



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Modelo de información segura para seguimiento de alimentos orgánicos basados en
Blockchain**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero de Sistemas

AUTOR: MARÍA JOSÉ MOSQUERA JARRÍN

TUTOR: JOE FRAND LLERENA IZQUIERDO, Ing., Msc.

Guayaquil – Ecuador

2023

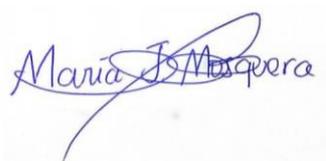
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, María José Mosquera Jarrín con documento de identificación N° 1250205869 manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 15 Agosto del año 2023

Atentamente,



María José Mosquera Jarrín
1250205869

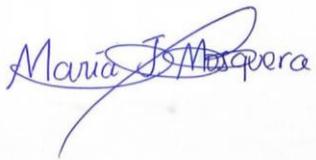
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, María José Mosquera Jarrín con documento de identificación N° 1250205869, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Artículo Académico: “Modelo de información segura para seguimiento de alimentos orgánicos basados en Blockchain”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 agosto del año 2023

Atentamente,



María José Mosquera Jarrín

1250205869

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Joe Frand Llerena Izquierdo con documento de identificación N° 0914884879, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Modelo de información segura para seguimiento de alimentos orgánicos basados en Blockchain, realizado por María José Mosquera Jarrín con documento de identificación N° 1250205869, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 agosto del año 2023

Atentamente,



Joe Frand Llerena Izquierdo

0914884879

DEDICATORIA

Dedicado a todos aquellos momentos de esfuerzo, sacrificio y perseverancia que me llevaron a este día tan especial. A mis padres y hermana por ser mi inspiración constante y por su apoyo incondicional a lo largo de este camino. A mi esposo, por su apoyo y comprensión logramos superar los tiempos difíciles, gracias por estar.

A mi amado hijo que ha sido mi pilar fundamental para no rendirme en mis estudios y ser un ejemplo para él.

Finalmente quiero dedicarle a mi abuelito que está en el cielo por guiarme con sabiduría. Agradezco a todos aquellos que me motivaron cuando la meta parecía lejana y que me recordaron que cada paso cuenta. Esta culminación de carrera no es solo un diploma, sino el resultado de años de dedicación y la promesa de un futuro lleno de posibilidades.

María José Mosquera Jarrín

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte principal de mi camino hacia la culminación de mi carrera universitaria. Mi gratitud se extiende a mis padres, cuyo apoyo incondicional y amor han sido mi mayor motivación. Agradezco a mi esposo e hijo por compartir estos momentos de formación, brindándome todo su apoyo para crecer académicamente. También quiero agradecer a mis familias de Guayaquil, y Ventanas con quienes compartí esta etapa universitaria. Además, agradezco a todas las personas que de una u otra manera me alentaron, inspiraron y guiaron en este recorrido. Este logro no solo es mío, sino de todos aquellos que creyeron en mí. Con humildad y alegría, le dedico este éxito a toda mi familia.

María José Mosquera Jarrín

RESUMEN

Las tiendas cercanas, los centros de distribución y los transportistas son intermediarios en el proceso que inicia desde el lugar del agricultor, y se conoce que los intermediarios ganan sobre el costo del producto, pero no existe un seguimiento o trazabilidad en la calidad o transporte de los productos agrícolas. Algunos de los problemas de confiabilidad en la información son: falta de transparencia de la cadena de distribución, falta de confianza del consumidor final, no conocer la calidad del alimento, inconvenientes en la logística, el impacto ambiental, los datos confidenciales del cliente, fraude en la calidad, fraude económico, seguridad alimentaria, entre otros. El objetivo general es proponer el diseño de un modelo de información segura para seguimiento de alimentos orgánicos basados en tecnología Blockchain. En la metodología se utiliza: la revisión sistemática, la investigación empírica-analítica, se adopta los componentes desde los artículos seleccionados en la revisión sistemática, el método cualitativo, el graficado, la investigación es descriptiva y exploratoria, se utiliza la técnica de la encuesta. Se analizó y propuso un método eficiente para maximizar el seguimiento desde el agricultor que produce alimentos orgánicos hasta llegar al consumidor final; la arquitectura basada en Blockchain y sus conceptos mantiene la confiabilidad y transparencia de sus transacciones en cuatro capas Actores, Red, Smart Contract y Blockchain. En forma general la arquitectura tiene una aceptación de 85.64% en la encuesta; esto indica que el modelo tiene potencial para ser mejorado en su diseño, pensando una futura implementación.

Palabras claves: Alimentos orgánicos, Blockchain, Trazabilidad, Blockchain Ethereum.

ABSTRACT

Nearby stores, distribution centers and transporters are intermediaries in the process that starts from the farmer's place, and it is known that intermediaries earn on the cost of the product, but there is no tracking or traceability in the quality or transport of agricultural products. Some of the problems of reliability in the information are lack of transparency of the distribution chain, lack of confidence of the final consumer, not knowing the quality of the food, inconveniences in logistics, environmental impact, confidential customer data, quality fraud, economic fraud, food safety, among others. The general objective is to propose the design of a secure information model for tracking organic food based on Blockchain technology. In the methodology is used: the systematic review, the empirical-analytical research, the components are adopted from the articles selected in the systematic review, the qualitative method, the graphing, the research is descriptive and exploratory, the survey technique is used. An efficient method was analyzed and proposed to maximize the follow-up from the farmer who produces organic food to the final consumer; the architecture based on Blockchain and its concepts maintains the reliability and transparency of its transactions in four layers Actors, Network, Smart Contract and Blockchain. In general, the architecture has an acceptance of 85.64% in the survey; this indicates that the model has potential to be improved in its design, thinking about a future implementation.

Key words: Organic food, Blockchain, Traceability, Ethereum Blockchain.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. Blockchain.....	13
2.2. Alimentos orgánicos.....	13
2.3. Blockchain en agricultura.....	14
2.4. Seguimiento de alimentos basado en Blockchain	14
2.5. Cadena de suministro de alimentos	16
3. METODOLOGÍA	17
4. RESULTADOS.....	19
5. DISCUSIÓN	36
6. CONCLUSIÓN.....	38
REFERENCIAS	39

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es importante en la economía de países como Ecuador (Espinosa & Garrett, 1987; Stemmler & Meemken, 2023) La agricultura genera empleo y alimentos a gran cantidad de personas, aunque existe una disminución por varias dificultades de este sector como el precio insuficiente, cambios climáticos, caída de ceniza, inviernos que inundan los cultivos, explotación laboral, enfermedades del cultivo, contaminación del agua, costos altos de químicos, entre otros (Saltos-Layana et al., 2023). La compra de alimentos frutas y hortalizas que se adquieren en las tiendas son precios más altos al precio real del mercado local por la preferencia de gastar más y no poder comprar en forma directa al agricultor (Barrera-Mosquera et al., 2010). Los agricultores no se benefician en las ventas de los intermediarios, pero sí se benefician en la cantidad de venta de sus productos al dar a conocer la calidad el consumidor final. Se deduce que si un consumidor conoce la información sobre la calidad y seguimiento del producto agrícola durante la cadena de suministro de alimentos, entonces el agricultor y el cliente se benefician (Katti et al., 2022).

Los consumidores finales están inconformes con la calidad de los alimentos agrícolas por la presencia de productos químicos o sintéticos; actualmente se considera que la producción de alimentos orgánicos satisface la demanda de los consumidores y es necesario un mecanismo que ayude en la certificación del alimento; el aumento en la demanda de alimentos con certificaciones de salud se debe a ciertos problemas de salud de muchas personas a nivel global; actualmente es poca la transparencia en los mecanismos de certificación y los consumidores finales no confían en estos mecanismos (Córdova et al., 2019).

Algunos de los problemas de confiabilidad en la información son: falta de transparencia de la cadena de distribución, falta de confianza del consumidor final, no conocer la calidad del alimento, inconvenientes en la logística, el impacto ambiental, los datos confidenciales del cliente, fraude en la calidad, fraude económico, seguridad alimentaria, entre otros; los sistemas actuales no generan información transparente para los consumidores finales, además las auditorías sobre la información son realizadas por terceros y almacenadas en bases de datos centralizadas (Härtl et al., 2019). Otros problemas en transparencia y confianza son: altos costos, fraudes, inseguridad en los sistemas tecnológicos, falla en integridad de la información, mal uso de las certificaciones en papel (Basnayake & Rajapakse, 2019).

La confianza del consumidor es un aspecto significativo en la agricultura ecológica, y esa confianza se puede entender por medio de una certificación entregada por terceros; las certificaciones las entrega alguna empresa que es confiable y acredita la calidad de los alimentos o prácticas agrícolas; la empresa auditora es un tercero y es un costo significativo para el agricultor y los auditores no se basan en un mecanismo confiable durante la cadena de suministro; los sistemas participativos minimizan las barreras existentes en una certificación de terceros, aunque dicho sistema tiene problemas y limitaciones inherentes; los alimentos orgánicos tienen viabilidad en el mercado local y extranjero, pero hay problemas para garantizar la confianza. Es decir, es significativo investigar una forma para que los actores confíen en el proceso de certificación, y minimizar los problemas de confianza-escalabilidad en el mercado local y exterior (Thanujan et al., 2021).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que existe el fraude alimentario y estima que una de cada diez personas se enferman por la adulteración y contaminación de alimentos, con cifras de 420 mil fallecidos por año; algunos suministros de alimentos son complejos para productores y distribuidores al no poder garantizar el origen de los alimentos; en cualquier tipo de industria pueden el hecho de que no exista el seguimiento o rastreo del producto; la manipulación de alimentos es muy antigua, los estafadores pueden mezclar agua con la leche o adicionar harina falsa al pan para conseguir mayor utilidad (Shaikh et al., 2019).

Las tiendas cercanas, los centros de distribución y los transportistas son intermediarios en el proceso que inicia desde el lugar del agricultor, y se conoce que los intermediarios ganan sobre el costo del producto, pero no existe un seguimiento o trazabilidad en la calidad o transporte de los productos agrícolas. El suministro de alimentos debe tener una seguridad alimentaria estable para minimizar incidentes en la seguridad alimentaria y eliminar problemas en la cadena de suministro de alimentos agrícolas en forma confiable, eficiente y buena calidad (Melendrez-Caicedo & Llerena-Izquierdo, 2022).

