

USO DE LA TECNOLOGÍA DE CADENA DE BLOQUES PARA MEJORAR LA TRAZABILIDAD DEL PROCESOS DE MANUFACTURA EN LA INDUSTRIA CERVECERA ARTESANAL

SIRO TAGLIAFERRO

Universidad Metropolitana de Caracas, (Venezuela)
stagliaferro@unimet.edu.ve
0000-0001-7501-3568

CHRISTIAN DE DIEGO

Universidad Metropolitana de Caracas, (Venezuela)
christian.dediego@correo.unimet.edu.ve

CARLOS PAREDES

Universidad Metropolitana de Caracas, (Venezuela)
carlos.paredes@correo.unimet.edu.ve

Resumen

Este estudio evaluó la aplicabilidad de la tecnología *Blockchain*, específicamente la solución *Hyperledger Fabric* integrada con una arquitectura IoT (Internet of things) segura y escalable, como herramienta de ingeniería para mejorar la transparencia y trazabilidad en la cadena de suministro y manufactura de la industria de cerveza artesanal venezolana. Esta implementación, sustentada en un análisis de viabilidad y un estudio de impacto económico, busca ofrecer la certificación inmutable de los datos de fabricación para los consumidores, incrementando la confianza y reduciendo el riesgo de fraude. La propuesta contribuye directamente al ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) al promover la modernización tecnológica y la capacidad industrial mediante la adopción de una infraestructura de datos avanzada; y al ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico), al fortalecer el crecimiento de las PYMES cerveceras con procesos productivos más justos, transparentes y verificables. Además, se obtuvieron una serie de recomendaciones para implementar esta solución y así permitir una mayor confianza

RECIBIDO: 09-07-2025 / ACEPTADO: 13-09-2025 / PUBLICADO: 22-12-2025

Cómo citar: Tagliaferro et al. (2025). Uso de la tecnología de cadena de bloques para mejorar la trazabilidad del procesos de manufactura en la industria cervecera artesanal. *Anales*, 42, 95 - 134. <https://doi.org/10.58479/acbf.2025.70>



y percepción de calidad para los consumidores, el cumplimiento de los procesos productivos y la reducción del riesgo de fraude.

Palabras claves: *Blockchain*, cadena de suministro, fabricación, trazabilidad, transparencia, IoT, Hyperledger Fabric

CONTENIDO

Resumen	95
Introducción	99
Fases de la Investigación	100
Puntos de control que garantizan la trazabilidad de los productos	103
Análisis de adopción de las principales ventajas que ofrece la tecnología	105
Análisis de soluciones <i>Blockchain</i>	108
Tipo de <i>Blockchain</i>	108
Mecanismo de consenso	109
Arquitecturas de integración de <i>Blockchain</i> con IoT	113
Conclusiones	128
Recomendaciones	129
Referencias bibliográficas	129

Introducción

En el sector de bienes de consumo, específicamente en la industria de alimentos y bebidas se ha visto afectada la confianza de los consumidores. Los clientes esperan conocer la procedencia de los productos para garantizar que son seguros, de alta calidad y considerando la aplicación de principios éticos en la producción, asimismo aquellos aspectos relacionados con la sostenibilidad (Verano, 2018).

Actualmente, el consumo de cervezas artesanales dentro de nuestro país ha incrementado durante los últimos años. Sin embargo, también se ha evidenciado un aumento en los casos de adulteración, falsificación e imitación de bebidas alcohólicas, lo que ha provocado diversos cambios en las formas de consumo. Una de ellas es que los compradores revisan de manera minuciosa las etiquetas de los productos, esperando conocer información referente al origen y proceso productivo (García, 2020).

En la actualidad, la industria cervecera está tomando un nuevo rumbo, la cerveza artesanal tiene un potencial grande y tentador, la gran versatilidad que dan las fórmulas, permite que se proponga sabores distintos e innovadores debido a los diversos ingredientes (Calvillo, 2017).

En la búsqueda por evitar las falsificaciones, las nuevas tecnologías, como lo es la cadena de bloques (*Blockchain*), se ha convertido en una herramienta eficaz para combatirlas. *Blockchain* es la tecnología detrás de *Bitcoin*, desde 2008 se ha implementado en el sector financiero en multitud de proyectos, sin embargo, el salto al resto de sectores como a las cadenas de suministro ha sucedido más recientemente (Calvo, 2018).

El grado de descentralización, inmutabilidad, visibilidad y transparencia de los datos que proporciona la tecnología de cadena de bloques permite proteger las identidades digitales y establecer la autenticidad. El uso de *Blockchain*, junto a otras tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) y las etiquetas RFID permiten garantizar la trazabilidad de los productos dentro de cualquier etapa de una cadena de suministro.

Basado en esto, con la presente investigación se busca dar a conocer una solución redonda al problema de la falta de confianza en los consumidores a causa de la falsificación de productos, mediante la aplicación de la tecnología de cadena de bloques en el proceso de manufactura, utilizando como caso práctico la industria de cerveza artesanal, para así determinar los materiales y las herramientas necesarias para su correcto funcionamiento

Fases de la Investigación

Descripción De Las Empresas Analizadas Cervecería Social Club

Cervecería Social Club es una microcervecería ubicada en Sebuacán, Miranda, Venezuela. Su estrategia de ventas se basa en el consumo social dentro de sus instalaciones y bajo contrataciones para eventos. La planta de producción es de un solo nivel y de aproximadamente 28 metros cuadrados.

La empresa cuenta con un solo bloque de producción, conformado por varios tanques, un molino y un intercambiador de calor.

El proceso productivo se divide en 7 fases:

- Selección de la materia prima: La empresa utiliza únicamente materia prima importada, excepto el agua, que se obtiene de manantiales naturales.
- Molienda de la malta y preparación del agua: La malta se tritura sin pulverizar la cáscara, y el agua se calienta hasta la ebullición.
- Maceración: La malta triturada se mezcla con agua caliente para convertir el almidón en azúcares.
- Filtrado y agotamiento: El mosto se filtra para separarlo del bagazo, que es un residuo sólido.
- Cocción: El mosto se hierve con lúpulos para darle amargor y sabor a la cerveza.
- Fermentación: El mosto se enfría y se le agrega levadura, que fermenta los azúcares para producir alcohol y CO₂.

Envasado: La cerveza se envasa en botellas, latas o sifones.

La empresa cuenta con tecnología de PLC para controlar de manera automática las temperaturas de los tanques. Esto permite mantener márgenes de error bajos y garantizar la calidad de la cerveza.

Cervecería Norte del Sur

Cervecería Norte del Sur es una microcervecería ubicada en El Hatillo, Miranda, Venezuela. La planta de producción es de un solo nivel y tiene un espacio de aproximadamente 70 metros cuadrados. La planta está dividida en dos líneas: una de prueba (cocina) y otra de producción (planta). Ambas líneas trabajan de la misma manera, pero a escalas diferentes.

El proceso productivo de Cervecería Norte del Sur se divide en dos partes:

- Parte fría: recepción de la materia prima, molienda de malta, fermentación y maduración, envasado.
- Parte caliente: maceración, filtrado y cocción del mosto.

El proceso productivo se puede describir de la siguiente manera:

- Recepción de la materia prima: La materia prima utilizada es una mezcla de productos nacionales e importados. La malta es una mezcla de nacional e importado, el agua es nacional pero tratada con componentes importados y la levadura junto con el lúpulo son de origen importado en su totalidad.
- Molienda de la malta: La malta se tritura sin pulverizar la cáscara.
- Maceración: La malta triturada se mezcla con agua caliente para convertir el almidón en azúcares.
- Filtrado del mosto: El mosto se filtra para separarlo del bagazo, que es un residuo sólido.
- Cocción: El mosto se hierve con lúpulos para darle amargor y sabor a la cerveza.
- Fermentación: El mosto se enfría y se le agrega levadura, que fermenta los azúcares para producir alcohol y CO₂.
- Maduración: La cerveza se deja reposar a bajas temperaturas para eliminar las proteínas y compuestos innecesarios.
- Envasado: La cerveza se envasa en sifones y botellas de vidrio.

La capacidad productiva de la cervecería es de 2 mil litros de cerveza por lote de producción, con una frecuencia de 4 lotes semanales bajo un nivel de eficiencia de 89% aproximadamente.

