



CONTENIDO

Contexto	2
¿Qué es y cómo funciona la tecnología blockchain?	3
Blockchain en la cadena productiva de la quinua en Bolivia	5
Recomendaciones	6
Bibliografía	7

Blockchain y un nuevo paradigma de transparencia y eficiencia: El caso de la cadena de valor de la quinua

Andres Díaz Valdivia





Contexto

En la última década, la demanda de la quinua ha aumentado significativamente en los mercados nacionales e internacionales debido a su alto valor nutricional en comparación con otros granos como el trigo, el arroz y la avena. Perú lidera la producción global, con un 43%; le sigue Bolivia, con un 22%; los Países Bajos, Estados Unidos y España contribuyen con menores porcentajes (Collao y Muriel, 2024). La producción boliviana ha enfrentado una disminución en sus rendimientos, lo que plantea diversos desafíos para su sostenibilidad. Los principales, según Collao y Muriel (2024), son:

Deterioro de la calidad del suelo

Las técnicas agrícolas rudimentarias han llevado a la degradación del suelo, lo que redujo su fertilidad y afectó los rendimientos.

Caída de los precios internacionales

La disminución continua de los precios de la quinua convencional ha afectado los ingresos de los productores bolivianos.

Competencia internacional creciente

Otros países han logrado obtener mayores rendimientos a mejores precios, lo que ha desplazado a Bolivia en el mercado internacional.

La pérdida de ventajas competitivas y comparativas en la producción de la quinua boliviana se debe a la utilización de tecnologías agrícolas ineficientes y a la falta de sistemas de información agro-climatológicos que permitan una mejor gestión de riesgos (Collao y Muriel, 2024). La falta de infraestructura adecuada y el acceso limitado al financiamiento agravan aún más la situación para los pequeños productores.

A pesar de estos retos, la quinua real del Altiplano Sur boliviano aún conserva un gran potencial para mantener y ampliar su cuota de mercado en nichos interesados en la producción justa, orgánica y regenerativa. Algunos de estos nichos podrían ubicarse en Estados Unidos, Europa, Asia y Medio Oriente, gracias a sus características diferenciadoras como el contenido nutritivo, el sabor, el tamaño y el color (Collao y Muriel, 2024). Para

lograr esta diferenciación, es esencial el posicionamiento de la quinua real boliviana en mercados internacionales a través de certificaciones de denominación de origen, de procesos productivos regenerativos orgánicos (ROC, por sus siglas en inglés) y de comercio justo (Collao y Muriel, 2024).

La certificación ROC y otras certificaciones similares podrían proporcionar una ventaja competitiva significativa al destacar las prácticas agrícolas sostenibles y éticas empleadas en la producción de la quinua boliviana. Semjantes certificaciones podrían atraer a consumidores conscientes y dispuestos a pagar precios premium, además de abrir nuevas oportunidades de mercado que prioricen productos sostenibles y éticamente producidos (Collao y Muriel, 2024). El enfoque de certificación de producción regenerativa orgánica y de comercio justo podría contribuir a la sostenibilidad económica y ambiental del sector. La implementación de prácticas agrícolas regenerativas mejoraría la fertilidad del suelo y mitigaría los efectos del cambio climático, ambos cruciales para la viabilidad a largo plazo de la

producción quinuera en Bolivia (Collao y Muriel, 2024). Además, el comercio justo podría asegurar mejores condiciones laborales y precios más altos para los productores, y así mejorar sus condiciones de vida y fortalecer las economías locales.

Por lo tanto, el potencial de la introducción de la tecnología blockchain en la cadena productiva de la quinua parte de la necesidad de los productores bolivianos de certificar sus prácticas orgánicas y regenerativas alineadas con el comercio justo. Esto permitiría la apertura de nuevos mercados y la aspiración a mejores ingresos.

¿Qué es y cómo funciona la tecnología Blockchain?