La agricultura orgánica se realiza en fincas o granjas o comunidades pequeñas, existen procesos de certificación por terceros para comprobar la calidad o trazabilidad en la agricultura, también se puede utilizar o aplicar el proceso de garantía participativa que inicia en los agricultores y finaliza en los consumidores finales, aunque este proceso es susceptible de fraudes y no mantiene la escalabilidad (Lindao Guevara, 2023; Llerena Izquierdo & Vélez Chilán, 2011; Thanujan et al., 2021).

El propósito de esta investigación es preparar una arquitectura transparente-eficiente para la certificación de alimentos orgánicos, basado en una plataforma de certificación confiable como es Blockchain, se considera la aplicabilidad de esta tecnología en la cadena de suministro agrícola para comprobar el origen y la calidad de los alimentos orgánicos (Zerega-Prado & Llerena-Izquierdo, 2022)(Laarabi et al., 2022). El diseño basado en una plataforma Blockchain con sus componentes como la base de datos descentralizada, los contratos inteligentes y el consenso se garantiza la seguridad y la transparencia de la información en la cadena de suministro o distribución de alimentos orgánicos (Unal et al., 2022).

El objetivo general es proponer el diseño de un modelo de información segura para seguimiento de alimentos orgánicos basados en tecnología Blockchain.

Los objetivos específicos son:

Analizar artículos científicos para conocer la tecnología Blockchain mediante una revisión sistemática de la literatura.

Diseñar una arquitectura de información para la trazabilidad de alimentos orgánicos basado en tecnología Blockchain.

Evaluar la arquitectura para posibles mejoras mediante la técnica de la encuesta a profesionales en Tecnologías de la Información y Comunicación.

Hoy, el negocio agroalimentario es complejo en la parte monetaria y logística en un sistema alimentario que es cuidar los alimentos y personas a través de las conexiones del mercado, las estructuras son complejas y evolucionan a través del tiempo; la industria de alimentos es grande en muchos países, una cadena de suministro puede ser complicada y difícil por la cantidad de actores heterogéneos como productores, agrícolas, ganaderos, distribuidores, minoristas, compradores y consumidores finales.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Blockchain

Son transacciones agrupadas en un bloque, están en serie de bloques, los eventos generados por los nodos dentro de la cadena son las transacciones, y para adicionar una transacción a un bloque, los nodos realizan una validación (Calle Tapia, 2023). Aquí en esta cadena, los datos no se pueden cambiar, para actualizar un dato del bloque, como por ejemplo el precio de un producto agrícola, es necesario generar una nueva transacción; entonces se guarda el nuevo precio en un bloque generado por la nueva transacción, esto permite a todos ver todos los precios (Katti et al., 2022).

Blockchain es una tecnología disruptiva y emergente que se basa en generación de aplicaciones informáticas descentralizadas con transacciones confiables e inmutables (Arguello Lino & Coca Hidalgo, 2023)(Llerena Izquierdo, 2014); estas aplicaciones basadas en cadenas dentro de la agricultura mantienen un enlace confiable entre las fincas, mercados y consumidor final porque se conservan las transacciones inmutables en la bases descentralizados, esto permite la trazabilidad de todas las transacciones enlazadas con un lote de alimentos durante la cadena de suministro o distribución; con Blockchain, las cadenas de suministro mantienen la confiabilidad de los alimentos, la transparencia de las actividades, la escalabilidad y seguridad (Saurabh & Dey, 2021).

Es un “libro mayor distribuido de igual a igual” con característica de transparencia y trazabilidad, concebido por consenso, mantiene un método para prevenir la manipulación del fraude y utiliza contratos inteligentes; Existen 3 tipos de Blockchain: El Público que es una cadena de bloques que trabaja sin permiso y cualquier nodo puede participar-ejecutarse en la cadena; La Privada que es una cadena autorizada y existen restricciones para los participantes seleccionados o nodos de una organización que son parte de ella; El Consorcio que es una cadena que está parcialmente descentralizada y es controlada por un grupo de nodos participantes (Tse et al., 2019).

2.2. Alimentos orgánicos

La contaminación ambiental generada por los agroquímicos tiene un efecto secundario en la salud humana, y esta es una razón por el aumento de la demanda de alimentos orgánicos; existen factores como aumento de la demanda, generación de nuevos mercados, mejores precios,

exportación y mejores ingresos de los agricultores en más del 30%, que llevan a los agricultores hacia la industria de alimentos orgánicos; en el país Sri Lanka mantiene variedad de alimentos orgánicos como aceites esenciales, caucho, coco desecado, especias, frutas tropicales, hierbas, legumbres, marañón, semillas oleaginosas, té y vegetales que son certificados como orgánicos (Basnayake & Rajapakse, 2019).

2.3. Blockchain en agricultura

La agricultura enfrenta varios problemas como clima o económico o calidad, por esta razón existe abandono por parte de los agricultores; los agricultores el detalle en la distribución o intermediarios o comercialización de los productos agrícolas, y no generan beneficio para los agricultores; al utilizar Blockchain se genera información en tiempo real para agricultores, intermediarios y consumidores finales, los datos como calidad, trazabilidad, pagos, precios u otros, son transparentes en una sola plataforma (Umamaheswari et al., 2019).

2.4. Seguimiento de alimentos basado en Blockchain

Muchas cadenas de suministro agrícola se fundamentan en la infraestructura centralizada, en estas existe problemas como atentado a la integridad de los datos y las fallas únicas; el mejor escenario que el participante-actor realice transacciones sin dependencia de intermediario-centralizado, y que las transacciones del sector agrícola conserven la confianza y la veracidad durante la cadena de suministro. El sistema de los autores utiliza Blockchain Ethereum o Hyperledger, y se conecta con varios sensores IoT, el sistema hace el seguimiento mediante la captura de datos en los dispositivos IoT durante la cadena de suministro de productos agrícolas; el mecanismo digital entre los agrícolas es independiente de servidores centrales, y asegura la estabilidad y confiabilidad durante la distribución, esto resulta en datos que son transparentes, libres de errores, permanentes y legibles para el monitoreo (Caro et al., 2019; Viera Vallejo, 2023).

El seguimiento depende de dispositivos que intercambian datos durante la cadena de suministro, los proveedores y clientes tienen la predisposición de pagar por más costos para conectar dispositivos IoT para el seguimiento o ubicación de los productos de alto valor monetario o salud; por ejemplo los vehículos o máquinas de alto valor monetario tienen dispositivos IoT para obtener la ubicación en tiempo real; no siempre el seguimiento es por alimento agrícola sino que se rastrea al lote o contenedor (Chimbolema Yumizaca, 2023). En Sudáfrica, se utiliza

Blockchain durante la cadena de suministro de uva para seguimiento desde agricultor, certificador, auditor y comerciante a través de las cajas que son certificadas digitalmente; una caja se identifica mediante un número de código de barras y se actualiza la propiedad de la caja en cada movimiento de los participantes (Ge et al., 2019).

Blockchain se utiliza para ser un sistema transparente de administración de datos que mantiene las transacciones y movimientos realizados durante la cadena de suministro; aquí los agricultores, intermediarios y consumidores finales son participantes en la información distribuida; además que se pueden observar los cambios en los datos de los productos agrícolas, utilizan Ethereum basado en contratos inteligentes y cuentas de activos (Sudha et al., 2021).

La confiabilidad, transparencia y la validez de la cadena de suministro se mejoran en esta propuesta, la arquitectura baja la brecha que existe entre el agricultor y el consumidor final; la lógica comercial se conoce por medio de las transacciones y otros acontecimientos afines con la producción de alimentos orgánicos; este proceso utiliza el código QR como un recurso práctico para identificar cada alimento durante la cadena de suministro que inicia en la granja y llega al consumidor final (Mora Alvarado, 2021; Povea Martillo, 2021); el código contiene la dirección del alimento y no depende de la aplicación informática, además se asegura una alta disponibilidad de datos (Basnayake & Rajapakse, 2019).

La arquitectura mantiene una confianza a nivel comunitario para alimentos orgánicos que utiliza dos protocolos de consenso y se considera que la confianza es un aspecto trascendental en la agricultura orgánica; los investigadores diseñaron una arquitectura de Blockchain para obtener confianza a nivel comunitario con utilización de dos mecanismos de consenso; además presentan un análisis cualitativo de la propuesta basado en opiniones de ingenieros (Thanujan et al., 2021).

Al aplicar la tecnología Blockchain, la cadena de suministro se puede realizar el seguimiento o monitoreo de cualquier producto, en el caso de alimentos se benefician las personas por la ruta de alimentos y mejorar la salud alimentaria, además se convierte en una cadena de suministro transparentes (Unal et al., 2022).

Blockchain optimiza el proceso de abastecimiento de alimentos agrícolas, que inicia con el agricultor que registra los datos de la finca y la producción de alimentos, el sistema le entrega un índice de calidad por parte de la entidad de control; en todas las fases que pase el producto

son adicionadas por los participantes de la cadena de suministro; el consumidor final puede visualizar la información por medio de un código QR y hacer seguimiento del estado de los productos (Mora-Alvarado & Llerena-Izquierdo, 2022); toda información no es alterada ni pirateada; además, el consumidor obtiene un producto orgánico con la certificación de calidad (Jannat et al., 2021).

2.5. Cadena de suministro de alimentos

En la fabricación, distribución, comercialización y la producción están involucrados en la cadena de suministro de alimentos sin importar el tipo de producto, que por lo general se aplica a alimentos, frutas u objetos; los diferentes participantes de la cadena son: agricultor, procesador, distribuidor, minoristas y consumidor final (Shaikh et al., 2019).

La cadena de suministro es un área que se puede aplicar la tecnología Blockchain, al momento una cadena tradicional funciona bien en todas sus fases pero se rompen en la procedencia, seguridad y la trazabilidad de los productos (Viera Vallejo, 2023); una cadena tradicional no es sofisticada para certificar las actualizaciones en los nodos participantes; no es seguro en sectores sensibles como salud o alimentos que se protejan los datos contra manipulaciones o fraudes; en cambio la naturaleza innata del libro distribuido de Blockchain no es manipulable (Jiayue Ren, 2018).

3. METODOLOGÍA

La metodología se agrupa de acuerdo a los 3 objetivos específicos.

Objetivo 1: Analizar artículos científicos para conocer le tecnología Blockchain mediante una revisión sistemática de la literatura.

Se adopta el proceso de revisión de (Mochram et al., 2022) que consiste en tres pasos, ver figura 1.



Figura 1. Proceso de revisión.

Paso 1. Realizar la revisión sistemática de la literatura, que ayuda a descubrir, evaluar y analizar los datos sobre “Blockchain” y “alimentos orgánicos” para luego responder las preguntas de investigación; además, la revisión ayuda a interpretar las investigaciones.

