capturar, almacenar y proteger los datos críticos del proceso de elaboración del queso artesanal: *blockchain*, sensores y una plataforma de trazabilidad.

- **Blockchain** (o cadena de bloques): Es una tecnología de registro distribuida y segura que permite almacenar datos de manera inmutable y accesible. Su estructura, basada en una red de nodos que verifica y almacena transacciones en bloques encadenados, asegura la integridad de los datos sin depender de intermediarios. Esta tecnología no sólo garantiza la transparencia y la confiabilidad en los datos de trazabilidad, sino que también abre la puerta a aplicaciones de contratos inteligentes que benefician a la cadena de valor artesanal (Nakamoto, 2008; Buterin, 2013; Wood, 2016; Tapscott, 2016).
- **Sensores**: Los sensores se integraron en puntos estratégicos del proceso de producción para capturar en tiempo real datos esenciales, como la temperatura, la concentración de sal y el tiempo de maduración. Estos datos se transmiten al sistema de trazabilidad, que evalúa la conformidad del proceso en cada etapa y permite la toma de decisiones informadas sobre la calidad del producto.
- **Plataforma de trazabilidad**: La plataforma de trazabilidad, gestionada por el INALE, permite a los productores registrar y consultar información de cada lote, mientras que el *backend* administra y almacena la información de manera segura. Esta interfaz es accesible para el INALE y los productores, lo que facilita el monitoreo continuo y el acceso a informes de calidad.

Aplicación de **blockchain** en la producción artesanal

La tecnología es un motor de innovación en la producción de quesos artesanales, ofreciendo una solución confiable y transparente para la trazabilidad del producto. Asegura que cada etapa del proceso, desde la obtención de la leche hasta la elaboración del queso, quede registrada de forma segura y accesible. Esta tecnología permite a los productores y consumidores rastrear la historia del producto, lo cual agrega valor al producto final y refuerza la confianza del mercado.

Para los queseros artesanales, ofrece un sistema que asegura la integridad de los registros de producción sin depender de terceros para validar sus prácticas. Además, el sistema facilita la generación de certificados de calidad, lo cual permite que comercialicen sus productos con un respaldo verificable de origen y buenas prácticas. Este enfoque ayuda al INALE a consolidarse como un aliado en el sector artesanal, ya que los datos de calidad se almacenan de forma segura y accesible, permitiendo una mejora continua en los procesos productivos.

Implementación de la plataforma y capacitación

Para asegurar una adopción efectiva del sistema de trazabilidad, se capacitó a los productores en el uso de la plataforma. La capacitación incluyó sesiones prácticas y la entrega de un manual de usuario, diseñado para apoyar el aprendizaje del sistema y familiarizar a los productores con los conceptos técnicos necesarios. El manual cubre aspectos como el registro de datos, la generación de informes y el monitoreo de lotes en tiempo real, facilitando así una adopción efectiva y sostenible de la tecnología.

Esta capacitación resultó fundamental, ya que permitió comprender cómo la automatización de los procesos de trazabilidad puede ahorrarles tiempo y costos, además de ofrecerles un control más preciso de la calidad. Los capacitados valoraron la posibilidad de monitorear en tiempo real su actividad y obtener informes detallados sobre cada lote, lo que fortalece la competitividad y sostenibilidad de la producción artesanal.

Compromiso con la innovación y la sostenibilidad

El uso de tecnologías digitales como *blockchain* no sólo contribuye a mejorar la competitividad del sector artesanal, sino que también tiene un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental. La trazabilidad digital permite a los productores gestionar sus recursos de manera más eficiente y tomar decisiones basadas en datos para reducir el impacto ambiental. Esta iniciativa se enmarca en las prioridades de la FAO y busca promover una producción agroalimentaria sostenible que fortalezca el papel de los productores familiares en el mercado, especialmente en zonas rurales.

La colaboración entre la FAO, el INALE y la Universidad ORT en este proyecto piloto representa un primer paso hacia la integración de tecnologías de trazabilidad digital en el sector agroalimentario uruguayo. Este proyecto no sólo busca mejorar la transparencia en la cadena de valor, sino también ofrecer un modelo de sostenibilidad que pueda ser replicado en otras cadenas productivas del país y la región.