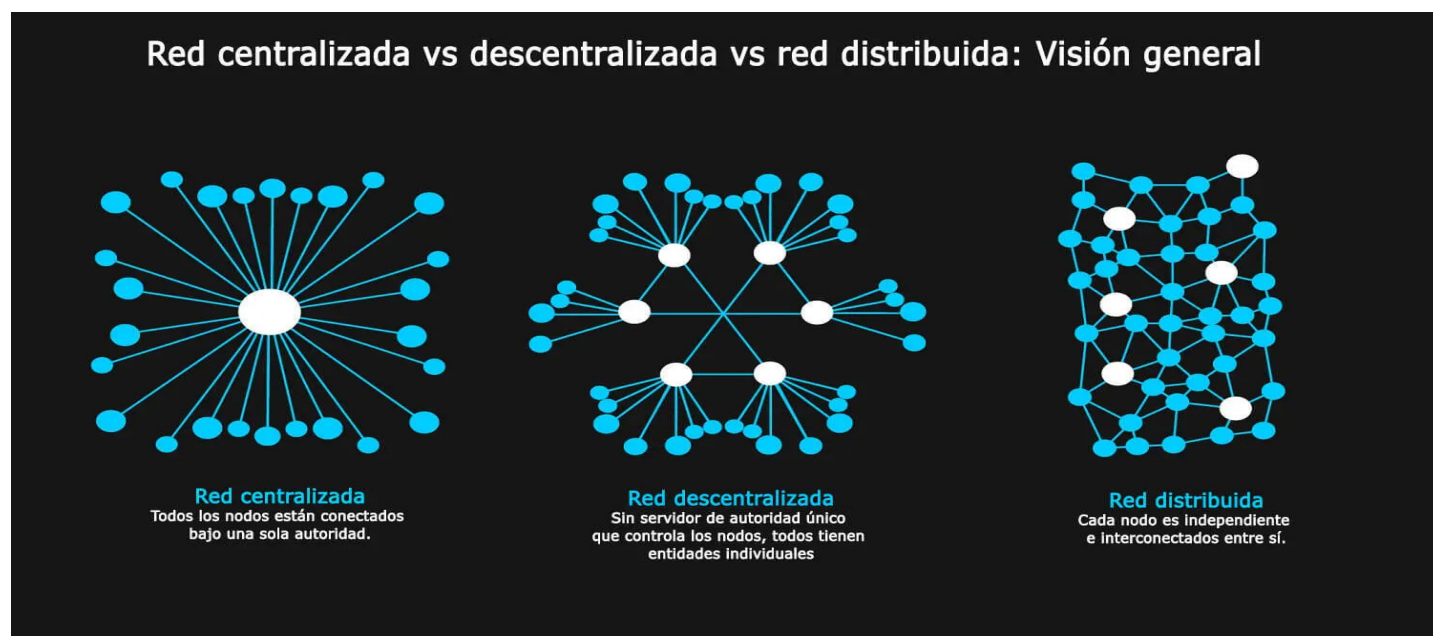
El uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) en la cadena productiva de la quinua (Muriel, 2022), como también la “transparentización” de los procesos productivos, son cruciales para obtener cer-

tificaciones de origen orgánico y de comercio justo. Estas tecnologías facilitan la trazabilidad de un producto desde su cultivo hasta su consumidor final, asegurando el cumplimiento de estándares estrictos. A través de la digitalización de los registros a lo largo de la cadena productiva, y la automatización de informes, es posible garantizar la integridad y autenticidad de la información, lo que es esencial en procesos de auditorías y certificaciones. De esta manera, es posible promover prácticas agrícolas sostenibles y verificables que beneficien a los agricultores, los consumidores y el medio ambiente.

La tecnología blockchain, también conocida como “cadena de bloques”, es parte de las TICs emergentes mencionadas. Esta tecnología se refiere a un sistema de información (i.e. base de datos) descentralizado y/o distribuido (ver Gráfico 1). El sistema permite registrar transacciones de manera segura, transparente e inmutable.