Paso 2. Preguntas de investigación, que ayuda a describir la investigación y responder en la revisión de la literatura; la minería es más sencilla para conocer la tecnología, las preguntas de investigación de este artículo se direccionan a Blockchain y alimentos orgánicos; las preguntas de investigación se proponen a continuación:

¿Qué alimentos agrícolas cubren las propuestas en Blockchain?

¿Cuáles son los participantes en la cadena de suministro o distribución? (agricultor, procesador, distribuidor, minoristas y consumidor final)

¿Cuáles son los componentes de las arquitecturas en Blockchain?

¿Qué datos se almacenan en Blockchain?

¿Qué software se utiliza en las propuestas?

¿Qué herramientas se utiliza en las propuestas? (código de barra, QR)

¿Qué tipo de Blockchain utilizan? (Público, Privada o Consorcio)

Paso 3. Búsqueda de resultados, Se buscan los artículos de investigación publicados en biblioteca o bases de datos con palabras específicas. Las palabras son “Blockchain” y “Organic food”. En este paso se incluyen criterios de inclusión y exclusión. Los criterios de inclusión son: Artículos relacionados con Blockchain, artículos o libros publicados desde 2018 a 2023, artículos o libros escritos en inglés. Los criterios de exclusión son: artículos duplicados o similares, artículos no relacionados al tema.

Objetivo 2: Diseñar una arquitectura de información para la trazabilidad de alimentos orgánicos basado en tecnología Blockchain.

Se utiliza la investigación empírica-analítica, la investigación empírica que estudia la factibilidad de una alternativa o solución a través evidencias empíricas. Se adopta los componentes, participantes, tipo, herramientas y datos que almacenan, desde los artículos seleccionados en la revisión sistemática. Se utiliza el método cualitativo para describir una arquitectura de información para realizar el seguimiento o trazabilidad de alimentos orgánicos. Se utiliza el graficado de la arquitectura para mejor entendimiento, la descripción de los componentes de la arquitectura. El alcance en este objetivo de la investigación es descriptivo y exploratorio.

Objetivo 3: Evaluar la arquitectura para posibles mejoras mediante la técnica de la encuesta a profesionales en Tecnologías de la Información y Comunicación.

Se utiliza la técnica de la encuesta para conocer el criterio de los profesionales en TIC, se utiliza el método cuantitativo para describir las respuestas sobre las preguntas de encuestas. Se utiliza el graficado de las respuestas. Se utiliza el análisis en las respuestas. El método de trabajo es cuasi-experimental a través de la técnica de la encuesta. La muestra es al menos 25 profesionales en TIC. La encuesta es digital y en forma remota. El alcance en este objetivo de la investigación es explicativo.

4. RESULTADOS

Analizar artículos científicos para conocer le tecnología Blockchain mediante una revisión sistemática de la literatura.

La Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) se buscó artículos de investigación publicados en una IEEE Xplore de acuerdo con la cadena específica para la búsqueda; se descubrieron 102 artículos de investigación que coinciden con la cadena de búsqueda. Los criterios de inclusión y exclusión sirvieron para filtrar los artículos para exploración óptima, los filtros bajan la cantidad de artículos no relacionados, se eliminan artículos duplicados, se verifican coincidencias, se verifican teorías y lenguajes; al finalizar el proceso de exclusión e inclusión, se obtiene 41 artículos de investigación relevantes.

En la figura 2, se observa 102 artículos, luego de aplicar los criterios de exclusión e inclusión, se filtraron los 41 artículos, luego se elige los artículos con acceso abierto al público en general, entonces, se obtuvo 36 artículos, ver figura 2.

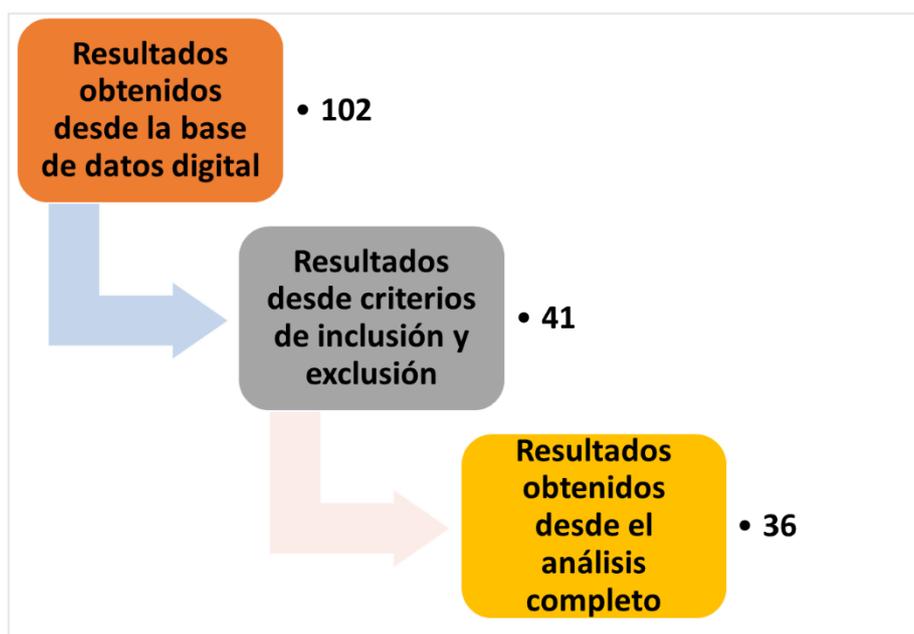


Figura 2. Proceso de revisión.

Los 36 artículos científicos son analizados para responder las preguntas de investigación que se plantearon en la metodología, los hallazgos fueron tabulados en una hoja de cálculo Microsoft Excel, y se obtuvieron las estadísticas y gráficos que se presentan a continuación.

¿Qué alimentos agrícolas cubren las propuestas en Blockchain?

La RSL informa que en los 36 artículos se hallaron: *aceite* 3% que es nombrado una vez, *azúcar* 3% que es nombrado una vez, *pollo* 3% que es nombrado una vez, *arroz* 5% que, en dos ocasiones, *vino* 3% que es nombrado una vez, *orgánicos* 13% que es nombrado en 5 artículos, *otros* 72% que es nombrado en 28 artículos. Sólo 5 artículos tratan sobre alimentos orgánicos, y 28 artículos expresan los alimentos agrícolas de manera general, ver figura 3.

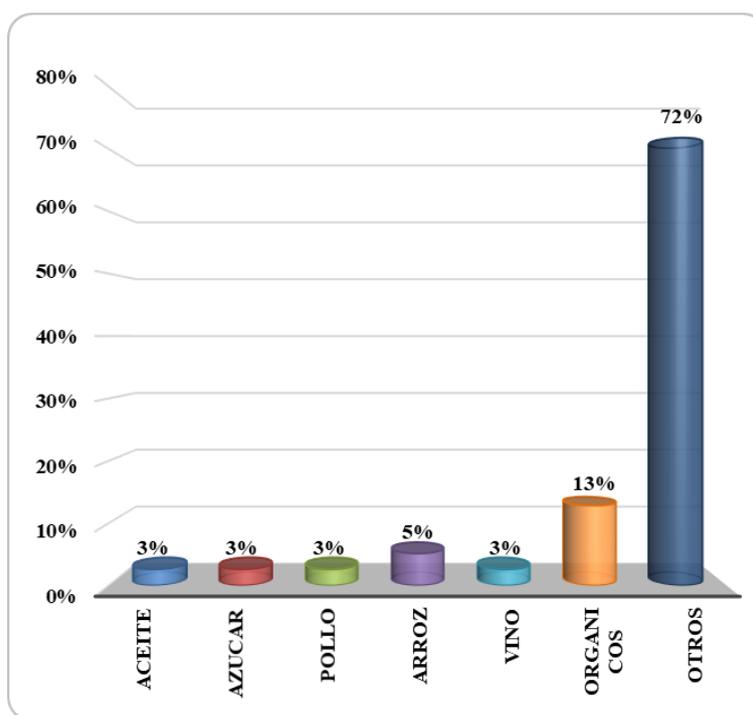


Figura 3. Alimentos agrícolas.

¿Cuáles son los participantes en la cadena de suministro o distribución?

La RSL informa que en los 36 artículos se hallaron: *agricultor* 25% que es nombrado en 34 ocasiones, *procesador de alimentos* 10% que es nombrado en 13 ocasiones, *distribuidor* 24% que es nombrado en 32 ocasiones, *minorista* 16% es nombrado en 22 ocasiones, *consumidor-final* 25% es nombrado en 34 ocasiones. Los participantes más citados son el agricultor, el distribuidor y consumidor final. Los procesadores de alimentos son los menos citados en las arquitecturas, ver figura 4.

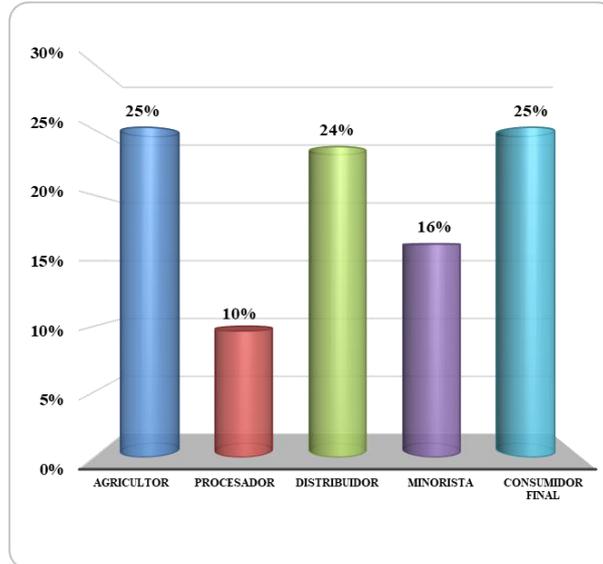


Figura 4. Participantes.

¿Cuáles son los componentes de las arquitecturas en Blockchain?

La RSL informa que en los 36 artículos se hallaron: *Smart contract* 34% que es nombrado en 27 ocasiones, *ledger* 33% que es nombrado en 26 ocasiones, *certificados* 24% que es nombrado en 19 ocasiones, *interfaces* 9% que es nombrado en 7 ocasiones. Sólo 7 artículos presentaron implementación de las arquitecturas en sistemas informáticos a través de sus interfaces. Además, 26 artículos presentaron el Smart contract y ledger, ver figura 5.