Con la expansión futura de este sistema, los consumidores podrán rastrear el origen y la autenticidad de los quesos artesanales, lo cual añade valor al producto y permite a los queseros comercializar directamente, capturando mayores márgenes de ganancia. La tecnología *blockchain* asegura que las certificaciones se mantengan seguras y accesibles, brindando igualdad de oportunidades tanto a pequeños como a grandes productores, en términos de validación y comercialización de sus productos.

4. Implementación del prototipo

El objetivo principal del prototipo es documentar de manera detallada el proceso de elaboración de queso artesanal, capturando información clave en las tres etapas fundamentales del proceso: elaboración (T1), salado (T2) y maduración (T3). Este sistema asegura que cada etapa del proceso, desde la entrada de la leche a la tina de cocción hasta la finalización de la maduración, esté debidamente registrada y certificada antes de la comercialización. Los resultados esperados incluyen:

- Certificación automática por el INALE: El Instituto podrá certificar automáticamente, a través del sistema, los lotes de queso que cumplan con los parámetros establecidos para cada etapa.
- Certificado de calidad para el productor: Cada productor contará con un certificado de calidad otorgado por el INALE, validado en la *blockchain*.
- Perfiles de usuario: Tanto el Instituto como los productores tendrán distintos perfiles de usuario en el sistema, adaptados a sus necesidades y roles específicos.

Componentes del sistema de trazabilidad

El sistema de trazabilidad se compone de dos partes principales: un *backend* gestionado por el INALE y un *frontend* utilizado por los productores, cada uno con acceso a la información relevante para su rol:

- *Backend* (INALE): Este componente permite la administración integral del sistema y realiza funciones clave para asegurar la trazabilidad y el control de calidad en tiempo real. Las principales funciones incluyen:
 - Gestión de usuarios: Alta, baja y modificación de usuarios, además de la creación y asignación de roles.
 - Configuración y administración de datos: Gestión de queserías, tipos de queso y sus atributos específicos.
 - Generación de códigos QR: Códigos que permiten identificar y rastrear cada lote de queso en las etapas T1, T2 y T3.
 - Monitoreo en tiempo real: Verificación y corrección de datos cargados en el sistema, con capacidad para generar informes detallados sobre la actividad en las queserías.

- **Frontend (Productores):** El *frontend* les permite realizar registros y consultas de información clave para la producción. Entre las funciones disponibles se incluyen:
 - Registro de procesos: Iniciar nuevos procesos de producción escaneando códigos QR proporcionados por el INALE.
 - Consulta de información: Visualización de datos de procesos en curso y completados en cada etapa (T1, T2 y T3).
 - Reportes históricos: Generación de reportes que apoyen la toma de decisiones, basados en los datos recopilados.

Red de sensores y transmisión de datos

Para garantizar la trazabilidad en tiempo real, se instalaron sensores en tres puntos críticos del proceso de elaboración del queso, correspondiendo a las etapas T1, T2 y T3:

1. T1, cuajado de la leche en la tina: Durante esta etapa, el sensor mide la temperatura (Te1) y registra la estampilla de tiempo (t1), asegurando que la leche se mantenga en condiciones óptimas de temperatura.
2. T2, proceso de salado (salmuera): En esta etapa, el sensor mide la concentración de sal (Se1) y el tiempo que el queso permanece en la salmuera, generando una marca de tiempo (t2).
3. T3, maduración en la cámara: Aquí se registra la temperatura (Me1) y el tiempo que el queso permanece en la cámara de maduración, con una estampilla de tiempo (t3).

Cada sensor está diseñado para transmitir los datos en tiempo real al servidor de *software* a través de internet, evitando la necesidad de almacenamiento en memorias locales y asegurando que los datos se capturen y almacenen de manera continua y segura. Esto permite una trazabilidad completa y en tiempo real de cada lote.

Interacción entre sensores y *blockchain*

La interacción entre los sensores y el sistema de *blockchain* se realiza mediante la creación de estampillas de tiempo y marcas específicas que se asocian a cada lote en cada etapa (T1, T2 y T3). El proceso es el siguiente:

1. Inicio del lote (L1): Cuando el productor escanea el código QR al iniciar un nuevo lote de queso (L1), el sistema genera una estampilla de tiempo inicial (t1). Este código QR informa al sistema que se ha iniciado el proceso de fabricación.