Originalmente, blockchain se desarrolló como la base de la criptomoneda Bitcoin (BTC) hace más de una década (Nakamoto, 2008). Desde entonces, blockchain ha evolucionado y se ha adaptado a una variedad de aplicaciones más allá del ámbito financiero (Buterin, 2014), lo que incluye usos en cadenas de suministro para el sector agrícola (Xiong et al., 2020; Bermeo Almeida et al., 2018). En la actualidad existen múltiples casos de empresas del sector agrícola que utilizan soluciones basadas en esta tecnología para validar la trazabilidad de sus productos orgánicos y para certificar sus procesos alineados con prácticas de comercio justo, desde su origen hasta el consumidor final (van Hilten et al., 2020). De esta forma, blockchain ha demostrado que puede mejorar, de forma exitosa, la transparencia a lo largo de la cadena productiva y asegurar que cada etapa del proceso de producción y distribución sea registrada y verificada, para así garantizar la autenticidad y la calidad del producto.

Gráfico 1 Red centralizada vs Red descentralizada vs Red distribuida



Fuente: <https://101blockchains.com>

Conceptos básicos de blockchain

Descentralización A diferencia de las bases de datos convencionales, que verifican y validan la entrada de datos a través del control centralizado de un único servidor, en una blockchain esta verificación y validación está distribuida entre múltiples nodos en la red. Cada nodo posee una copia completa de la cadena de bloques, lo que elimina la necesidad de intermediarios y reduce el riesgo de fallos centralizados.

Inmutabilidad Una vez que una transacción se registra en la cadena de bloques, no puede ser alterada ni eliminada. Esto se debe a que cada bloque de datos está vinculado criptográficamente al bloque anterior, creando una cadena continua y segura.

Transparencia Todas las transacciones en una blockchain pública son visibles para cualquier persona que tenga acceso a la red. Esto garantiza

la transparencia y permite la auditoría de todas las transacciones registradas.

¿Cómo funciona una Blockchain?

El proceso básico del funcionamiento de una blockchain se detalla a continuación y se ilustra en el Gráfico 2.

Transacciones El proceso comienza con una transacción. Esta consiste en registrar cualquier tipo de información en la base de datos, desde una transferencia de criptomonedas hasta los datos que permiten el seguimiento de un producto en una cadena de suministro.

Bloques Las transacciones se agrupan en bloques. Cada bloque contiene un conjunto de transacciones y un "hash" que identifica y encripta la información del bloque anterior. Así se crea una cadena continua de bloques.

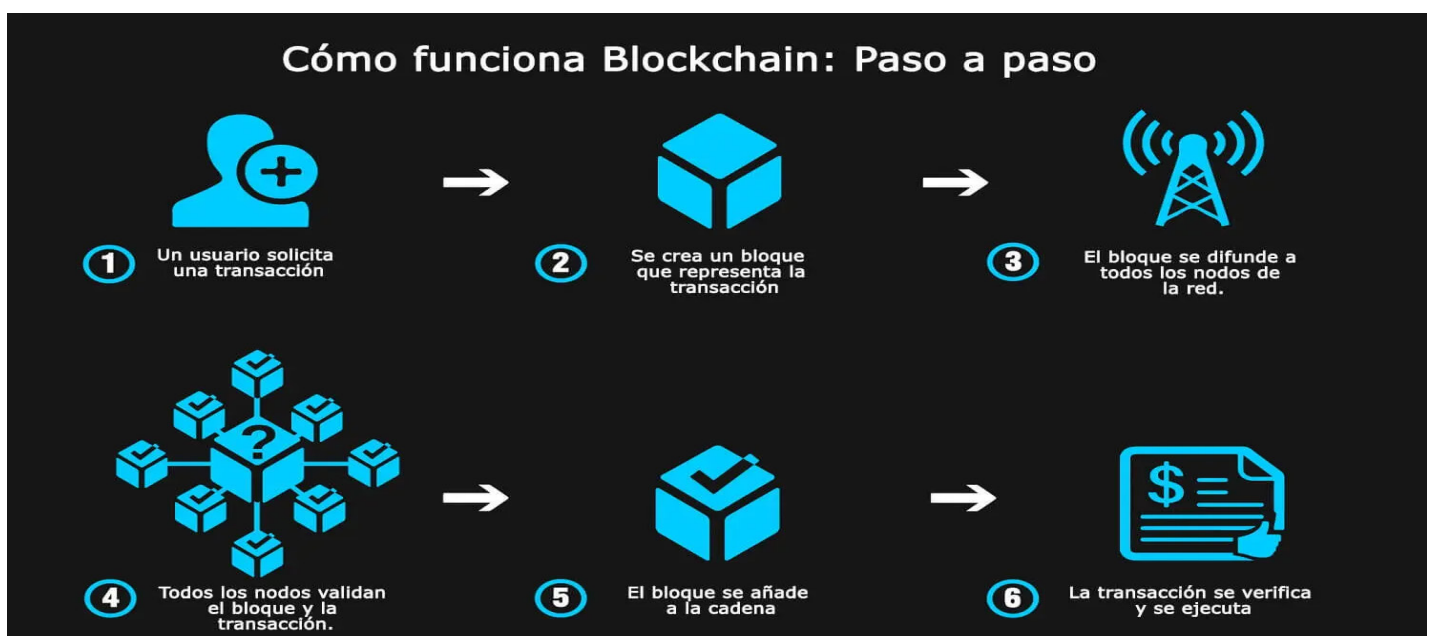
Verificación Antes de que un bloque se agregue a la cadena, debe ser ve-