Cervecería La Esquina

La Cervecería La Esquina es una microcervecería ubicada en El Hatillo, Miranda, Venezuela. La planta de producción es de aproximadamente 15 metros cuadrados y de un solo nivel. La planta tiene una capacidad productiva de 800 litros por lote, y una frecuencia de entre 2 y 4 lotes por semana dependiendo de la demanda.

El proceso de producción se divide en las siguientes fases:

- Recepción de materia prima: La materia prima utilizada es una mezcla de ingredientes nacionales e importados. Los ingredientes recibidos son agua, malta, lúpulos y levadura.
- Molienda de la malta: Los granos de malta son triturados mediante los rodillos de un molino.
- Maceración: La malta triturada se mezcla con agua caliente para convertir el almidón en azúcares.
- Filtrado del mosto: El mosto se filtra para separarlo del bagazo.
- Cocción: El mosto se hierve con lúpulos para darle amargor y sabor a la cerveza.
- Fermentación: El mosto se enfría y se le agrega levadura, que fermenta los azúcares para producir alcohol y CO₂.
- Maduración: La cerveza se deja reposar a bajas temperaturas para eliminar los residuos sólidos.
- Envasado: La cerveza se envasa en sifones o botellas de vidrio.

La tecnología utilizada en Cervecería La Esquina es paupérrima, no utiliza software ni hardware PLC, ni algún tipo de programable.

Como se puede detallar, los procesos productivos de las tres empresas visitadas, es idéntico, cambiando únicamente las magnitudes de las variables y la terminología de los equipos usados, por ende, se puede resumir el proceso productivo de la cerveza artesanal mediante el diagrama de bloques mostrado en la figura 1.

Figura 1. Diagrama de bloques del proceso productivo de la cerveza artesanal.



Fuente: elaboración propia (2022).

Teniendo ya una referencia gráfica del proceso, podemos determinar las variables presentes en cada una de las fases del proceso. La tabla 1 resume cada etapa con las variables presentes en cada una de ellas

Tabla 1. Etapas y variables del proceso productivo de las empresas analizadas.

Variables/ Etapas	Molienda	Maceración	Filtrado del mosto	Cocción	Fermentación y maduración	Envasado
Volumen						
Peso						
Humedad						
Tamaño de grano						
PH						
Temperatura						
Tiempo						
Densidad						
Sales presentes						
Levadura (células por ml)						

Fuente: elaboración propia (2022)

Puntos de control que garantizan la trazabilidad de los productos

Para determinar los puntos de control que permiten garantizar la trazabilidad de los productos se tomaron en cuenta las variables críticas que se encuentran en cada etapa de producción. Cuando estas variables se encuentran fuera de sus condiciones normales se causa un descontrol en el proceso completo, influyendo directamente en la producción y calidad de los productos obtenidos.

La tabla 2 resume las etapas de producción y variables adecuadas para garantizar la trazabilidad de los productos. Como fue determinado en las empresas analizadas, los procesos productivos de las tres empresas son idénticos, a excepción de los valores de cada variable, por lo tanto, para este caso se tomarán como referencia los valores obtenidos en la visita de Cervecería Norte del Sur.

Tabla 2. Puntos de control que permiten garantizar la trazabilidad de los productos.

Etapas	Variable	Valores
Molienda	Humedad	3% - 10%
Maceración	Temperatura	63°C - 70°C
Filtrado del mosto	Densidad	≈ 1.090 g/ml
Cocción	PH	4.3 - 5.2
Fermentación y maduración	Temperatura	Cerveza Lager (5°C - 10°C) Cerveza Ale (17°C - 19°C)
Envasado	Volumen / Fecha de envasado y expedición	-

Fuente: elaboración propia (2022)

El control de calidad es un proceso sistemático que se utiliza para asegurar que un producto o servicio cumpla con los requisitos establecidos. En el caso del proceso de elaboración de cerveza, el control de calidad es fundamental para garantizar que el producto final tenga las características deseadas en cuanto a sabor, aroma, color y estabilidad.

Estas variables de la producción de cerveza son:

- En la molienda: la humedad, para garantizar la calidad de la harina que se obtendrá y predecir el grado de trituración.
- En la maceración: la temperatura, para garantizar que se desarrollen los procesos enzimáticos y bioquímicos necesarios para obtener los azúcares contenidos en el almidón de la malta.
- En el filtrado del mosto: la densidad, para garantizar la pureza del mosto y la extracción de las propiedades del residuo.
- En la cocción: el pH y la temperatura, para garantizar la solubilidad de los compuestos y evitar la liberación de taninos.

- En la fermentación y maduración: la temperatura, para garantizar la estabilidad de la cerveza, el asentamiento de los sabores y el grado alcohólico, y la precipitación de los residuos sólidos.

Además existen tres etapas del proceso productivo con gran potencial para la colocación de puntos de control de calidad:

- Al culminar la molienda: para verificar la calidad de la trituración de las cáscaras de malta.
- Al culminar el filtrado del mosto: para verificar la pureza del mosto.
- Al culminar la fermentación y maduración: para verificar que las temperaturas usadas fueron las correctas y que las propiedades de la materia prima fueron extraídas al máximo.

La implementación de puntos de control de calidad en el proceso de elaboración de cerveza permite garantizar que el producto final cumpla con los requisitos establecidos y que sea de la más alta calidad.

Análisis de adopción de las principales ventajas que ofrece la tecnología

Blockchain

La tabla 3, resume cinco de las principales ventajas que se obtienen al implementar la tecnología *Blockchain*, se analizará si se adoptaran y agregaran valor estas ventajas al realizar la implementación en el proceso de manufactura de la industria cervecera artesanal.

Tabla 3. Análisis de adopción de las principales ventajas que ofrece Blockchain

Ventaja del Blockchain	Descripción	Justificación
Múltiples participantes	Proceso que tengan a varios involucrados que deban interactuar entre sí y se busque realizar de una manera segura y confiable.	Al aplicar <i>Blockchain</i> a la manufactura, se permitirá realizar de manera segura el registro de datos por distintos participantes del proceso. (Encargados de cada etapa productiva y maestro cervecero).
Inmutabilidad de los datos	<i>Blockchain</i> no permite la manipulación, reemplazo o falsificación de los datos almacenados en la red.	Se busca aumentar la confianza de los consumidores. Con <i>Blockchain</i> se tendría un registro de datos que garantice la no manipulación de los datos.
Integridad de los datos	<i>Blockchain</i> garantiza la exactitud de los datos transportados o almacenados.	Los datos que se encuentren en la red no serán vulnerables a su posterior modificación. El registro de datos manuales o mediante sensores se almacenarán con exactitud y sin poder ser modificados.
Trazabilidad instantánea	<i>Blockchain</i> crea una pista de auditoría que documenta la procedencia de un activo en cada paso de su recorrido (IBM, s/f).	Utilizar <i>Blockchain</i> en manufactura permitirá compartir la trazabilidad del proceso directamente con los clientes.
Integración con IoT	<i>Blockchain</i> permitirá la creación de redes más seguras, en las que los dispositivos IoT se interconectan de forma confiable.	Con el uso de <i>Blockchain</i> se podría registrar toda la información de sensores mediante IoT.

Fuente: elaboración propia (2022)

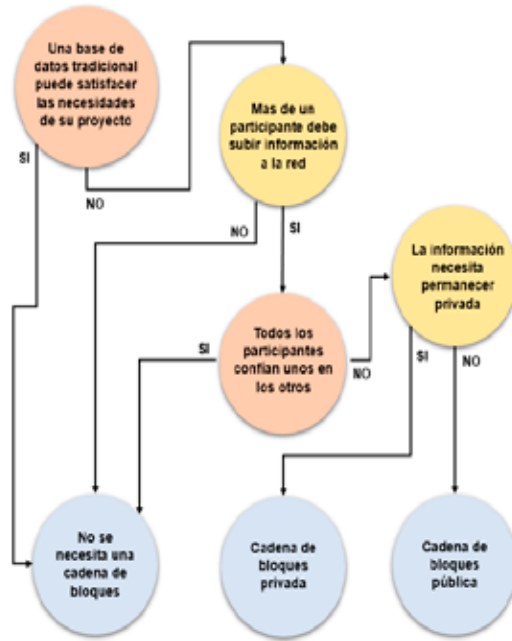
Se puede determinar que al aplicar *Blockchain* al proceso de manufactura, se adoptarán y agregan valor las principales ventajas que aporta este tipo de base de datos.