2. Captura de datos en tiempo real: En cada etapa, los sensores registran parámetros relevantes (como temperatura y concentración de sal) y transmiten los datos al sistema, donde se vinculan al lote específico.
3. Validación y certificación: Al finalizar cada etapa, el sistema verifica que los datos cumplen con los parámetros de calidad predeterminados (P1 a P6). Si el lote cumple con los estándares, el sistema genera un certificado que se almacena en la *blockchain*, creando un registro de calidad inmutable.

Esta secuencia de interacciones garantiza que cada etapa cumpla con los estándares de calidad y se asigna una etiqueta OK (L1, OK) si el lote cumple con todos los parámetros. De lo contrario, recibe una etiqueta NoOK (L1, NoOK) y se registran las fallas en cada etapa.

Uso de códigos QR para identificación de lotes

Los códigos QR generados por el sistema permiten al INALE y a los productores identificar y seguir cada lote de queso en las tres etapas de producción (T1, T2 y T3). En cada etapa crítica, el productor escanea el código QR y el sistema registra y asocia los datos con el lote específico, proporcionando una trazabilidad integral desde el inicio hasta la certificación final.

Exploración con nodo *blockchain*

En colaboración con la AGESIC, se llevó a cabo una implementación avanzada de *blockchain* para la certificación de los datos generados en el proceso de producción de queso artesanal. Los pasos ejecutados fueron los siguientes:

- Colaboración con LACNET: La AGESIC contactó a la empresa LACNET, proveedora de una red *blockchain* pública autorizada, y se acordó utilizar su plataforma para unirse a la red.
- Definición de la red *blockchain*: Se evaluaron tres tipos de redes *blockchain* y, según las necesidades del proyecto, se seleccionó la Open ProTestnet, que ofrece un ambiente controlado y seguro para pruebas.
- Creación del nodo en la red: Se configuró un nodo de tipo escritor, el cual permite tanto agregar como visualizar información en la red.
- Desarrollo del *smart contract*: Se desarrolló un *smart contract* para enviar y obtener la información del certificado de cada lote de queso, asegurando que los datos se almacenen de manera inmutable.

- Disponibilización del *endpoint*: Se configuró un *endpoint* para permitir el acceso desde la aplicación cliente de la quesería al nodo en la red *blockchain*.
- Desarrollo de métodos del *endpoint*: Los métodos implementados permiten enviar el certificado de cada lote al nodo y obtener el certificado a partir de su identificador único.
- Una vez configurados el acceso y el uso de la red *blockchain*, la AGESIC y LACNET proporcionarán una plataforma que permite visualizar la información almacenada en los bloques. Esta plataforma es accesible para auditar la información y puede consultarse en <https://blockscout.openprotestnet.lac-net.net/>

Este apartado muestra cómo el uso de *blockchain* en conjunto con sensores y códigos QR permite una trazabilidad completa y confiable para el queso artesanal. La colaboración con la AGESIC y LACNET fue fundamental para implementar un sistema seguro y auditable que almacena de forma inmutable la certificación de cada lote en la *blockchain*, dando como resultado una tecnología avanzada que apoya la transparencia y la calidad del producto. Este prototipo representa un avance en la modernización de la industria artesanal y asegura la confianza de los consumidores al ofrecer un producto con respaldo de calidad en cada etapa del proceso productivo.

5 Resultados del proyecto

Logros técnicos y viabilidad del prototipo

Las pruebas realizadas en el área rural demostraron que el sistema es técnicamente viable, ya que puede operar de manera continua y confiable mediante la transmisión de datos a través de la red celular. Esta conectividad permite el reporte en tiempo real de la lectura de los sensores, garantizando una trazabilidad efectiva durante todo el proceso de producción.

Aceptación por parte de los productores

Los productores respondieron de forma positiva a la implementación del sistema, reconociendo los beneficios de la automatización. Después de una capacitación inicial, fueron capaces de utilizar el prototipo y los sensores de manera eficiente, destacando el ahorro en tiempo y en dinero como un valor añadido significativo. Además, manifestaron su disposición a continuar utilizando la tecnología debido a las mejoras que aportan en su productividad diaria.