rificado por los nodos descentralizados de la red. Este proceso, conocido como consenso, asegura que todas las transacciones en el bloque sean válidas y que el bloque no haya sido manipulado. Existen diferentes mecanismos de consenso, siendo los más comunes el Proof of Work (PoW) y el Proof of Stake (PoS).

Agregado a la cadena Una vez verificado, el bloque se agrega a la cadena de bloques y se distribuye a todos los nodos en la red. De esta forma, cada nodo actualiza la base de datos para reflejar la nueva transacción. A diferencia de las bases de datos convencionales, donde existen varias copias de la información y donde se requiere que una entidad centralizada las verifique, integre y actualice (lo que implica el uso de recursos costosos y de tiempo), los sistemas de información propuestos a través de blockchain actualizan a -casi- tiempo real una única base de datos.

Seguridad criptográfica La seguridad de blockchain se basa en la criptografía.

Gráfico 2 ¿Cómo funciona una blockchain?



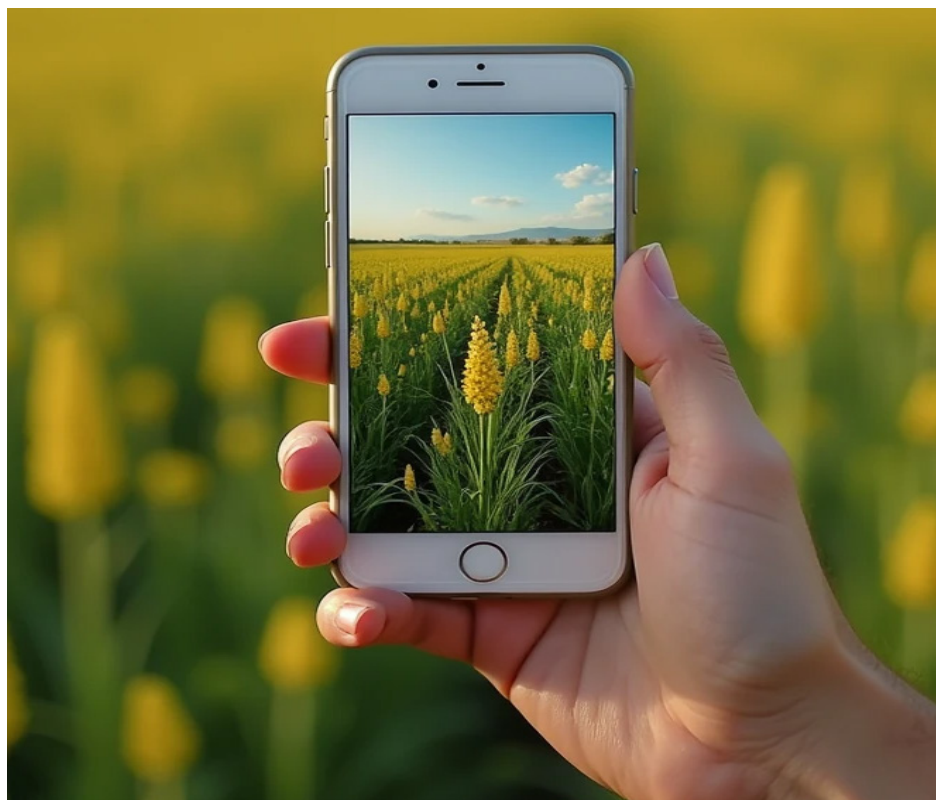
Fuente: <https://101blockchains.com>

tografía. Cada bloque contiene un hash criptográfico único que actúa como una huella digital. Si se intenta alterar la información en un bloque, el hash cambiará y alertará a la red de la manipulación.