Diagrama de flujo para evaluar el tipo de *Blockchain* a utilizar

Los diagramas de flujo de flujo se identificaron como la metodología básica que la mayoría de los estudios utilizaron para ayudar a tomar decisiones del tipo de *Blockchain* a utilizar en sus intentos de adoptar la tecnología en contextos comerciales e industriales.

La figura 2 muestra el diagrama de flujo que ayudará a diferenciar entre tres opciones de decisión: cadenas de bloques privada o pública.

Figura 2. Diagrama de flujo para determinar el tipo de *blockchain* (público o privado)



Fuente: elaboración propia (2022)

En principio, como fue mencionado en el apartado anterior se puede establecer que se busca otorgar un nivel de confianza extra en la red que no lo otorgaría una base de datos tradicional, por lo tanto, consideramos que no sería suficiente para cubrir con las necesidades del proyecto.

Siguiendo el flujograma, establecemos que más de un participante debe subir información a la red (encargados de procesos, maestro cervecero), y consideramos que no confían uno de los otros para así otorgar un nivel de confianza extra en la red. Tomando en cuenta que la información debe permanecer privada, finalmente, se determina que la *Blockchain* a utilizar debe ser privada.

Análisis de soluciones *Blockchain*

Actualmente hay distintas plataformas que permiten crear proyectos y soluciones basadas en *Blockchain*. Cuando se va a crear dicha solución es importante determinar cuál es la plataforma más conveniente para utilizar, por lo tanto, se decidió realizar un análisis comparativo de las principales plataformas.

Para analizar estas plataformas se establecieron distintos criterios de comparación (tipo de *Blockchain*, mecanismo de consenso, lenguaje de programación, contratos inteligentes, licencia, costo de licencia, costo de transacción y consumo de energía) con el objetivo de determinar cuál es la plataforma *Blockchain* es la más adecuada para ser utilizada en la propuesta de implementación. A continuación, se presenta el análisis realizado.

Tipo de *Blockchain*

En principio, en la tabla 4 se analizará el tipo de *Blockchain*, para así determinar quién puede ejecutar un nodo dentro de la red.

Tabla 4. Tipo de *Blockchain*

Plataforma	Pública	Privada
<i>Bitcoin</i>		
<i>Ethereum</i>		
<i>Corda</i>		
<i>Hyperledger Fabric</i>		
<i>Multichain</i>		
<i>Quorum</i>		
<i>Polygon</i>		

Fuente: elaboración propia (2022).

Bitcoin, Ethereum, Corda y Polygon son cadenas de bloques públicas, en donde cualquiera puede ejecutar un nodo en la red, en algunos sistemas, pueden hacerlo de forma anónima y nadie sabe con certeza quién lo está ejecutando.

Por el contrario, *Hyperledger Fabric, Multichain y Quorum*, son cadenas de bloques privadas, restringiendo la membresía a solo entidades conocidas y creando diferentes niveles de acceso a los datos en el sistema.

Mecanismo de consenso

Existen diferentes tipos de mecanismos de consenso que trabajan para cumplir objetivos similares, garantizar la seguridad y la integridad de la red que apoyan. A continuación, en la tabla 5 se presentan los mecanismos de consenso utilizados por cada plataforma *Blockchain* analizada.

Tabla 5. Mecanismo de consenso.

Plataforma	Algoritmo de consenso
<i>Bitcoin</i>	<i>Proof of work (PoW)</i>
<i>Ethereum</i>	<i>Proof of Work (PoW)</i>
<i>Corda</i>	<i>Single Notary, Raft</i>
<i>Hyperledger Fabric</i>	<i>Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) / Proof of Authority (PoA)</i>
<i>Multichain</i>	Similar a <i>Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)</i>
<i>Quorum</i>	<i>IBFT</i>
<i>Polygon</i>	<i>Proof of Stake (PoS)</i>

Fuente: elaboración propia (2022).

El mecanismo de consenso a elegir depende de los requerimientos del sistema y de los objetivos que se busque alcanzar con la *Blockchain*.

Contratos Inteligentes

La mayoría de las plataformas *Blockchain* no brindaban la capacidad adicional de ejecutar acciones lógicas. A medida que evolucionaron los sistemas, la capacidad de permitir que los participantes en la red puedan automatizar acciones se convirtió en una característica común (*Mercy Corps*, 2019). La tabla 6 muestra que sistema admite contratos inteligentes y los lenguajes de programación compatibles:

Tabla 6. Uso de contrato inteligente y lenguaje de programación.

Plataforma	Permite el uso de contratos inteligentes	Lenguaje de programación del contrato inteligente
<i>Bitcoin</i>	NO	N/A
<i>Ethereum</i>	SI	<i>Solidity, Vyper</i>
<i>Corda</i>	SI	<i>Java, Kotlin</i>
<i>Hyperledger Fabric</i>	SI	<i>Go, Node.js, Java</i>
<i>Multichain</i>	NO	N/A
<i>Quorum</i>	SI	<i>Solidity, Vyper</i>
<i>Polygon</i>	SI	<i>Solidity, Vyper</i>

Fuente: elaboración propia (2022).

Ethereum, *Corda*, *Hyperledger Fabric*, *Quórum* y *Polygon* son las plataformas *Blockchain* que permiten ejecutar contratos inteligentes en al menos dos opciones de lenguaje de programación diferentes. Por el contrario, *Bitcoin* y *Multichain* no permiten la ejecución de contratos inteligentes.

Licencia

La tabla 7 muestra las licencias relacionadas con cada una de las plataformas del análisis.

Tabla 7. Licencia.

Plataforma	Licencia
<i>Bitcoin</i>	<i>MIT License</i>
<i>Ethereum</i>	<i>GPLv3</i>
<i>Corda</i>	<i>Apache 2.0</i>
<i>Hyperledger Fabric</i>	<i>Apache 2.0</i>
<i>Multichain</i>	<i>GPLv3</i>
<i>Quorum</i>	<i>GPLv3</i>
<i>Polygon</i>	<i>Apache 2.0</i>

Fuente: elaboración propia (2022).

En términos generales, las licencias *MIT* y las licencias de *Apache* son más permisivas que la familia de licencias *GPL* y muestran una compatibilidad más amplia. (*Mercy Corps*, 2019).

La mayoría de las plataformas analizadas son de código abierto, es decir, no incurren en tarifas de licencia, a excepción de *Corda* y *Multichain* que tienen una versión de código abierto y una versión paga.

Por lo general, las plataformas *Blockchain* públicas generan un costo por transacción realizada en la red, por ejemplo, en el caso de *Bitcoin* y *Ethereum*, generan un costo por transacción de 0.39\$ y 0.18\$ respectivamente. Por el contrario, las plataformas privadas como *Hyperledger Fabric*, *Multichain* y *Quórum* no generan costos por transacción.

Luego de estudiar la arquitectura técnica y el conjunto de características de cada plataforma *Blockchain*, se puede establecer que estos sistemas son muy competitivos.

Todas las plataformas brindan una amplia flexibilidad a los administradores en la selección de los lenguajes de programación, destacando a Go, Java y Python como las opciones más comunes.

En cuanto a las licencias, se determinó que las MIT y las Apache son más permisivas y compatibles que la familia de licencias GPL. Todas las plataformas proporcionan licencias de código abierto, a excepción de *Multichain* y *Corda* que ofrecen una licencia dual.

En términos de costo de transacción, las plataformas privadas son las que tienen mejores resultados, debido a que no generan costos asociados. Por otra parte, todas las plataformas generan un consumo bajo de energía a excepción de *Bitcoin* y *Ethereum*, debido a su mecanismo de consenso *PoW* y *PoS*.

Para la elección de la plataforma *Blockchain*, principalmente se debe considerar una plataforma privada, en base al diagrama de flujo analizado previamente, por lo tanto, se descarta *Bitcoin*, *Ethereum*, *Corda* y *Polygon*.