Impacto en productividad y calidad del producto final

El sistema demostró un impacto positivo en la productividad de los productores, permitiéndoles controlar variables críticas en el proceso de producción, como temperatura y concentración de sal, de forma automatizada. Esto no sólo optimiza la eficiencia operativa, sino que también mejora la calidad del producto final, asegurando que cada lote cumpla con los estándares establecidos y esté debidamente certificado.

Información en tiempo real para el INALE

Gracias a la implementación de este sistema, el INALE ahora cuenta con la capacidad de monitorear en tiempo real la producción de queso artesanal. Esta herramienta permite al INALE mejorar el control de calidad, conocer la disponibilidad de queso de forma precisa y responder rápidamente a cualquier desviación en el proceso de producción. Además, la información disponible en tiempo real fortalece el respaldo de calidad del producto frente a los consumidores.

A continuación, se detallan las principales conclusiones obtenidas a partir del desarrollo y la prueba del prototipo:

- **Viabilidad técnica:** El proyecto demuestra que es técnicamente factible incorporar un sistema de trazabilidad en áreas rurales que se interconecta en tiempo real mediante la red celular. Este sistema logra reportar las lecturas de los sensores de manera continua durante la producción de cada lote de queso.
- **Capacitación y adopción:** Los productores fueron capaces de adaptarse rápidamente al uso del sistema tras una capacitación adecuada, utilizando tanto el prototipo como los sensores de manera correcta. Esto demuestra que el sistema es fácil de adoptar y que están dispuestos a integrarlo en su operativa diaria.
- **Mejora de productividad:** La automatización de ciertos procesos permitió reducir el tiempo y los costos asociados a la producción, aumentando al mismo tiempo la productividad.
- **Monitoreo en tiempo real para el INALE:** El INALE tiene ahora acceso a información en tiempo real sobre los lotes en producción, lo que le permite realizar un control de calidad continuo y conocer la disponibilidad de queso de forma precisa.
- **Certificación y auditoría:** El sistema demostró que es posible certificar automáticamente cada lote de queso a través de la *blockchain*, lo que asegura un proceso auditable y transparente.

Para avanzar hacia una implementación a mayor escala y mejorar la robustez del sistema se proponen las siguientes recomendaciones:

- Escalabilidad y robustez del prototipo: A partir de este prototipo funcional, se recomienda desarrollar una versión más robusta y escalable que pueda generalizarse a todos los productores.
- Solución definitiva para identificación de lotes: Los códigos QR actuales, impresos en papel y plastificados, permitieron validar el prototipo, pero no son lo suficientemente duraderos. Se sugiere una solución de identificación que sea más confiable y duradera para los lotes de búsqueda de queso.
- Actualización de componentes de sensores: La red de sensores del prototipo fue desarrollada con componentes domésticos. Para una implementación a gran escala, se recomienda utilizar componentes industriales que toleren las condiciones ambientales de humedad y sal en las queserías.
- Rediseño de la experiencia de usuario (UX): El *software* y sus interfaces deben pasar por un proceso de mejora de UX para optimizar la usabilidad del sistema, facilitando su adopción a largo plazo.
- Proveedor de plataforma *blockchain*: La plataforma de *blockchain* actual es una versión de prueba proporcionada por la AGESIC. Para una implementación definitiva, se deberá seleccionar un proveedor adecuado que asegure la operatividad y la estabilidad a largo plazo.
- Formalización de la alianza con la AGESIC: Dada la importancia del respaldo técnico de la Agencia, se recomienda formalizar una alianza que permita asegurar la infraestructura y el soporte necesario para una futura puesta en producción.
- Obtención de aval regulatorio: Dado que el prototipo ha demostrado su viabilidad técnica y operativa, se recomienda buscar el aval de los reguladores para formalizar el sistema como una solución de trazabilidad válida y oficial.