Contratos inteligentes Blockchain permite la implementación de contratos inteligentes, que son acuerdos autoejecutables con términos programados en el código. Estos contratos se ejecutan automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones, lo que asegura el cumplimiento de los términos sin necesidad de intermediarios.

Box Ejemplo: Aplicación de blockchain en la cadena agrícola

Con base en los estudios de caso analizados por van Hilten et al. (2020), se propone la iniciativa denominada Fairfood: Back to the Origin. Este caso describe una solución de blockchain pública y de código abierto diseñada para la nuez moscada y su rastreo con respecto al comercio justo y la producción orgánica, desde su origen hasta el consumidor. Este proyecto de trazabilidad está dirigido a múltiples interesados, como Versteegen Spices, que vende nuez moscada procedente de Indonesia en el mercado de los Países Bajos. La solución blockchain implementada permite a los agricultores utilizar una aplicación en sus dispositivos móviles para confirmar cada transacción y asegurar un pago justo. Los consumidores pueden escanear un código QR para obtener información detallada sobre el origen del producto y sobre el pago justo al agricultor. Esta trazabilidad se extiende a lo largo de toda la cadena de suministro, proporciona transparencia y mejora la confianza del consumidor en los productos orgánicos y de comercio justo. La



implementación de su tecnología ha permitido una mayor transparencia en la cadena de suministro, y con ello ha podido asegurarles a los consumidores que el producto que compran cumpla con estándares orgánicos y de comercio justo. Además, ha mejorado la recolección y el intercambio de datos, facilitando la gestión del riesgo y la rendición de cuentas dentro de la cadena de suministro.

Blockchain en la cadena productiva de la quinua en Bolivia

La tecnología blockchain representa una solución innovadora para mejorar la trazabilidad, transparencia y gobernanza en la cadena productiva de la quinua en Bolivia. Esta cadena abarca varias etapas, desde la provisión de semillas y producción, hasta la comercialización y el consumo final (Collao y Muriel, 2024). En este boletín se propone que la implementación de blockchain puede permitir

que cada fase del proceso sea verificable y auditable, lo que es crucial para obtener certificaciones orgánicas, regenerativas y de comercio justo. De esta forma, se podría beneficiar tanto a los productores como a los consumidores, a tiempo de contribuir al desarrollo sostenible del sector agrícola quinero en Bolivia. A partir de la descripción de la cadena productiva propuesta por Collao y Muriel (2024), se explicará brevemente cómo blockchain puede integrarse y realizar el registro de los procedimientos en cada una de las etapas de la producción, para así beneficiar a todos los actores involucrados.

Provisión de semillas

En esta etapa inicial, los productores y las instituciones (por ejemplo, el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, INIAF) registran en la blockchain cada lote de semillas, ya sean tradicionales o mejoradas. Esta documentación detalla el origen, el tipo y las certificaciones

de las semillas, lo que proporciona una trazabilidad completa que les permite a los agricultores y los compradores verificar la autenticidad y la calidad.

Producción de la quinua

Durante la producción, los productores registran actividades específicas en la blockchain:

Preparación del suelo Los métodos y los insumos utilizados, como los fertilizantes orgánicos o químicos, son documentados en la blockchain. De este modo se hace posible monitorear las prácticas sostenibles.

Siembra Detalles como fechas, métodos y ubicaciones se registran en la blockchain, lo que asegura que la siembra cumpla con estándares orgánicos y de comercio justo.

Manejo de plagas y enfermedades Se documentan los tratamientos aplicados -incluyendo los productos y las dosis-, lo que facilita la auditoría de insumos y asegura el uso adecuado de bio-insecticidas y bio-fungicidas.

Cosecha y post cosecha Las actividades de cosecha y los métodos de secado, trilla y almacenamiento se registran en la blockchain, lo que garantiza la transparencia desde la cosecha hasta el almacenamiento.