En base a los aspectos estudiados y por ser una de las aplicaciones pioneras, más reconocida, fácilmente accesible, no incurre en costos por transacción, conveniente en términos de licencia, consumo de energía, lenguaje de programación; y otros aspectos relacionados, se propone el uso de *Hyperledger Fabric* como solución proveedora para crear una aplicación descentralizada basada en *Blockchain*.

La tabla 8 proporciona un resumen de todas las características que fueron analizadas para la solución propuesta.

Tabla 8. Características de la solución Blockchain propuesta: Hyperledger fabric.

Hyperledger Fabric	
Tipo de <i>Blockchain</i>	Privado
Mecanismo de consenso	<i>Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) / Proof of Authority (PoA)</i>
Lenguaje de programación	<i>Java, Java Script, Python, Go</i>
Contrato inteligente	Si
Lenguaje de programación del contrato inteligente	<i>Go, Node.js, Java</i>
Licencia	<i>Apache Versión 2.0</i>
Costo de Licencia	N/A
Costo de transacción	N/A
Consumo de energía	Bajo

Fuente: elaboración propia (2022).

Arquitecturas de integración de Blockchain con IoT

Se realizó una investigación detallada sistemas de sistemas *Blockchain* construidos sobre una arquitectura IoT segura, modular y fácilmente escalable e implementable para el registro de los datos de fabricación, compatible con los entornos industriales actuales y con el presente caso de estudio, el proceso de manufactura de la industria cervecera artesanal.

En base a la investigación, se analizarán sus arquitecturas, detallando los materiales, herramientas y recursos humanos necesarios para proponer un modelo de implementación en el proceso de manufactura de las fábricas analizadas.

La investigación de las arquitecturas propuesta debe tener las siguientes características:

- Aplicabilidad al proceso de manufactura de la industria cervecera artesanal en base a los requerimientos buscados. Descripción detallada de los materiales y herramientas.
- Explicación detallada del funcionamiento de la arquitectura.
- Preferiblemente, se busca que la arquitectura esté realizada en base a un proceso de manufactura.

La tabla 9 muestra las investigaciones de arquitecturas de *Blockchain* y IoT propuestas que cumplen con los aspectos mencionados y, por ende, podrían ser utilizadas como referencia para el modelo de implementación del presente documento, en base a las características descritas. En la tabla se muestra una matriz de decisión en base a los factores mencionados anteriormente, para determinar cuál arquitectura será tomada como referencia.

Tabla 9. Matriz de decisión de propuestas de arquitecturas Blockchain & IoT

Investigación/ Criterios de selección	La arquitectura propuesta podría ser utilizada para la presente investigación	La investigación explica a detalle el funcionamiento de la arquitectura.	La investigación detalla las herramientas y materiales utilizados en la arquitectura.	La arquitectura presentada está realizada en base a un proceso de manufactura.
<i>Design and Implementation of an Integrated IoT Blockchain Platform for Sensing Data Integrity (Hang et al. 2022).</i>	SI	SI	SI	NO
<i>A Review of Blockchain in the Internet of Things (Atlam et al. 2022)</i>	SI	SI	SI	NO
<i>Blockchain application for security of data from the internet of things (Reyes, 2018).</i>	SI	SI	SI	NO
<i>High-performance Blockchain system for fast certification of manufacturing data (Costa, et. al. 2022).</i>	SI	SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia (202)

Descripción de la arquitectura propuesta

Costa, D., Teixeira, M., Pinto, et al. 2022, en su artículo de investigación proponen un sistema *Blockchain* de alto rendimiento para una certificación rápida de los datos de fabricación. Afirman que el sistema propuesto permite aumentar la seguridad, la confianza y la transparencia a lo largo de la cadena de valor durante el seguimiento de productos y procesos.

A continuación, se describe y explica a detalle la arquitectura propuesta.

Capas de la arquitectura

La arquitectura se divide en una plataforma de cuatro capas:

- Capa de detección de campo.
- Capa de *Blockchain* y almacenamiento.
- Capa de red y seguridad.
- Capa de usuario.

Cada una de las capas trabaja independientemente una de la otra. La comunicación entre capas se realiza a través de API (*application programming interface*). Las API se pueden agrupar de tres maneras:

Capa de detección de campo

La capa de detección de campo es el nivel más bajo de la red y el que tiene mayor abstracción de usuarios, debido a que los usuarios finales no tienen acceso inmediato a los detalles relacionados con esta capa. Se ocupa específicamente de la recopilación de datos desde el campo utilizando sensores y dispositivos de identificación, donde se recopila información sobre el producto, el proceso, la identificación y la localización, lo que permite una trazabilidad completa.

Capa de *Blockchain* y almacenamiento

Esta capa consta de dos funciones primordiales para el funcionamiento de la arquitectura:

1. Validación de datos por parte de los *Nodos mineros*.
2. Almacenamiento de los datos validados.

Cabe destacar que la red no es rígida, en el sentido de que debe ser capaz de eliminar o desplegar nuevos nodos, ajustando la arquitectura a las necesidades actuales de la empresa.

Capa de red y seguridad

La capa de red y seguridad involucra todas las tecnologías subyacentes que se refieren al funcionamiento seguro de la red, como la implementación de herramientas de criptografía, el cifrado de transacciones y los mecanismos de validación de la cadena de bloques para la creación y aprobación de nuevos bloques.

Capa de usuario

En esta capa, los usuarios validados tienen acceso a los registros recopilados los cuales se reciben constantemente de las API. Se consideran dos tipos de permisos de usuario, cada uno representa una versión diferente de la interfaz, los permisos privados y los permisos públicos.

Los permisos privados solo se otorgan a los usuarios internos, que tienen un mayor nivel de acceso a la información almacenada en la red. Los permisos públicos se entregan a usuarios externos, como proveedores y consumidores finales.

- Sensores/Puertas de enlace (*Sensor/Gateway*) .
- Campo/Cadena de bloques (*Field/Blockchain*).
- Cadena de bloques/Usuario (*Blockchain/User*).

Características de los Nodos

Los nodos de red pueden cumplir dos funciones, responsabilidades administrativas o minería de bloques. Los nodos de minería son responsables de crear bloques (mineros) y se pueden implementar en múltiples etapas de una línea de producción, departamentos, fábricas o incluso organizaciones.

A medida que aumenta el número de nodos de minería, también aumenta la confianza general de la red, debido a que existen más entidades para validar y compartir el libro mayor común. Por otra parte, los nodos de administrador están reservados para la entidad que fundamentalmente tiene poder sobre la red. A continuación, se describen las características de los nodos:

1. Responsabilidades administrativas: Las principales funciones desempeñadas por el Administrador de Blockchain incluyen la gestión del flujo de mensajes entre las diversas capas y nodos y validar el acceso de los usuarios a la red. El nodo administrador puede realizar tareas como la inscripción de un nuevo nodo de minería o puerta de enlace en la red.
2. Minería de bloques: Son responsables de crear nuevos bloques de datos, de acuerdo con las reglas implementadas en la red.

El algoritmo de consenso de blockchain prueba de trabajo (PoW), se consideró para su aplicación en la arquitectura propuesta, sin embargo, considerando la naturaleza autorizada de la red y la compensación ofrecida entre rendimiento y seguridad no es ventajosa, por lo tanto, los bloques se aprueban de acuerdo con el algoritmo de consenso de prueba de autoridad (PoA), aprovechando el alto nivel de confianza establecido que inherentemente se puede encontrar en una red privada autorizada y produciendo un rendimiento de datos mucho mayor.

API implementadas

El conjunto creado de API se clasifica según las capas para las que sirven como interfaz.

Sensor/puerta de enlace

Se utiliza solo para el transporte de datos entre IoT y dispositivos de detección con capacidades inalámbricas y las *puertas de enlace*.