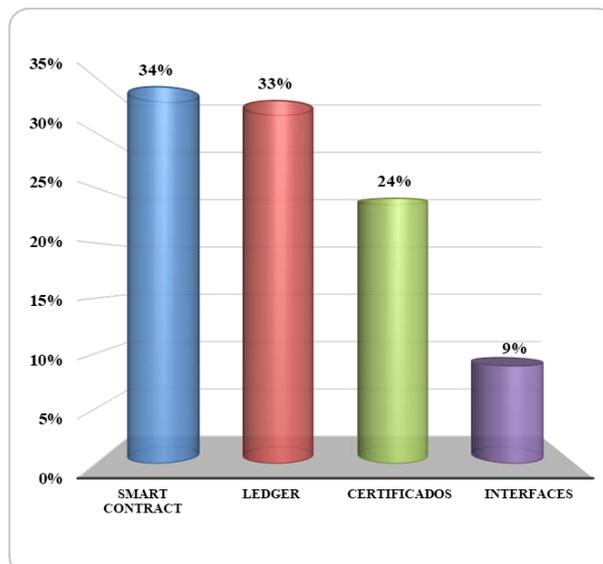


Figura 5. Componentes de Blockchain.

¿Qué datos se almacenan en Blockchain?

La RSL informa que en los 36 artículos se hallaron: *origen de los alimentos* 18% que es nombrado en 25 ocasiones, *estado del alimento* 17% que es nombrado en 24 ocasiones, *precio* 15% que es nombrado en 21 ocasiones, *código* 9% que es nombrado en 13 ocasiones, *nombre* 19% que es nombrado en 26 ocasiones, *cantidad* 22% que es nombrado en 30 ocasiones. Estos son los datos de los productos orgánicos o agrícolas que se almacenan en las arquitecturas Blockchain; la mayoría guarda las cantidades de transporte durante la cadena de distribución, aquí interesa que ese valor no tenga alteraciones; el origen del alimento que corresponde al agricultor o zona; el estado del alimento que corresponde al cambio durante la posesión del participante como verde o madura, otro estado es viaje en barco o viaje en vehículo, ver figura 6.

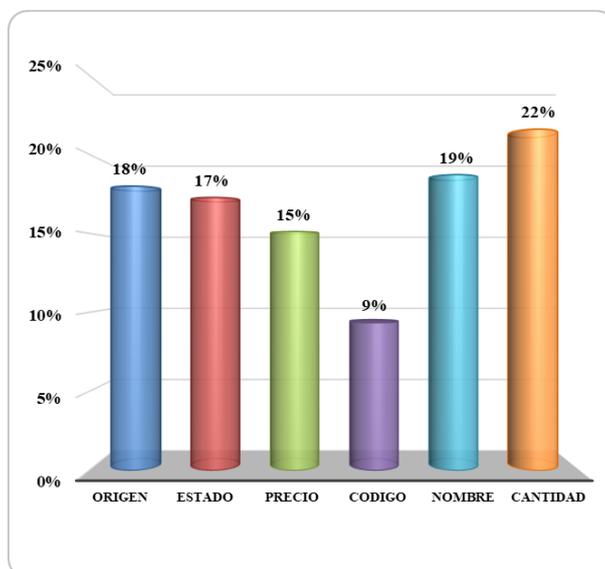


Figura 6. Datos almacenados.

¿Qué software se utiliza en las propuestas?

La RSL informa que en los 36 artículos se hallaron: *Quick reply* 4% que es nombrado en 1 ocasión, *Solidity* 18% que es nombrado en 4 ocasiones, *Hyperledger* 22% que es nombrado en 5 ocasiones, *Java* 13% que es nombrado en 3 ocasiones, *Elipse* 4% que es nombrado en 1 ocasión, *Matlab* 4% que es nombrado en 1 ocasión, *Ethereum* 35% que es nombrado en 8 ocasiones. El software Ethereum es utilizado en Blockchain Público, el software Hyperledger es utilizado en Blockchain Privado. El software Java es utilizado como interface. El software Solidity es utilizado en implementaciones y simulaciones. El software Matlab es utilizado en simulaciones (Llerena Izquierdo, 2023), ver figura 7.

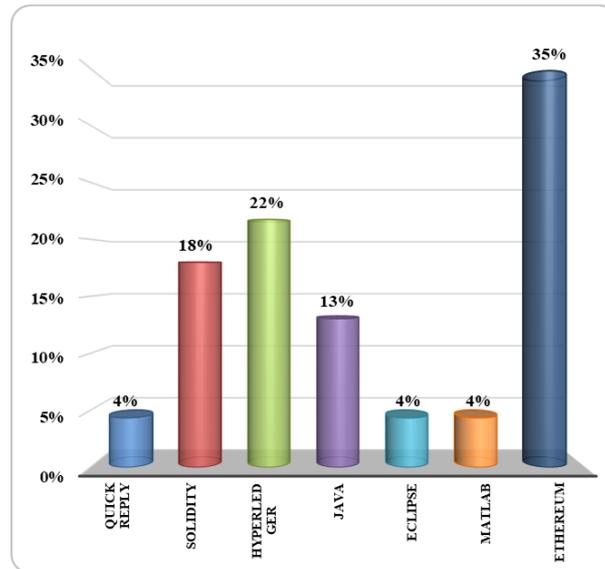


Figura 7. Software.

¿Qué herramientas se utiliza en las propuestas?

La RSL informa que en los 36 artículos se hallaron: *código de barra* 12% que es nombrado en 4 ocasiones, *código QR* 38% que es nombrado en 13 ocasiones, *Internet de las Cosas (IoT)* 9% que es nombrado en 3 ocasiones, *Inteligencia Artificial (IA)* 12% que es nombrado en 4 ocasiones, *Radio frecuencia (RFID)* 29% que es nombrado en 10 ocasiones. El QR es el tipo de herramienta más nombrada en las arquitecturas por su facilidad de interpretación y este código es almacenado en el ledger. IA se aplica a grandes volúmenes de datos, se pronostica que Blockchain genere tantos datos confiables, entonces los smart contract tienen la capacidad de controlar las transacciones entre los participantes; algunas ventajas de usar IA es obtener arquitecturas de datos comerciales optimizados, sistemas de validación globalizados, auditorías optimizadas y sistemas seguros, mejor privacidad y nuevos mercados (Alvarado-Salazar & Llerena-Izquierdo, 2022; Calero Manueles, 2021; Sanchez-Romero & Llerena-Izquierdo, 2023), ver figura 8.

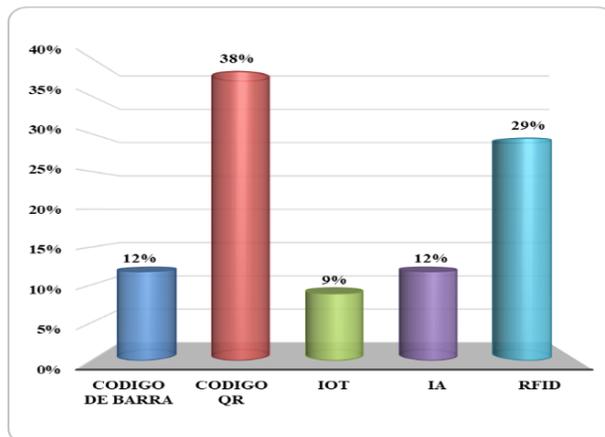


Figura 8. Herramientas.

¿Qué tipo de Blockchain utilizan?

La RSL informa que en los 36 artículos se hallaron: Público 77% que es nombrado en 24 artículos, Privado 19% que es nombrado en 6 artículos, Público-Privado 4% que es nombrado en 1 artículo. La mayor parte de las arquitecturas apuntan a redes Blockchain de tipo Pública porque los consumidores finales pueden entrar a red sólo para ver la trazabilidad de los alimentos y no es necesario que se identifiquen o validen sus movimientos, además que los consumidores no generan transacciones en la red, ver figura 9.

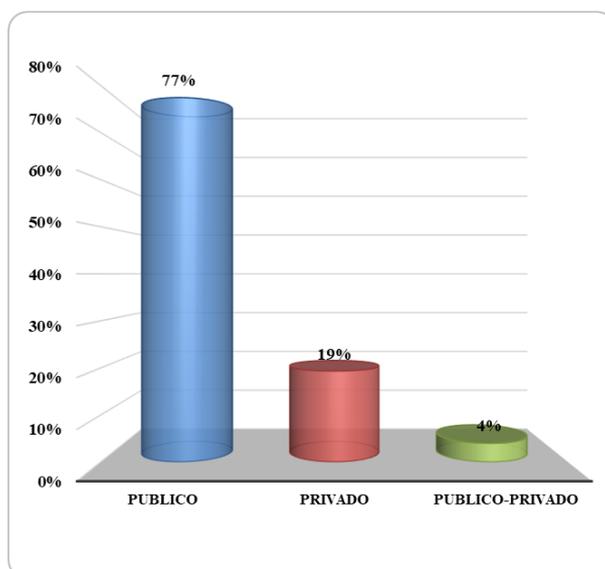


Figura 9. Tipos.

Diseñar una arquitectura de información para la trazabilidad de alimentos orgánicos basado en tecnología Blockchain.

La arquitectura se propone mediante el uso de Blockchain Ethereum y dispositivos IoT para lectura de código QR, esto aumenta la seguridad, mantiene la integridad de los datos y evita el daño financiero; esta propuesta es descentralizada basada en cadenas de bloques que maximiza la confianza entre todos los actores y aumenta la seguridad alimentaria.

Los agricultores son los elegibles para realizar el contrato del “producto orgánico” para revelar el producto físico; cada agricultor conserva un nivel de reputación para emitir un contrato de producto para mantener el seguimiento, la calidad y precios de cada producto; en cada despliegue del contrato se debe entregar una dirección en la generación del código QR que identifica el producto físico. En cada transacción en la cadena de distribución, la dirección del usuario se adiciona a los datos del producto porque es propietario del producto. Los consumidores-finales pueden escanear el código QR por medio de una aplicación móvil que accede al sistema Blockchain Ethereum; además, los consumidores reputan la calidad del producto orgánico para aumentar la confianza en el agricultor.

Se propone el modelo de la arquitectura en capas: Actores, Red, Smart Contract; a continuación, se describe cada una, ver figura 10.