El desarrollo de este prototipo operativo representa un importante avance para el sector de queseros artesanales, proporcionando un sistema de trazabilidad auditable y confiable. Este primer paso demuestra que es posible contar con un sistema automatizado para la certificación de lotes, lo que facilita a los productores artesanales operar y vender con una certificación de calidad reconocida. Recomendamos continuar con la implementación de esta tecnología y realizar las mejoras sugeridas para consolidar un sistema de trazabilidad que respalde la calidad del queso artesanal en el mercado local e internacional.

6 Reflexiones finales y visión a futuro

La implementación de un sistema de trazabilidad en la quesería artesanal tiene como objetivo ir más allá de las expectativas del consumidor, ofreciendo una garantía de calidad y transparencia en cada paso del proceso productivo. La trazabilidad no sólo se presenta como una herramienta técnica, sino como un compromiso de comunicación que responde a las demandas de un mercado cada vez más interesado en el origen y la autenticidad de los productos.

El desarrollo de este sistema de trazabilidad y certificación abre nuevas oportunidades para la quesería artesanal en Uruguay. A medida que evolucione, el sistema podrá expandir su alcance para incluir nuevas tecnologías y responder a las expectativas cambiantes del mercado. La integración de *blockchain* con la Certificación de Buenas Prácticas del INALE y el uso de *storytelling* permitirá ofrecer un producto con un respaldo de calidad y autenticidad de forma completamente digital. Este enfoque de mejora continua, basado en datos y en la narrativa del producto, posiciona a las queserías artesanales en un lugar de privilegio, fortaleciendo su competitividad en un mercado que valora cada vez más la autenticidad, la calidad y la transparencia en el origen de los alimentos.

7. Referencias

Asociación del Queso Artesanal (ADQA), Departamento de Economía (DECON) - Facultad de Ciencias Sociales - Udelar, Departamento de Toxicología (DTOX) - Hospital de Clínicas - Facultad de Medicina - Udelar y Unidad Académica de Costos y Control de Gestión - Facultad de Ciencias Económicas y de Administración - Udelar (2018). *Análisis multidisciplinario y difusión participativa de la introducción del sistema de agua caliente en la elaboración de queso artesanal (marzo 2017 - abril 2018)*. ADQA, DECON, DTOX y Unidad Académica de Costos y Control de Gestión. <https://www.inale.org/proyectos/analisis-multidisciplinario-y-difusion-participativa-de-la-introduccion-del-sistema-de-agua-caliente-en-la-elaboracion-de-queso-artesanal/>

Asociación del Queso Artesanal (ADQA), Facultad de Ingeniería (FING), Instituto Nacional de la Leche (INALE), Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU), Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y Acuerdo Interinstitucional para el Desarrollo de la Quesería Artesanal (AIDQA) (2017). *Desarrollo de la quesería artesanal en Uruguay: proyecto de reconversión de los generadores de vapor irregulares a calderas de agua*

caliente. ADQA, FING, INALE, LATU y MIEM. <https://www.inale.org/wp-content/uploads/2021/04/Proyecto-reconversion-generadores-de-vapor-2017.pdf>

Buterin, V. (2014). *Ethereum white paper: A next-generation smart contract and decentralized application platform*. Ethereum.

Grasso, D. I.; Castillo, A.; Castillo, F., y Castro Blandón, C. (2022). *Casos de uso de blockchain en las cadenas de valor agropecuarias América Latina y el Caribe*. LACNET. <https://lacnet.com/>

Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org>

Topscott, A., y Topscott, D. (2016). *Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin and other cryptocurrencies is changing the world*. Marcial Pons.

Wood, G. (2016). *Polkadot: Vision for a heterogeneous multi-chain framework*. White paper, 21(2327), 4662.

El equipo completo de la AGESIC es:

Tec. Maximiliano Maneiro (subdirector Área Tecnología)

Mag. Alejandro Arancio (gerente División Tecnologías Emergentes e Innovación - Área Tecnología)

Ing. Maximiliano Maldonado (consultor técnico - Arquitectura - Área Tecnología)

Lic. Estefanía Almeyda (consultor técnico - División Tecnologías Emergentes e Innovación - Área Tecnología)

Ing. Mathias Castro (consultor técnico - División Soluciones de TI - Área Operaciones)



Ministerio
**de Ganadería,
Agricultura y Pesca**

Oficina de
Programación y
Política Agropecuaria