Campo/Blockchain

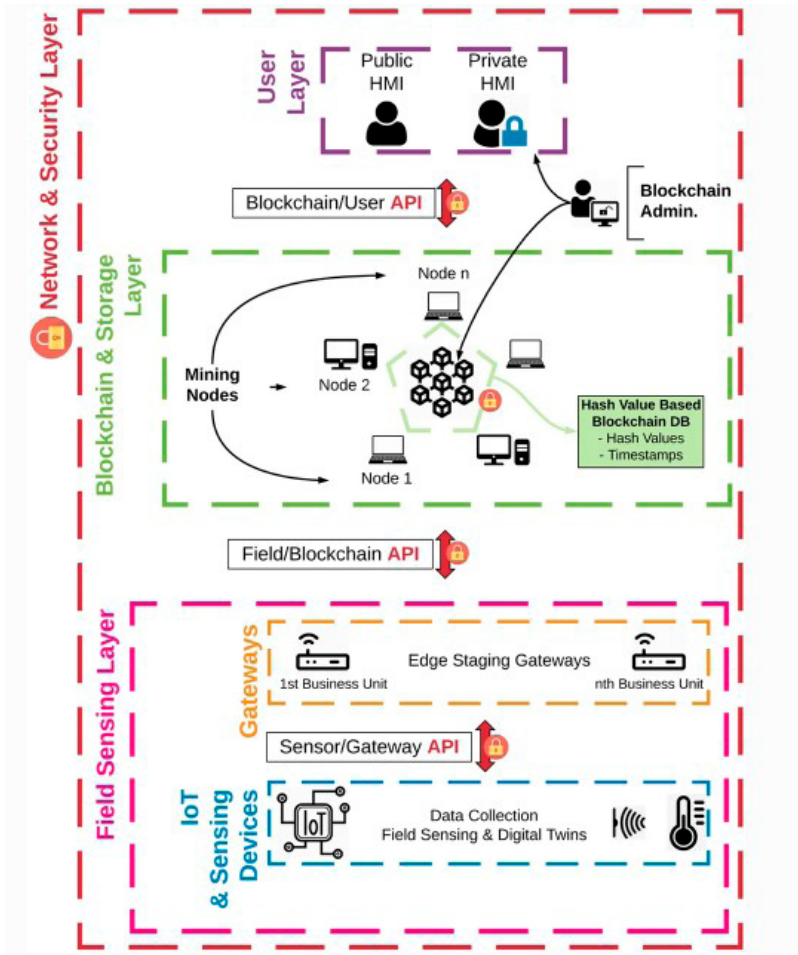
Las API que actúan sobre este grupo son responsables de mantener la funcionalidad de la cadena de bloques. Las puertas de enlace deben enviar valores de carga útil a los nodos de minería, iniciando el procedimiento de minería de bloques. El administrador de *Blockchain* enviará una solicitud de minería y esperará la confirmación de los nodos restantes de la red. En caso de que un bloque no sea aceptado por los nodos se devuelve una respuesta de error.

Blockchain/usuario

Este grupo de API permite a los usuarios controlar y recuperar información de la red *Blockchain*.

En la figura 3, se ilustran las capas y API de la arquitectura.

Figura 3. Capas de la arquitectura propuesta por Costa, et al. (2022)



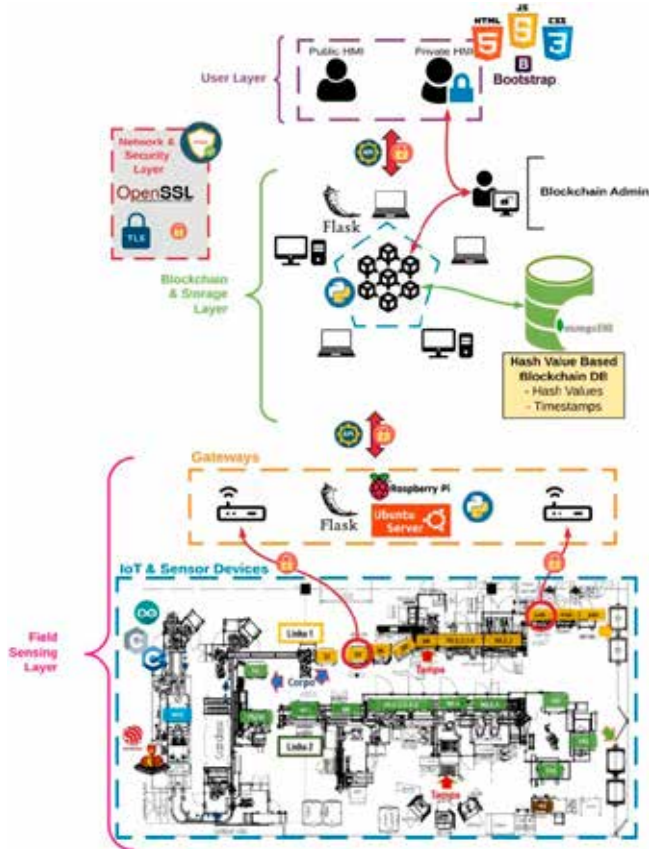
Fuente: Costa, et. al. Sistema *Blockchain* de alto rendimiento para una certificación rápida de los datos de fabricación (2022).

Lista potencial de equipos básicos a utilizar y sus características

Luego de estudiar el funcionamiento de la tecnología de cadena de bloques y las arquitecturas existentes que pueden ser aplicadas en la propuesta de implementación de la presente investigación, se procede a detallar los materiales, herramientas y recursos humanos necesarios para la implementación.

Siguiendo con el esquema de la implementación estudiada se analiza los equipos a utilizar en las capas de detección de campo y la capa de *Blockchain* y almacenamiento. Una amplia gama de tecnologías fueron utilizadas tanto en términos de hardware como de soluciones de software. A continuación, en la figura 4 se muestra la descripción de la arquitectura propuesta por Costa, et. al. (2022) donde se detalla distintos componentes utilizados.

Figura 4. Hardware y software utilizado en la arquitectura propuesta por Costa, et. al. (2022).



Fuente: Costa, et. al. Sistema *Blockchain* de alto rendimiento para una certificación rápida de los datos de fabricación (2022).

En la figura 6 se destaca que los componentes utilizados en la capa de detección de campo, está conformado por Arduino ESP32 que se conectan a los sensores y se transmite a una Raspberry PI, que funciona como puerta de enlace; y a través de las API se transmite la información a la red *Blockchain* y posteriormente a la capa de usuarios.

A continuación, se describen los componentes necesarios para ser utilizados en la capa de detección de campo.

1. Detección de campo

En principio, será necesario medir cada una de las variables involucradas en las etapas productivas, las cuales fueron determinadas en apartados anteriores. Estas variables se resumen en la tabla 11.

Tabla 11. Variables para medir en cada etapa de producción.

Etapa de producción	Variable para medir
Molienda	Humedad
Maceración	Temperatura
Filtrado del mosto	Densidad
Cocción	PH
Fermentación y maduración	Temperatura

Fuente: elaboración propia (2022).

El registro de estas variables será tomado con los sensores presentes en la planta productiva y estos deben ser conectados a un PLC que maneje 6 señales analógicas, por lo tanto, se propone el uso del PLC Schneider *Electric* SR3B262BD. Con respecto a las etapas de certificación de la calidad es necesario el uso de un lector RFID de tarjeta sin contacto.

Estos elementos deben ser conectados a un microcontrolador ESP32, el cual transmitirá la información a una Raspberry PI Modelo B, con 1Gb de memoria y un sistema operativo *Ubuntu Server* 18.04 LTS, el cual funcionará como puerta de enlace para transmitir la información a la red Blockchain mediante la API.

En resumen, en la capa de detección de campo será necesario:

- PLC Schneider *Electric* SR3B262BD.
- Lectores de tarjeta RFID sin contacto para cada etapa de certificación de la calidad.
- Microcontrolador ESP32.
- *Raspberry* PI Modelo B.

Cabe destacar que, para el funcionamiento de las capas, es necesario contar en todo momento con una conexión a internet.

2.Red Blockchain

Para el entorno de desarrollo para la red Blockchain IoT, toda la programación, configuración de la red, las API y cualquier aspecto relacionado se propone el uso de un CPU o laptop con procesador Intel Core i5-8500 @ 3.00 GHz, 16 Gb de memoria RAM con sistema operativo Ubuntu Linux 18.04.1 LTS. Por otra parte, como fue mencionado anteriormente, se propone el uso de la solución *Blockchain Hyperledger fabric*.