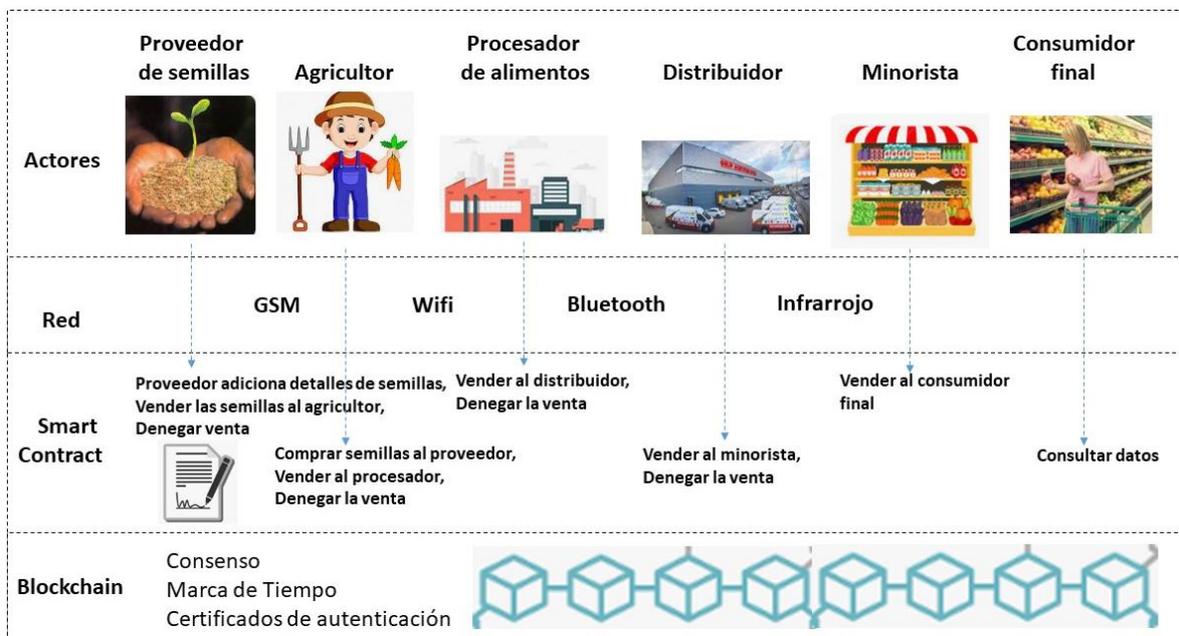


Figura 10. Modelo de arquitectura basada Blockchain Ethereum.

Capa de Actores: La arquitectura abarca los procesos de distribución o cadena de suministro de alimentos orgánicos, desde la granja hasta llegar al consumidor final; para minimizar la complejidad de la arquitectura y los procesos se limitan a los actores como proveedor, agricultor, procesador de alimentos, distribuidores, minoristas y consumidor final; se elimina el transporte en esta versión de la arquitectura. Cada uno de los actores realiza acciones que deben registrarse en el sistema Blockchain.

Proveedores: Son actores que suministran datos de materias primas como semillas, pesticidas y fertilizantes, además de operaciones con los agricultores. El proveedor adiciona: el tipo, la variedad y la cantidad de semillas, el precio de semilla; se establece un límite mínimo y máximo del precio de acuerdo al mercado actual.

Agricultores: Son actores con datos de la granja, prácticas agrícolas, estándar de cultivo, ambiente climático, operaciones con proveedores y procesadores. El agricultor realiza la solicitud de compra de semillas con el tipo y cantidad, la solicitud puede ser aceptada o denegada.

Procesadores de alimentos: Son actores con datos de fábrica, estándar de procesamiento, operaciones con agricultores y distribuidores; el procesador realiza la solicitud al agricultor; el procesador adiciona los datos del cultivo, grado de humedad, calidad, peso. Luego de la compra, el procesador realiza el refinamiento del alimento, verifica la humedad, el cultivo se convierte en producto terminado. Puede ser que en esta cadena de distribución el Procesador de alimentos no sea necesario.

Distribuidores. Son actores con datos de transporte, contextos de almacenamiento (temperatura, tiempo, humedad), operaciones con procesadores y minoristas. El distribuidor realiza la solicitud al agricultor o procesador; es un actor que compra productos sin procesar al agricultor o compra productos al procesador, y luego realiza las entregas al minorista.

Minoristas: Son actores con datos de productos como nombre, peso, calidad, cantidad, precio y fechas de vencimiento; contextos de almacenamiento, operaciones con distribuidores y consumidores. El minorista realiza la solicitud al distribuidor, el minorista realiza la compra de productos al distribuidor en menores cantidades y luego vende al consumidor final.

Consumidores: Son actores que usan dispositivos móviles para conseguir la información detallada de los alimentos orgánicos en toda la cadena; el consumidor final compra el producto en una tienda, y obtiene todos los detalles sobre su compra.

Capa Red: Solo es la conexión general de red que cualquier empresa o persona utiliza para conectarse a internet; la comunicación puede ser por cualquier tipo disponible como GSM, wifi, bluetooth, fibra, entre otros.

Capa Smart Contract: Son convenios autoejecutables que transfieren los activos digitales de acuerdo a criterios predefinidos, la cadena de distribución basado en Blockchain se puede combinar otros sistemas para control de los productos agrícolas, esto permite a los actores realizar un seguimiento del producto que inicia en la granja hasta el consumidor final, y verificar la calidad, estándares y certificaciones (Ramprasath et al., 2023).

Los agricultores, los procesadores de alimentos, distribuidores y minoristas deben registrar sus datos por medio del SC, existen SC entre agricultores y fabricantes, entre fabricantes y distribuidores, entre distribuidores y minoristas. Los clientes no es necesario que se registren por la gran cantidad y solo son visualizadores de la información. Una vez cumplidas las condiciones del contrato inteligente, se activará directamente el contrato correspondiente. Por ejemplo, si las semillas de los productos agrícolas cumplen con los estándares de mejoramiento ecológico y seguro, el contrato entre la empresa de semillas y los agricultores se activará automáticamente. Si una determinada condición no está a la altura del estándar, el contrato será rechazado. El proveedor de semillas puede ingresar la información de datos de semillas agrícolas relevante a través del front-end o transmitirse al sistema a través de un equipo de hardware inteligente en tiempo real.

Cada actor tiene una dirección Ethereum y llama a las operaciones del Smart Contract; el Proveedor de semillas adiciona los detalles de la semilla en la cadena a través la función “Proveedor adiciona detalles de semillas”; los detalles de semillas se presentan a todos los actores que son Agricultores en el sistema; luego se ejecuta un evento llamado “Comprar semillas al proveedor” para hacer los datos accesibles a los proveedores y agricultor. Todas solicitudes de compra del agricultor se presentan al proveedor, ver figura 11.

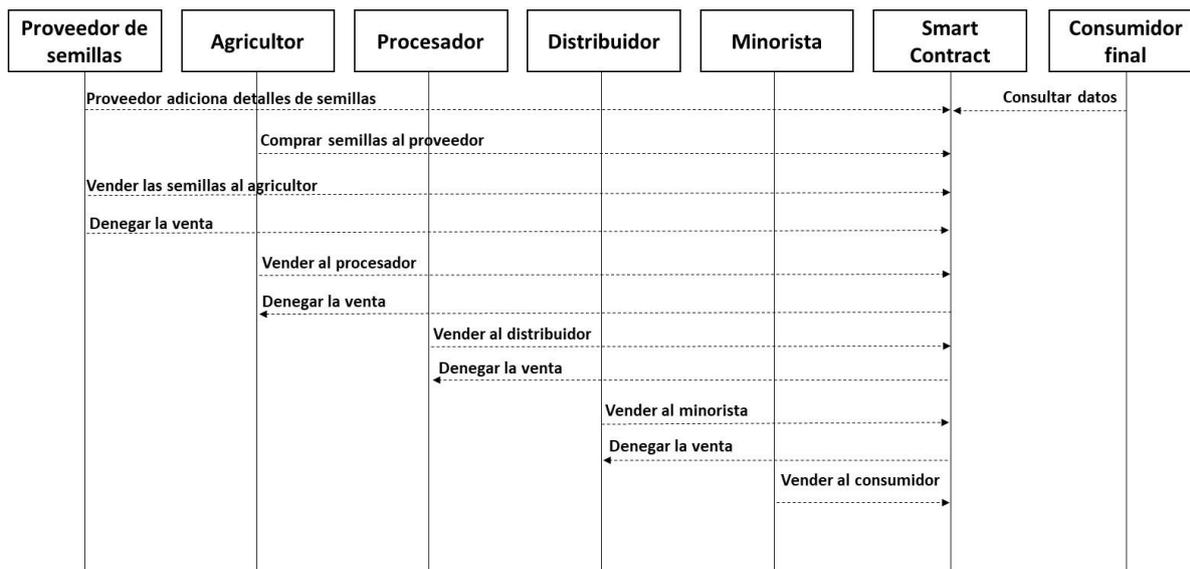


Figura 11. Diagrama de interacción con el Smart Contract.

El proveedor de semillas ejecuta la función “Vender las semillas al agricultor” para registrar los datos como nombre del proveedor, tipo de semilla, cantidad, variedad, precio y las direcciones de Ethereum del proveedor y agricultor. Luego que esta última función se realiza con éxito, la transacción entre estos dos actores se completa con éxito; este mismo patrón sigue para los demás actores en la arquitectura.

A continuación, se describen los algoritmos sugeridos basados en Blockchain.

El algoritmo 1 mantiene los detalles que el proveedor de semillas adiciona al sistema Blockchain; este algoritmo obtiene como parámetros la dirección de Ethereum del proveedor de semillas, el tipo de semilla, la variedad de semilla, la identificación de variedad, la cantidad de semilla y el precio. El proveedor de semillas debe ingresar el precio dentro de un límite mínimo y máximo. Luego de cumplir con los parámetros, se adicionan los datos del proveedor de semillas al sistema.

Algoritmo 1 (Proveedor adiciona detalles de semillas)

Entrada: dirección Ethereum del proveedor de semillas, tipo de semilla, variedad de semilla, identificación de variedad, cantidad, precio de semilla.

1. Restringir el acceso solo al proveedor de semillas.
2. Si el precio de la semilla está dentro del rango entonces
 - adicionar los detalles de la semilla
 - caso contrario
 - revertir la transacción
 - mensaje: “ingresar el precio en el rango”.

finsi

El algoritmo 2 genera la primera transacción entre el proveedor de semillas y el agricultor; solo el agricultor accede a esta función; el agricultor adiciona la cantidad de semillas y entre otros detalles, esta es una solicitud de compra al proveedor de semillas; si la cantidad especificada por el agricultor es menor que el rango del proveedor entonces la solicitud es exitosa.