Con respecto a la red de nodos, como se estudió anteriormente, para crear una red *Blockchain* se necesita más de una máquina para que la solución planteada sea una red distribuida, por lo cual, se tomará como referencia la red de nodos implementada por Reyes (2018) en la arquitectura propuesta de su investigación titulada “Aplicación de *Blockchain* para la seguridad de los datos del IoT”, donde propone configurar una red descentralizada con tres máquinas virtuales, considerando Google Cloud es una buena alternativa para trabajar debido al buen servicio que ofrecen. Se recomienda que las características de las máquinas virtuales cumplan con las siguientes características: vCPU *Intel Haswell*, 3,75 GB de memoria, 80 GB de disco duro y Sistema operativo Ubuntu 16.04 LTS ADM Xenial. Además, se recomienda el uso del algoritmo de consenso *Proof of Authority*, en vista de su factibilidad en la arquitectura propuesta por *Costa et al. (2022)*.

En resumen, para la red *Blockchain* será necesario

- Una CPU para la programación y el entorno de desarrollo para red *Blockchain* IoT.
- Solución de *Blockchain Hyperledger Fabric*
- Red de nodos conformada por 3 máquinas virtuales, utilizando Google Cloud como proveedor del servicio.

Modelo de implementación

La implementación de *Blockchain* en la industria cervecera artesanal permitiría mejorar la trazabilidad del proceso de manufactura, lo que contribuiría a reducir la falsificación y adulteración de los productos.

La solución propuesta consta de dos interfaces:

- Interfaz para consumidores: Los consumidores pueden escanear un código QR en la botella de cerveza para visualizar la información del proceso de manufactura. La información mostrada dependerá de la empresa.
- Interfaz para participantes del proceso: Los participantes del proceso pueden introducir registros en la cadena de bloques, como la información de la materia prima o los resultados de las pruebas de calidad.

La base de datos distribuida donde se almacenan los registros es una Blockchain privada, lo que permite gestionar los permisos de los nodos.

Para implementar esta solución, es necesario contar con un conjunto de expertos en programación y automatización.

Un consumidor escanea el código QR en una botella de cerveza. La aplicación móvil muestra la siguiente información:

- Fecha de envasado
- Cervecería
- Tipo de cerveza
- Ingredientes
- Proceso de manufactura
- Pruebas de calidad

El consumidor puede verificar la información de la cadena de bloques para asegurarse de que es correcta.

Ejemplo de funcionamiento

Los datos serán registrados por lote de producción, por lo tanto, todas las cervezas pertenecientes a ese lote de producción tendrán la misma información y se registrará en el orden y el instante en que se está realizando cada etapa de producción.

Registro de datos: Materia prima

Figura 5. Diagrama de bloques. Registro de datos: Materia prima.



Fuente: elaboración propia (2022).

En la etapa de selección de materia prima el encargado del área utilizando la interfaz de participante de proceso ingresará los datos referentes a la materia prima a utilizar, para subirlas a la red *Blockchain*. Ejemplo: Lúpulo *Mosaic* | Marca *Cryo Hops* | *Alpha* 22.1% | *Beta* 6.5% | *Total Oil* 1.9%.

Registro de datos: Molienda de la malta

Figura 6. Diagrama de bloques. Registro de datos: Molienda de la malta.

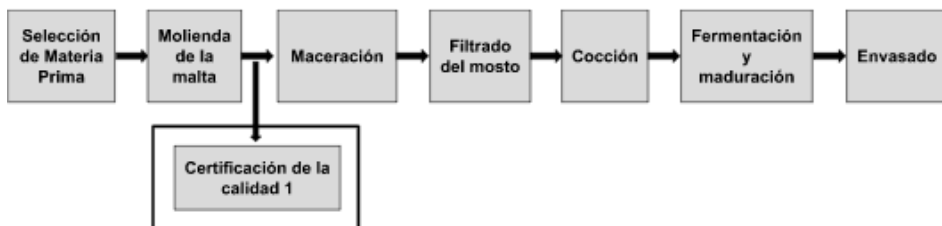


Fuente: elaboración propia (2022).

En este proceso, se hará el registro de los datos de humedad tomando como referencia el siguiente criterio: porcentaje de humedad, tomando como referencia valores en el rango de 3% a 10%. El registro de los datos se realizará mediante un sensor de humedad y se guardará la información en la red. Ejemplo: Malta *Pilsen* | 4% humedad.

Proceso de certificación de Calidad 1

Figura 7. Diagrama de bloques. Registro de datos: Certificación de la calidad 1.



Fuente: elaboración propia (2022).

En el proceso de certificación de la calidad 1 el maestro cervecero validará que el nivel de pulverización de las cáscaras sea el correcto. Si cumple con los requisitos de calidad, hará la certificación mediante un sensor RFID, el cual subirá la hora y fecha de aprobación a la Red.

Registro de datos: Maceración

Figura 8. Diagrama de bloques. Registro de datos: Maceración.



Fuente: elaboración propia (2022).

En el registro de la etapa de maceración se hará el registro de los datos de temperatura tomando como referencia los valores en un rango de 63° C a 70° C. El registro de los datos se realizará mediante un sensor de temperatura y se guardará la información en la red.

Registro de datos: Filtrado del Mosto

Figura 9. Diagrama de bloques. Registro de datos: Filtrado del mosto.



Fuente: elaboración propia (2022).

En este proceso, se hará el registro de los datos de densidad tomando como referencia los siguientes valores: ≈ 1.090 g/ml (sin bajar de 1.05 g/ml, ni exceder los 1.1 g/ml). El registro de los datos se realizará mediante un sensor de densidad y se guardará la información en la red.

Proceso de certificación de Calidad 2

Figura 10. Diagrama de bloques. Registro de datos: Certificación de la calidad 2.



Fuente: elaboración propia (2022).

En el proceso de certificación de la calidad 2 el maestro cervecero validará el porcentaje de residuos sólidos que contenga el mosto. Si cumple con los requisitos de calidad, hará la certificación mediante un sensor RFID, el cual subirá la hora y fecha de aprobación a la Red.

Registro de datos: Cocción

Figura 11. Diagrama de bloques. Registro de datos: Cocción.



Fuente: elaboración propia (2022).

En el proceso de cocción se hará el registro de los datos de pH tomando como referencia los siguientes valores: pH ácido (4.3 - 5.2). El registro de los datos se realizará mediante un sensor de pH y se guardará la información en la red.

Registro de datos: Fermentación y maduración

Figura 12. Diagrama de bloques. Registro de datos: Fermentación y maduración.



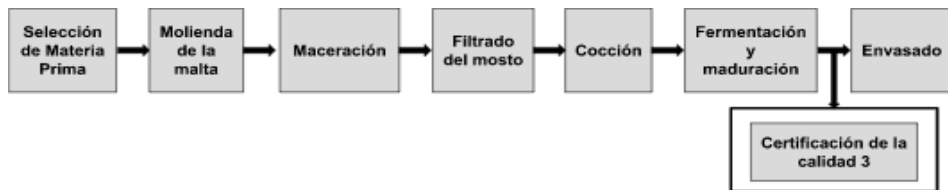
Fuente: elaboración propia (2022).

En la etapa de fermentación y maduración se hará el registro de los datos de temperatura tomando como referencia los siguientes valores según el tipo de cerveza que se esté fabricando:

- Cerveza Lager (5°C - 10°C)
- Cerveza Ale (17°C - 19°C

Proceso de certificación de Calidad 3

Figura 13. Diagrama de bloques. Registro de datos: Certificación de la calidad 3.



Fuente: elaboración propia (2022).

En la etapa de certificación de la calidad 3 el maestro cervecero validará que la densidad de la cerveza esté dentro del rango denotado en la receta. Si cumple con los requisitos de calidad hará la certificación mediante un sensor RFID, el cual subirá la hora y fecha de aprobación a la Red.

Registro de datos: Envasado

Figura 14. Diagrama de bloques. Registro de datos: Envasado.



Fuente: elaboración propia (2022).

En la etapa de envasado, el encargado del área utilizando la interfaz de participante de proceso, ingresará los datos referentes a la fecha de envasado para subirlas a la red *Blockchain*.

Resumen del texto sobre la visualización del proceso de manufactura de cerveza artesanal

La tecnología Blockchain puede ser utilizada para mejorar la trazabilidad del proceso de manufactura de cerveza artesanal. Esto permitiría a los consumidores conocer la procedencia de la cerveza de manera confiable y legítima.

En el texto, se propone una solución para visualizar el proceso de manufactura de cerveza artesanal utilizando Blockchain. La solución se basa en la siguiente arquitectura:

- **Materia prima:** La información de la materia prima se almacena en la red Blockchain.
- **Procesos productivos:** Las variables críticas de los procesos productivos se miden a través de sensores y se transmiten a la red Blockchain.
- **Certificación de calidad:** El maestro cervecero realiza una certificación de calidad y la sube a la red Blockchain.
- **Envasado:** La fecha de envasado se registra en la red Blockchain.

Los consumidores pueden visualizar la información del proceso de manufactura escaneando un código QR en la botella de cerveza.

La solución propuesta tiene las siguientes ventajas:

- **Transparencia:** Los consumidores pueden conocer la procedencia de la cerveza de manera confiable y legítima.
- **Inmutabilidad:** La información del proceso de manufactura está registrada en la red Blockchain y no puede ser modificada.
- **Accesibilidad:** Los consumidores pueden visualizar la información del proceso de manufactura de manera sencilla.

Figura 15. Ejemplo de resultado final (Escaneo de botella).



Fuente: elaboración propia (2022).

Durante el escaneo del producto, se pudiera generar datos interesantes para las empresas productoras, pudieran obtener un registro ad hoc de estas consultas y detectar patrones de compra que pudiera ser evaluado con *data mining* o *machine learning* para obtener información del mercado interesante y generar una investigación del producto con estos datos generados en cada consulta.

Finalmente, este estudio demuestra que la aplicación del blockchain en la cervecería artesanal sería una herramienta de trazabilidad, seguridad y la posibilidad de estudiar el mercado ad hoc.

Conclusiones

Blockchain es una tecnología que se caracteriza por su transparencia, inmutabilidad e integridad de los datos. Estas propiedades lo convierten en una herramienta adecuada para mejorar la trazabilidad del proceso de manufactura en la industria cervecera artesanal.

El uso de Blockchain en esta industria permitiría a los consumidores conocer la procedencia de la cerveza de manera confiable y legítima, lo que contribuiría a reducir la falsificación y adulteración de los productos.

Para implementar Blockchain en la industria cervecera artesanal, es necesario integrarlo con la tecnología IoT para registrar las variables involucradas en las etapas productivas. Los

equipos más adecuados para esta integración son los PLC, microcontroladores, Raspberry Pi e Hyperledger Fabric.

La solución propuesta permitiría a los productores garantizar la calidad de sus productos y cumplir con los procesos productivos. Además, sería viable económicamente.

- Blockchain es una tecnología que puede mejorar la trazabilidad del proceso de manufactura en la industria cervecera artesanal.
- El uso de Blockchain permitiría a los consumidores conocer la procedencia de la cerveza de manera confiable y legítima.
- Para implementar Blockchain en la industria cervecera artesanal, es necesario integrarlo con la tecnología IoT.

Recomendaciones

Uno de los aspectos que se determinó durante la investigación es que la mayoría de las empresas que utilizan *Blockchain* lo hacen en su cadena de suministro y no únicamente un proceso de manufactura. Cuando se hace uso de *Blockchain* como base de datos en una sola organización, no se aprovecha el algoritmo de consenso que implementa este *Framework* en su totalidad. Se recomienda tener al menos dos organizaciones diferentes las cuales realicen transacciones y registro de información, por ejemplo, entre fabricantes, proveedores y clientes, donde no existe confianza entre las partes y los mecanismos de consenso son ideales para esto. Sin embargo, la implementación de *Blockchain* únicamente en un proceso de manufactura es totalmente factible y trae consigo una gran cantidad de beneficios. Por último, se recomienda realizar un estudio detallado de la arquitectura de integración de *Blockchain Hyperledger Fabric* con IoT por un equipo de expertos y especialistas, además la posibilidad de ser utilizado para generar datos del mercado de cerveza artesanal ad hoc.

Referencias bibliográficas

- Academy, B. (2022, 30 agosto). ¿Qué es un Algoritmo de Consenso? *Binance Academy*. https://academy.binance.com/es/articles/what-is-a-Blockchain-consensus-algo_rithm
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación (6ta ed.). Episteme. https://issuu.com/fidiasgerardoarias/docs/fidias_a_arias_el_proyecto_de_inv
- Arjona, C. (s. f.). Creando entorno de desarrollo seguro [Diapositivas]. Docker. <https://rida2.utp.ac.pa/bitstream/handle/123456789/11488/Docker%202020-UCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- A Review of Blockchain in Internet of Things and AI*. (s. f.). MDPI. <https://www.mdpi.com/2504-2289/4/4/28>
- Bartolomeo, A. & Machin, G. (2019). INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN: SU IMPACTO EN LAS CIENCIAS ECONÓMICAS. <https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos-digitales/15304/14.-introduccionalatecnologia.pdf>
- Bilbao, M. (2019). Blockchain, transparencia para el desarrollo sostenible. Documento Opinión, 67. https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2019/DIFFEO67_2019MI RBIL_Blockchain.pdf
- Borja Calvo, G. (s.f.). *BLOCKCHAIN APLICADO A SUPPLY CHAIN*. PROPUESTA DE APLICACIÓN AL SECTOR ALIMENTARIO [Proyecto Fin de Máster Ingeniería Industrial]. Universidad Pontificia Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/23186/TFM-Calvo-Gallego-Borja>
- Blockchain, la revolución de los sistemas descentralizados. (s. f.). Tecnonews. <https://www.tecnonews.info/opiniones/Blockchain-la-revolucion-de-los-sistemas-descentralizados>
- Blockchain de las cosas, cuando las tecnologías convergen. (s. f.). <https://telos.fundaciontelefonica.com/la-cofa/Blockchain-de-las-cosas-cuando-las-tecnologias-convergen/>
- Blockchain y seguridad IOT: Todo lo que has de saber. (2020, 14 agosto). Chakray. <https://www.chakray.com/es/Blockchain-seguridad-iot-lo-saber/>
- Calvo, L. (2022, 10 marzo). ¿Qué es una *Raspberry Pi* y para qué sirve? Blog. <https://es.odaddy.com/blog/que-es-raspberry-pi/>
- Camacho, H., Gómez, K. & Monroy, C. (2012, 23 julio). Importancia de la cadena de suministros en las organizaciones. *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/23186/TFM-Calvo-Gallego-Borja.pdf?sequence=1>
- Camargo, F. (2019). ¿Qué es un nodo de *Blockchain*?. <https://camargo.life/que-es-un-nodo-de-Blockchain/>
- Centeno, R. (s. f.). Introducción a la *Blockchain*, a los contratos inteligentes y a la aplicabilidad del arbitraje a esta tecnología [Artículo de Investigación]. Universidad Monteavila. <https://avarbitraje.com/wp-content/uploads/2021/03/ANAVI-No1-A22-pp-483-500.pdf>
- Cerveza Artesanal en 2022, ¿Sabes todo sobre ella? ¡Descúbrelo! (2022, 6 marzo). Cerveza Dolina. <https://cervezadolina.com/quia-cerveza-artesanal/#tipos-de-cerveza-artesanal>

- Cómo *funciona* la encriptación: Todo lo que necesitas saber. (2022, 14 junio). www.goanywhere.com. <https://www.goanywhere.com/es/blog/como-funciona-la-enciptacion-todo-necesita-saber>
- Cómo *hacer* cerveza artesanal en casa. (2021, 30 julio). Tipos de lúpulo y su utilización en estilos de cerveza | Cómo hacer cerveza artesanal en casa. Cómo hacer cerveza artesanal en casa | Todo sobre la preparación de cerveza casera. <https://www.cerveza-artesanal.co/tipos-de-lupulo-y-su-utilizacion-en-tipos-de-cerveza/>
- Construcción* de un sistema de identificación | Principios de trazabilidad | KEYENCE México. (s. f.). Recuperado 27 de octubre de 2022, de https://www.kevence.com.mx/ss/products/markin/traceability/intro_system.is_p
- Cornelis, M. (2019). *Blockchain in Supply Chain Management*. Universidad Klagenfurt. <https://netlibrarv.aau.at/objuklhs/content/titleinfo/5809484/full.pdf>
- El funcionamiento de *Blockchain*. (2019, 15 abril). *EALDE Business School*. <https://www.ealde.es/funcionamiento-de-blockchain/>
- Estaún, M. (2021, 12 julio). Qué es la Cadena de Gestión de Suministro (SCM). Thinking for Innovation. <https://www.iebschool.com/blog/cadena-gestion-suministro-negocios-internacionales/>
- Fernández (2019). *Aplicación de la tecnología Blockchain en el Supply Chain en los Sectores Industriales*. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/30884/TFM-P>
- García, G. (2022, 14 septiembre). *Conocer el origen de los alimentos: la demanda del consumidor*. *The Food Tech*. <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/conocer-el-origen-de-los-alimentos-la-demanda-del-consumidor/>
- Gómez Lasala, I. (2018). *Blockchain. La revolución en la industria*. Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/122913/in-s-tfg-bc.definitivo-if.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hang, L. (s. f.). *Design and Implementation of an Integrated IoT Blockchain Platform for Sensing Data Integrity*. MDPI. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/10/2228>
- Huillet, M. (2019, 5 noviembre). Coca Cola utiliza una *blockchain* para una red de USD 21,000 millones al año. *Coin telegraph*. <https://es.cointelegraph.com/news/coca-cola-using-blockchain-for-21-billion-per-year-network>
- Indicadores de la calidad de una malta. (s. f.). *Cocinista*. <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hacer-cerveza/trucos-y-consejos/indicadores-de-la-calidad-de-una-malta.html>