Algoritmo 2 (Comprar semillas al proveedor)

Entrada: dirección Ethereum del proveedor de semillas, tipo de semilla, variedad de semilla, identificación de variedad, cantidad

1. Restringir el acceso solo a agricultor
2. Si agricultor está registrado y proveedor de semillas está registrado
 - Si cantidad \leq cantidad de proveedor de semillas
 - Si precio pagado = precio deseado
 - cantidad de proveedor = cantidad de proveedor – cantidad
 - precio pagado = verdadero
 - generar un mensaje de notificación
 - caso contrario, mensaje: precio de semilla no pagado
 - finsi
 - caso contrario, mensaje: cantidad no está disponible
 - finsi
 - caso contrario, mensaje: los detalles de la parte interesada no encontrados
 - finsi

Las solicitudes de los agricultores que sean exitosas se presentan al proveedor de semillas; si el agricultor solicita las semillas entonces la cantidad se disminuye de la cuenta del proveedor. Los proveedores de semillas pueden acceder a la función del algoritmo 3; el proveedor puede ver las solicitudes realizadas por el agricultor y puede aceptar o denegar.

Algoritmo 3 (Vender las semillas al agricultor)

Entrada: Dirección Ethereum del agricultor, Dirección Ethereum del proveedor de semillas, tipo de semilla, variedad de semillas, identificación de variedad, cantidad, precio

1. Restringir el acceso solo al proveedor de semillas
2. Si agricultor está registrado y precio pagado es verdadero
 - entonces
 - vender semillas al agricultor
 - generar un mensaje de notificación
- finsi

Si acepta la solicitud, entonces se envía una notificación al agricultor y la transacción se completa. Si niega la solicitud, entonces el monto deducido se devuelve a la cuenta del proveedor y también se devuelve el valor pagado por el agricultor en forma automática a la cuenta del agricultor.

Algoritmo 4 (Denegar la venta)

Entrada: Dirección Ethereum del agricultor, Dirección Ethereum del proveedor, tipo de semilla, variedad de semilla, identificación de variedad, cantidad, precio

1. Restringir el acceso solo al proveedor de semillas.
2. Si el agricultor está registrado y precio pagado es verdadero entonces
 - denegar la venta
 - precio pagado se envía al agricultor
 - generar un mensaje de notificación

finsi

Capa Blockchain: El protocolo de consenso mantiene las acciones de los actores en forma segura (inmutable) en el entorno para que puedan ser rastreadas o seguidas para recuperar el historial. Se adopta el Federated Byzantine Agreement (FBA) que garantiza un sistema descentralizado muy robusto por medio de segmento de quórum; otros sistemas como Ripple y Stellar, utilizan FBA con éxito, y un tiene alto rendimiento, escalabilidad de red y bajos costos por transacción (Thanujan et al., 2021).

En cualquier distribución existen dos acciones posibles; la primera es la acción fraudulenta o incompatible con la agricultura orgánica, por ejemplo, que un agricultor combine fertilizantes sintéticos con fertilizantes orgánicos, esta acción no se debe permitir en el sistema; la segunda acción es alterar una acción ya realizada y almacenada en el sistema, por ejemplo, el intercambio de cifras ya registradas en las pruebas de calidad. Evitar estas acciones es fundamental para aumentar la confianza del consumidor final en distribución de alimentos orgánicos.

Evaluar la arquitectura para posibles mejoras mediante la técnica de la encuesta a profesionales en Tecnologías de la Información y Comunicación.

Se realizó una encuesta electrónica 30 profesionales que son Ingenieros en Sistemas a través de la herramienta Google Form, de esta contestaron 26 ingenieros, es decir el 87% respondió la solicitud para evaluar la arquitectura; se realizaron 10 preguntas con cinco respuestas que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Tipo de respuestas a elegir

Color	Respuesta
	Totalmente de acuerdo
	De acuerdo

●	Ni de acuerdo ni en desacuerdo
●	En desacuerdo
●	Totalmente en desacuerdo

A continuación, se muestra los resultados con sus respectivos análisis.

1. Los datos no pueden ser corrompidos en esta arquitectura

El 65% y 35%, es decir 17 y 9 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta los datos no pueden ser modificados o manipulados; en otras palabras, la arquitectura tiene una característica más en seguridad que es la integridad, ver figura 12.

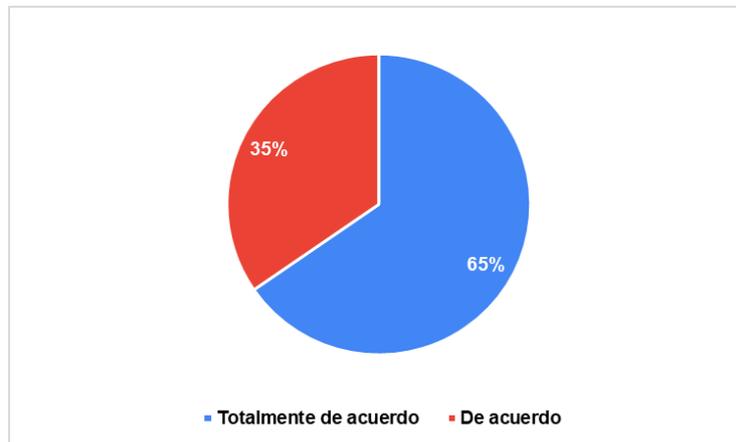


Figura 12. Sin distorsión de datos.

2. La arquitectura descentralizada es entendible

El 65% y 27%, es decir 17 y 7 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta es descentralizada y entendible, y el 8% es decir 2 ingenieros se muestran neutros en esta pregunta; en otras palabras, la arquitectura tiene una característica más en seguridad que es la descentralización, ver figura 13.

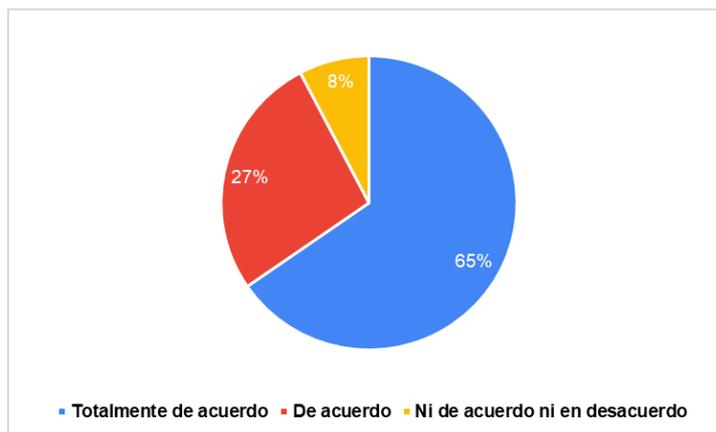


Figura 13. Arquitectura entendible.

3. No es necesario una autoridad central

El 69% y 27%, es decir 18 y 7 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta por su naturaleza el bloque de transacciones no existe una autoridad central, y el 4% es decir 1 ingeniero se muestra neutro en esta pregunta; en otras palabras, la arquitectura por su descentralización nadie es dueño de los datos o definiciones, ver figura 14.

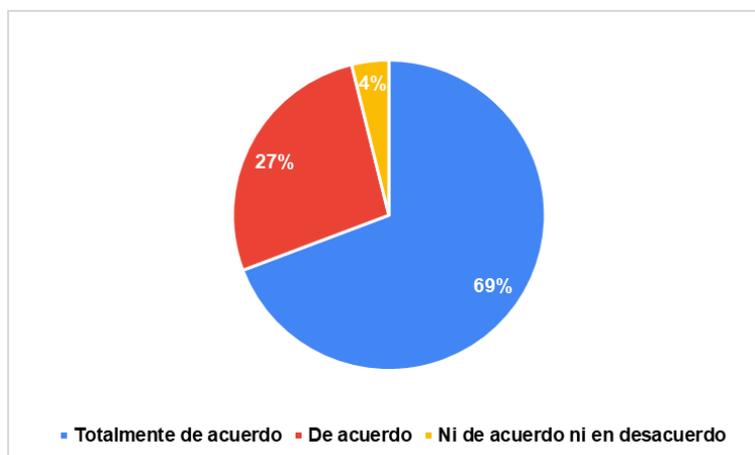


Figura 14. Sin autoridad central.

4. El algoritmo de consenso es suficiente

El 69% y 31%, es decir 18 y 8 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta cualquiera de los algoritmos de consenso utilizado en blockchain es suficiente; en otras palabras, un protocolo de consenso mantiene las acciones de los actores en forma inmutable en el entorno para ser rastreadas en el historial, ver figura 15.

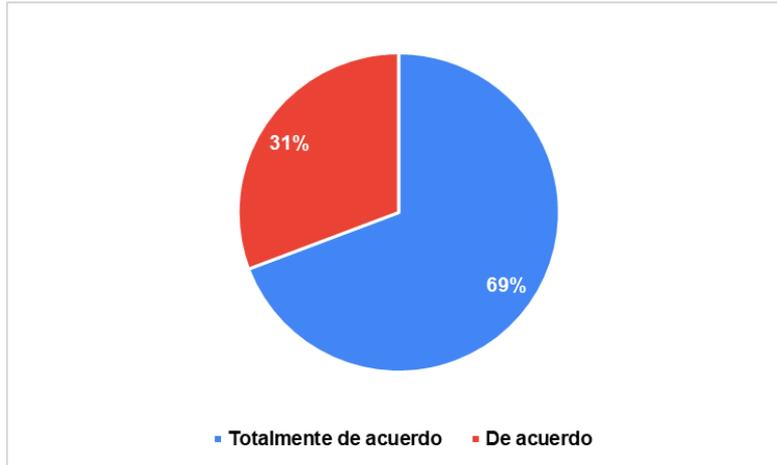


Figura 15. Consenso es suficiente.

5. Los algoritmos para el Smart Contract son suficientes

El 65% y 35%, es decir 17 y 9 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta mantenga los algoritmos nombrados: Proveedor adiciona detalles de semillas, Comprar semillas al proveedor, Vender las semillas al agricultor, Denegar la venta, Vender al procesador, vender al distribuidor, vender al minorista, vender al minorista, consultar datos, ver figura 16.