- Introducción a la elaboración de cerveza artesanal. (s. f.). [Investigación]. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. https://liqa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/GUIA-CER_VEZA.pdf
- Jiménez, I. (2021, 29 abril). Cómo usar *blockchain* en la empresa. <https://enzyme.biz/blog/como-usar-blockchain-en-la-empresa>
- La evolución de la manufactura. (s. f.). QAD2. <https://www.qad.com/es-MX/blog.mx/-/blogs/la-evolucion-de-la-manufactu-1>
- LAS 7 DIFERENCIAS ENTRE LA CERVEZA ARTESANA Y LA INDUSTRIAL. (2019). Cerveza Montseny. <https://cervesamontseny.cat/es/las-7-diferencias-entre-la-cerveza-artesana-y-la-industrial/>
- Maier, P. (s. f.). *THE IMPACT OF THE BLOCKCHAIN ON THE SUPPLY CHAIN [Master's Thesis to confer the academic degree of Master of Science] Johannes Kepler University Linz.* <https://eub.iku.at/obvulihs/download/pdf/3871871?originalFilename=true>
- Marco GS1 para el diseño de sistemas de trazabilidad interoperables para las cadenas de suministro. (2017, agosto). GS1 Estándar Global de Trazabilidad. <https://www.gs1cr.org/wp-content/uploads/2019/07/Estándar-Global-de-trazabilidad-GTS-peg.pdf>
- Mecanismos de Consenso Explicados. (s. f.). SG Buzz. <https://sg.com.mx/revista/57/mecanismos-consenso-explicados#:~:text=Si%20el%20Blockchain%20un%20libro.como%20un%20mecanismo%20de%20consenso.>
- Parmar, D. (2022, 31 mayo). Las 8 mejores plataformas de *blockchain* para crear aplicaciones financieras modernas. Geekflare. <https://geekflare.com/es/finance/blockchain-platforms-for-finance-applications/>
- Parrondo, L. (2018). Tecnología *Blockchain*, una nueva era para la empresa. Revista de Contabilidad y Dirección, 27, 11-31. <https://accid.org/wp-content/uploads/2019/04/Tecnología-Blockchain-una-nueva-era-para-la-empresa-L-Parrondologo.pdf>
- Pérez, M. (2021, 3 mayo). Manufactura. Concepto de - Definición de. <https://conceptodefinicion.de/manufactura/>
- Portillo, J., Bermejo, A. & Bernardos, A. (s. f.). Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID): Aplicaciones en el ámbito de la salud [Informe de Vigilancia Tecnológica]. Madrimasd. https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT13_RFID.pdf
- Proof of Authority* (PoA). (2022, 30 marzo). Bybit Learn. <https://learn.bybit.com/glossary/definition-proof-of-authority-poa/>

- Python, R. (2022, 14 enero). Desarrollar una aplicación «*blockchain*» desde cero en Python. Recursos Python. <https://recursospython.com/guias-y-manuales/aplicacion-blockchain-desde-cero/>
- Quorum *Blockchain: Deploy And Build Fast With Kaleido*. (s. f.). <https://www.kaleido.io/blockchain-platform/quorum>
- Ranchal, J. (2021, 7 junio). Códigos QR: ¿Qué son, para qué se usan y cómo trabajan? MuyComputer. <https://www.muycomputer.com/2021/06/07/codigos-qr/>
- Rehman, A. U. (2020, 15 noviembre). ¿Qué es Corda *Blockchain*? ¿Cómo ayuda a las empresas? Crypto Economy. <https://es.crypto-economy.com/corda-blockchain/>
- Reyes Delgado. (s. f.). “Aplicación de *Blockchain* para la seguridad de los datos del internet of things [memoria para optar al título de ingeniero civil en informática]. Universidad Técnica Federico Santa María. https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47827/35609002596_61UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes, V. M. (2021, 10 diciembre). *Hyperledger Fabric - ¿Qué es Hyperledger?* en Español. Medium. <https://medium.com/babel-oo2chain/hyperledger-fabric-que-es-hyperledger-en-espa%C3%B1ol-d13f8d144455>
- Reyna, A., Martín, C., Chen, J., Soler, E. & Díaz, M. (2018, noviembre). *On Blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities*. *ScienceDirect*, 88, 173-190. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17329205>
- Rincón B., D. L. (2017). Hacia un Marco Conceptual Común Sobre Trazabilidad en la Cadena de Suministro de Alimentos. <https://www.redalyc.org/journal/4988/498853956002/html/>
- Rodríguez, D. (2020). Investigación aplicada: características, definición ejemplos. <https://www.lifeder.com/investigacion-aplicada/>
- Rodríguez, N. (2022, 15 agosto). Historia de la tecnología *Blockchain*: Guía definitiva. 101 *Blockchains*. <https://101Blockchains.com/es/historia-de-la-Blockchain/>
- Romero, J. (s. f.). Aplicación de Contratos Inteligentes en *Ethereum* [Trabajo de grado Ingeniería Telemática]. Universidad Carlos III de Madrid. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/29653/TFG_Jose_Romero_Solis.pdf?sequence=1
- Ruales, D. (s. f.). Implementación de un sistema de código de barras para mejorar la trazabilidad de los materiales en un *warehouse* de una empresa de servicios de mantenimiento de turbinas [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial]. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS. <https://core.ac.uk/download/pdf/323343551.pdf>

- Sáenz Peláez, J. (s. f.). Fortificación IoT mediante *Blockchain* y cifrado asimétrico [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/33006/TFG-G3417.pdf?sequence=1>
- San José, J., Blanco, J., de Dios, J., Zangróniz, R. & Pastor, J. (s. f.). La identificación por radiofrecuencia (RFID) y sus aplicaciones [Investigación]. Escuela Politécnica de Cuenca. https://www.researchgate.net/publication/299905972_La_identificacion_por_radiofrecuencia_RFID_y_sus_aplicaciones
- Santistevan, B. (2021, 1 abril). *Blockchain* Corda de R3 se implementará en plataforma que maneja el gobierno chino. CriptoNoticias - Noticias de *Bitcoin*, *Ethereum* y criptomonedas. <https://www.criptonoticias.com/tecnologia/blockchain-corda-r3-implementara-plataforma-maneja-gobierno-chino/>
- Sanz, C. A. (2021, 23 septiembre). Cómo almacenar correctamente la malta para tu cerveza. Loopulo. <https://loopulo.com/maltas/como-almacenar-malta/>
- Seco, A. (2017). BLOCKCHAIN: Conceptos y aplicaciones potenciales en el área tributaria. <https://www.ciat.org/Blockchain-conceptos-y-aplicaciones-potenciales-en-el-area-tributaria-13/>
- SOLERA, S. (2021). Blockchain: qué es, cómo funciona y los usos más comunes. OCCAM: <https://www.occamagenciadigital.com/blog/Blockchain-que-es-como-funcion>
- Torres Delgado, D. (s. f.-a). Propuesta de la Tecnología *Blockchain* en la cadena de suministro de medicamentos [Proyecto Curricular Ingeniería Industrial].
- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22710/DanielaTorresDelgado2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>