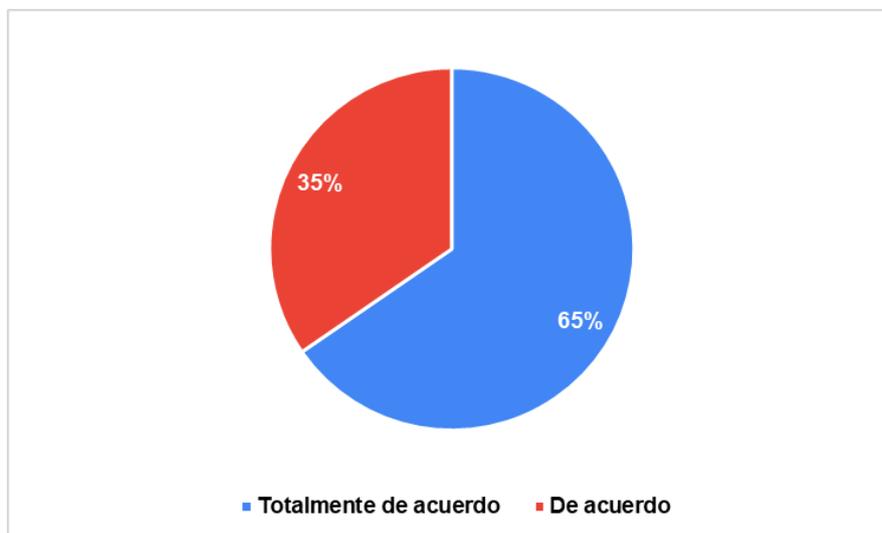


Figura 16. Smart Contract es suficiente.

6. La arquitectura mantiene la seguridad de los datos

El 69% y 31%, es decir 18 y 8 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta si mantiene los datos en forma segura; en otras palabras, el uso de Smart

contract, consenso, credenciales de identificación, mantienen las características principales como confidencialidad, integridad y disponibilidad de todos los datos, ver figura 17.

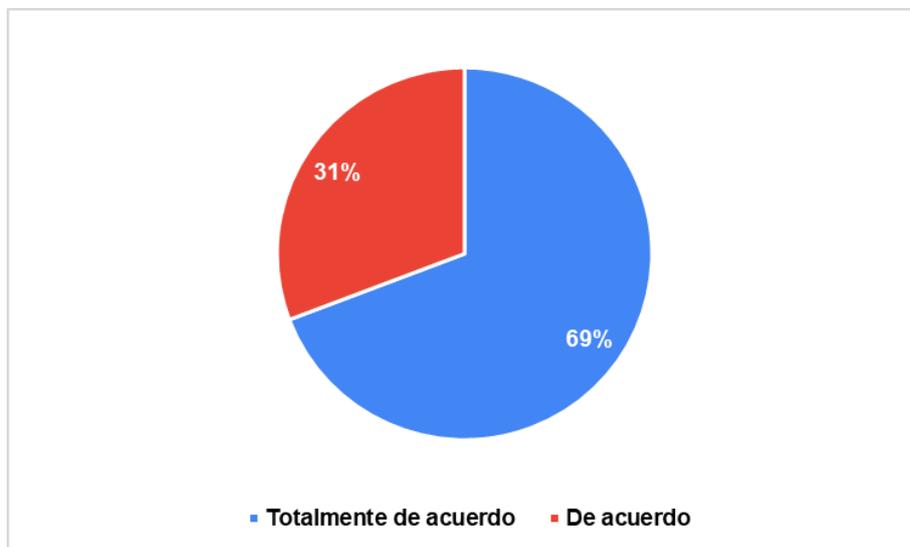


Figura 17. Seguridad de datos.

7. La arquitectura mantiene la transparencia de la información

El 65% y 35%, es decir 17 y 9 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta si mantiene la transparencia de la información; en otras palabras, todas las transacciones guardadas se comparten en forma pública y esto permite que los actores visualicen toda información, ver figura 18.

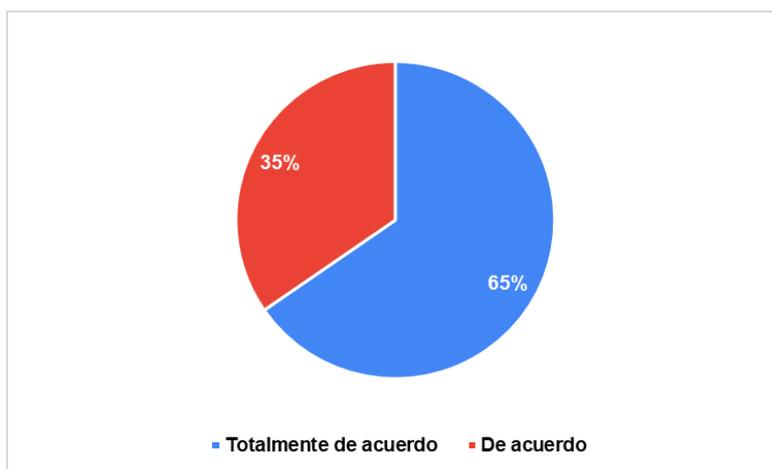


Figura 18. Transparencia de información.

8. La arquitectura mantiene el seguimiento de los alimentos orgánicos

El 69% y 27%, es decir 18 y 7 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta si mantiene el seguimiento de los alimentos orgánicos, y el 4% es decir 1 ingeniero se muestra en desacuerdo en esta pregunta; en otras palabras, el seguimiento a través de las transacciones realizadas por el proveedor, agricultor, distribuidor, minorista se mantienen en la cadena de bloques para que el consumidor final se mantenga informado del alimento, ver figura 19.

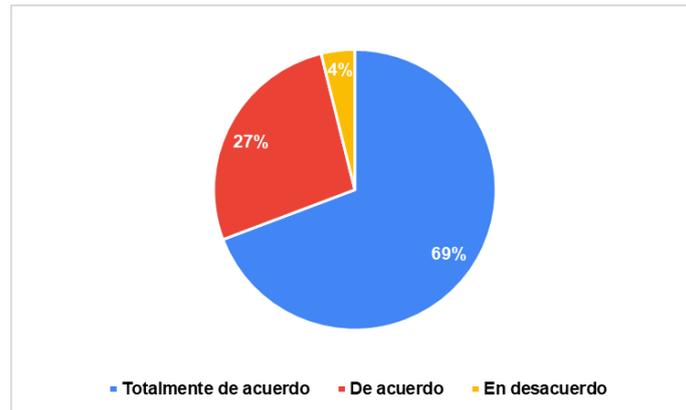


Figura 19. Seguimiento.

9. El consumidor final solo debe ver los datos con permiso público

El 65% y 31%, es decir 17 y 8 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta los clientes finales solo deben visualizar los datos en forma pública, y el 4% es decir 1 ingeniero se muestra en desacuerdo en esta pregunta; en otras palabras, el acceso público al cliente final es más eficiente porque no es necesario que se identifique en la red y el acceso es solo lectura, ver figura 20.

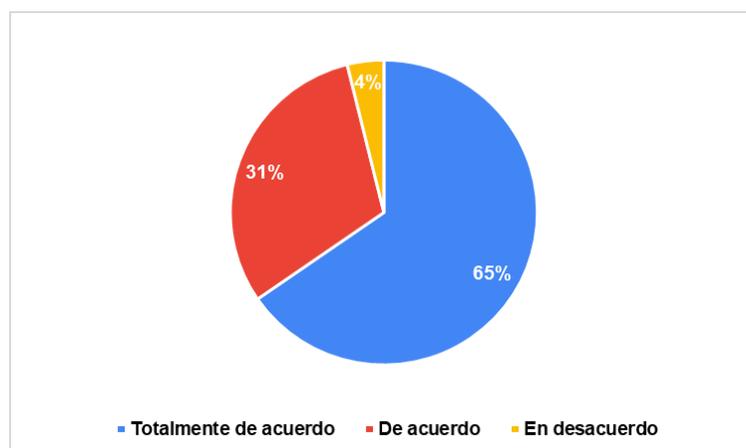


Figura 20. Consumidor con permiso público.

10. Las capas Actores, Red, Smart Contract y Blockchain son suficientes

El 69% y 27%, es decir 18 y 7 ingenieros respectivamente están de acuerdo que en la arquitectura propuesta la cantidad de divisiones en capas son básicas y suficientes, y el 4% es decir 1 ingeniero se muestra en neutro en esta pregunta; en otras palabras, la distribución de los componentes está de acuerdo con otras investigaciones científicas para un mejor entendimiento, ver figura 21.

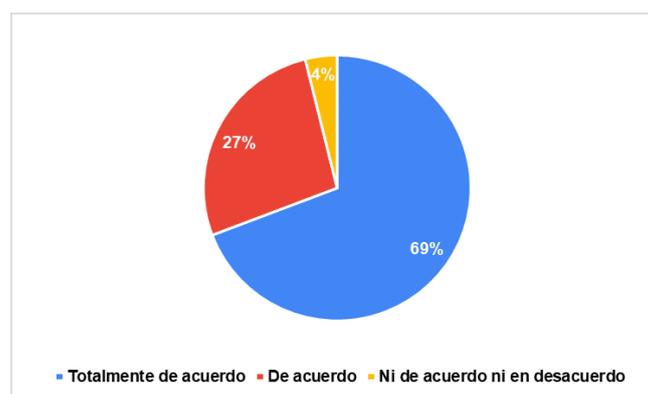


Figura 21. Capas son suficientes.

En forma general la arquitectura tiene una aceptación de 85.64% en la encuesta; esto indica que el modelo tiene potencial para ser mejorado en su diseño, pensando una futura implementación.

5. DISCUSIÓN

Esta investigación muestra acuerdos entre un agricultor y proveedor de semillas para demostrar que las transacciones de Blockchain garantizan la autenticidad, integridad, trazabilidad, transparencia y seguridad durante la distribución de los alimentos orgánicos.

En este modelo se pueden adicionar agencias como una compañía de seguros que cubre los siniestros de los productos agrícolas, o un banco que vela por la transacción de los productos; además pueden adicionarse los reguladores como inspectores o evaluadores, y también ecologistas. El modelo anula la manipulación de los datos por parte de los distribuidores o intermediarios, aumenta la seguridad, mantiene la integridad de los datos, minimiza la contaminación de los cultivos y el daño financiero.

Las semillas y alimentos orgánicos son rastreados y comercializados sin intervención de terceros a lo largo de la cadena de distribución; los componentes y características de la arquitectura se pueden utilizar para mejorar el seguimiento eficaz y descentralizado de productos agrícolas y la información es genérica.

La arquitectura tiene las siguientes características. **Transparencia:** se realiza la captura de datos del alimento orgánico para que estén disponibles para todos los actores de la cadena de suministro, Blockchain anula los fraudes alimentarios porque se registra el seguimiento del alimento. **Eficiencia:** el modelo ayuda en el registro del rastreo, transporte o venta del alimento en forma simple y efectiva, Blockchain mantiene el registro digital de todas las transacciones; el modelo ofrece la trazabilidad de extremo a extremo para auditorías más eficientes. **Transacciones seguras:** la transferencia y validación de los datos es realizada en poco tiempo.

El Blockchain de seguridad alimentaria es un progreso muy significativo para los estándares de seguridad alimentaria con rentabilidad en tiempo y recursos, el almacenamiento permanente de datos minimiza los eventos de contaminación de los alimentos.

Existen otras opciones ya presentes en la agricultura como Rastreo de alimentos de IBM, Proyecto de rastreo de alimentos y Granja inteligente (Thejaswini & Ranjitha, 2020), Aquachain para suministro de agua, AgriBlockIoT para cadena de suministro con ayuda de dispositivos IoT (Sudha & Nancy, 2021),

6. CONCLUSIÓN

Utilizar Blockchain en la agricultura se optimiza el seguimiento, responsabilidad, transparencia y la eficiencia para los agricultores, distribuidores y consumidores finales; este enfoque normal aprovecha Blockchain Ethereum y los Smart Contract para seguimiento, rastreo y realizar acuerdos exitosos mediante la restricción del flujo agrícola.

Esta investigación confirma la aplicabilidad del concepto Blockchain Ethereum para optimizar la transparencia y trazabilidad en la distribución de productos agrícolas en especial de alimentos orgánicos y su proceso además existe un cambio vertiginoso en la producción de alimentos. Se analizó y propuso un método eficiente para maximizar el seguimiento desde el agricultor que produce alimentos orgánicos hasta llegar al consumidor final; la arquitectura basada en Blockchain y sus conceptos mantiene la confiabilidad y transparencia de sus transacciones en cuatro capas Actores, Red, Smart Contract y Blockchain.

En forma general la arquitectura tiene una aceptación de 85.64% en la encuesta; esto indica que el modelo tiene potencial para ser mejorado en su diseño, pensando una futura implementación. Como investigación en el futuro se propone diseñar una arquitectura de recompensa y reconocimiento para la distribución de productos agrícolas basado en Blockchain.

REFERENCIAS

- Alvarado-Salazar, R., & Llerena-Izquierdo, J. (2022). Revisión de la literatura sobre el uso de Inteligencia Artificial enfocada a la atención de la discapacidad visual. *Revista InGenio*, 5(1), 10–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.18779/ingenio.v5i1.472>
- Arguello Lino, R. E., & Coca Hidalgo, J. L. (2023). *Modelo de datos seguros para el sector inmobiliario en Ecuador utilizando tecnología Blockchain*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25036>
- Barrera-Mosquera, V., de los Rios-Carmenado, I., Cruz-Collaguazo, E., & Coronel-Becerra, J. (2010). Analysis of available capitals in agricultural systems in rural communities: the case of Saraguro, Ecuador. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4), 1191–1207.
- Basnayake, B. M. A. L., & Rajapakse, C. (2019). A Blockchain-based decentralized system to ensure the transparency of organic food supply chain. *Proceedings - IEEE International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering, SCSE 2019*, 103–107. <https://doi.org/10.23919/SCSE.2019.8842690>
- Calero Manueles, E. F. (2021). *Aplicación móvil para reconocimiento de texto sobre carnés estudiantiles utilizando visión por computadora basada en la nube*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20902>
- Calle Tapia, W. D. (2023). *Modelo computacional para la trazabilidad de productos farmacéuticos mediante tecnología BLOCKCHAIN*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24067>
- Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M., & Giaffreda, R. (2019). Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. *2019 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IOT-TUSCANY.2018.8373021>
- Chimbolema Yumizaca, L. C. (2023). *Revisión de la literatura sobre el uso del Internet Of Things enfocada a la atención hospitalaria*.
- Córdova, R., Hogarth, N. J., & Kanninen, M. (2019). Mountain farming systems' exposure and sensitivity to climate change and variability: agroforestry and conventional agriculture systems compared in Ecuador's Indigenous Territory of Kayambi people. *Sustainability*, 11(9), 2623.
- Espinosa, P., & Garrett, P. (1987). The relevance of gender in farming systems research: Experiences in Ecuador. *Agricultural Administration and Extension*, 26(2), 101–117.
- Ge, L., Brewster, C., Spek, J., Smeenk, A., Top, J., van Diepen, F., Klaase, B., Graumans, C., & de Ruyter de Wildt, M. (2019). Blockchain for agriculture and food : Findings from the pilot study. *Wageningen Economic Research*. <https://doi.org/10.18174/426747>
- Härtl, F. H., Paul, C., Knoke, T., & others. (2019). Cropping systems are homogenized by off-farm income--Empirical evidence from small-scale farming systems in dry forests of southern Ecuador. *Land Use Policy*, 82, 204–219.
- Jannat, M. U., Ahamed, R., Mamun, A., Ferdous, J., Costa, R., & Biswas, M. (2021). Organic Food Supply Chain Traceability using Blockchain Technology. *2021 International Conference on Science and Contemporary Technologies, ICSCT 2021*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICSCT53883.2021.9642543>
- Jiayue Ren. (2018). RFID enable food supply chain traceability and safety. *International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/LISS.2015.7369741>
- Katti, J., Inde, P., Jadhav, P., Ghule, T., Deshmukh, D., & Dharmale, G. (2022). A Block-Chain Based Approach for Food Supply Chain Management. *2022 13th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2022*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT54827.2022.9984473>
- Laarabi, M., Chegri, B., Mohammadia, A. M., & Lafriouni, K. (2022). Smart Contracts Applications in Real Estate: A Systematic Mapping Study. *2022 2nd International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology, IRASET 2022*. <https://doi.org/10.1109/IRASET52964.2022.9737796>
- Lindao Guevara, R. A. (2023). *Desarrollo web para la gestión y control de prevención de riesgos*

- laborales para la empresa Biofactor SA. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24171>
- Llerena Izquierdo, J. (2014). *Presentación. Primer Congreso Salesiano de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad. Memoria Académica.* <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10961>
- Llerena Izquierdo, J. (2023). *Guía de aprendizaje de programación.* <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24037>
- Llerena Izquierdo, J., & Vélez Chilán, M. (2011). *Determinación de la oferta de calidad de los servicios privados y/o comunitarios reconocidas por el Ministerio de Turismo en la sierra ecuatoriana, Andes.* <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1772>
- Melendrez-Caicedo, G., & Llerena-Izquierdo, J. (2022). Secure Data Model for the Healthcare Industry in Ecuador Using Blockchain Technology. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 252, 479–489. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8_43
- Mochram, R. A. A., Makawowor, C. T., Tanujaya, K. M., Moniaga, J. V., & Jabar, B. A. (2022). Systematic Literature Review: Blockchain Security in NFT Ownership. *Proceedings - IEIT 2022: 2022 International Conference on Electrical and Information Technology*, 302–306. <https://doi.org/10.1109/IEIT56384.2022.9967897>
- Mora-Alvarado, M., & Llerena-Izquierdo, J. (2022). Mobile Application of Registry Information for Urban Planning Context with Augmented Reality and QR Codes. *International Conference on Smart Technologies, Systems and Applications*, 30–43. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-99170-8_3
- Mora Alvarado, M. L. (2021). *Aplicación móvil de información registral para el contexto de la planificación urbana con Realidad aumentada y códigos QR.* <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21702>
- Povea Martillo, J. R. (2021). *Uso de la codificación QR en el sector urbanístico: Un mapeo sistemático.* <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21502>
- Ramprasath, J., Nishath, M. M., Varunkarthick, S., & Gowtham, G. (2023). Secured Data Transaction for Agriculture Harvesting using Blockchain Technology. *2023 2nd International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking Technologies (ViTECoN)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/vitecon58111.2023.10156998>
- Saltos-Layana, A., Carvache-Franco, M., Castro-Iturralde, G., Carvache-Franco, W., Granda-Maldonado, S., & Carvache-Franco, O. (2023). Rural Farms as a Strategy for the Development of Agritourism: A Study in the City of Milagro, Ecuador. *Journal of Environmental Management & Tourism*, 14(3), 883–892.
- Sanchez-Romero, J., & Llerena-Izquierdo, J. (2023). Revisión de la literatura sobre el uso del aprendizaje profundo enfocado en sistemas de inspección ópticos automatizados para la detección de defectos superficiales en el sector de la manufactura. *Revista InGenio*, 6(2), 1–19. <https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i2.680>
- Saurabh, S., & Dey, K. (2021). Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable agri-food supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124731. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124731>
- Shaikh, S., Butala, M., Butala, R., & Creado, M. (2019). AgroVita using Blockchain. *2019 IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2019*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/I2CT45611.2019.9033705>
- Stemmler, H., & Meemken, E.-M. (2023). Greenhouse farming and employment: Evidence from Ecuador. *Food Policy*, 117, 102443.
- Sudha, V., Kalaiselvi, R., & Shanmughasundaram, P. (2021). Blockchain based solution to improve the Supply Chain Management in Indian agriculture. *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*, 1289–1292. <https://doi.org/10.1109/ICAIS50930.2021.9395867>
- Sudha, V., & Nancy, P. (2021). A Study of Blockchain Technology in Agriculture Supply Chain. *2021 International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICAECA52838.2021.9675749>
- Thanujan, T., Rajapakse, C., & Wickramaarachchi, D. (2021). A community-based hybrid blockchain

- architecture for the organic food supply chain. *Proceedings - International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering, SCSE 2021*, 4, 77–83. <https://doi.org/10.1109/SCSE53661.2021.9568325>
- Thejaswini, S., & Ranjitha, K. R. (2020). Blockchain in Agriculture by using Decentralized Peer to Peer Networks. *Proceedings of the 4th International Conference on Inventive Systems and Control, ICISC 2020, Icisc*, 600–606. <https://doi.org/10.1109/ICISC47916.2020.9171083>
- Tse, D., Zhang, B., Yang, Y., Cheng, C., & Mu, H. (2019). Blockchain application in food supply information security. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1357–1361. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290114>
- Umamaheswari, S., Sreeram, S., Kritika, N., & Jyothi Prasanth, D. R. (2019). BIoT: Blockchain based IoT for Agriculture. *2019 11th International Conference on Advanced Computing (ICoAC)*, 324–327. <https://doi.org/10.1109/ICoAC48765.2019.246860>
- Unal, H. T., Mendi, A. F., Firat, B. B., & Taner, T. (2022). Creating A New Supply Chain with Blockchain. *ISMSIT 2022 - 6th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Proceedings*, 656–661. <https://doi.org/10.1109/ISMSIT56059.2022.9932860>
- Viera Vallejo, P. P. (2023). *Modelo de conectividad en la gestión de ventas y pagos para pequeñas empresas basado en IOT*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24176>
- Zerega-Prado, J., & Llerena-Izquierdo, J. (2022). Arquitectura de consolidación de la información para seguros de la salud mediante Big Data. *Memoria Investigaciones En Ingeniería, 0(23 SE-Artículos)*. <https://doi.org/10.36561/ING.23.3>