Acopio y comercialización

En esta fase, todas las transacciones de compra y venta se documentan en la blockchain, lo que ofrece un historial completo que les permita a los compradores verificar la procedencia y la calidad del producto. Este nivel de detalle mejora la confianza y permite un monitoreo efectivo del mercado. Los actores involucrados incluyen: asociaciones de productores, empre-



sas agroexportadoras, compradores informales, mayoristas/fraccionadores y detallistas. La motivación de su participación en esta plataforma se enfocaría en el rédito económico que implicaría la certificación orgánica, regenerativa y de comercio justo.

Beneficiado y transformación

Las etapas de limpieza de impurezas y de transformación en productos derivados son registradas detalladamente. Esto no solo garantiza la calidad del producto final conforme a los estándares de certificación, sino que también les permite a los consumidores y los certificadores rastrear el proceso de producción completo.

Gobernanza y participación de actores claves

La implementación de blockchain involucra la creación y el uso consensuado de Smart Contracts, para lo cual es necesaria la participación de todos los actores de la cadena en su diseño e implementación. Desde los productores hasta los exportadores, todos deben contribuir en una plataforma descentralizada. Esto asegu-

raría una gobernanza transparente y eficaz, reduciendo riesgos de corrupción y mejorando la cooperación entre los actores involucrados.

En resumen, la adopción de blockchain en la cadena productiva de la quinua en Bolivia promete no solo optimizar la eficiencia y la verificación de estándares de calidad y sostenibilidad, sino que también podría fortalecer las posiciones de mercado para los productores bolivianos en el ámbito global, lo que aseguraría prácticas agrícolas más sostenibles y equitativas.

La tecnología blockchain representa una solución innovadora para mejorar la trazabilidad, transparencia y gobernanza en la cadena productiva de la quinua en Bolivia.

Recomendaciones

A continuación se detallan cinco recomendaciones clave para implementar esta tecnología en la cadena productiva de la quinua real en Bolivia.

Desarrollo de infraestructura tecnológica

Para implementar efectivamente la tecnología blockchain, es crucial invertir en infraestructura tecnológica. Esto incluye no solo invertir en la mejora de la conectividad a Internet en áreas rurales (donde los productores de quinua se encuentran), sino también en la provisión de dispositivos tecnológicos que sean adecuados para su uso en el área rural. El acceso a Internet de alta calidad será fundamental para asegurar que todas las transacciones y los datos sean registrados y que, además, sean accesibles en tiempo real en la blockchain. Equipar a los productores con la tecnología adecuada les permitirá participar activamente en el proceso, desde la documentación de la producción hasta el seguimiento de sus productos a lo largo de la cadena de suministro.

Capacitación y educación

Implementar programas de capacitación y educación es esencial para asegurar que todos los actores de la cadena productiva comprendan cómo utilizar y beneficiarse de la tecnología blockchain. Estos programas deberían incluir talleres prácticos, cursos en línea y soporte técnico continuo, adaptados a diferentes niveles de habilidad y experiencia tecnológica. La formación debe cubrir no solo los aspectos técnicos acerca de cómo operar con la tecnología, sino también acerca de cómo puede ser utilizada la tecnología para mejorar la eficiencia, la transparencia y la rentabilidad de

los negocios. Además, la educación continua puede ayudar a mantener a todos los actores actualizados sobre las mejoras y evoluciones de la tecnología blockchain.

Colaboración entre actores del sector

La colaboración entre diversos actores (e.g. gobiernos, organizaciones no gubernamentales, empresas tecnológicas, universidades, asociaciones de productores) es fundamental para desarrollar e implementar soluciones blockchain sostenibles y adaptadas a las necesidades locales. Estas colaboraciones pueden facilitar el intercambio de conocimientos y recursos, lo que es vital para una implementación de blockchain que sea económicamente viable y tecnológicamente efectiva. Trabajar conjuntamente también puede contribuir a asegurar que las soluciones desarrolladas sean inclusivas y que beneficien a todos los miembros de la cadena productiva, desde los pequeños agricultores hasta los grandes distribuidores.

Desarrollo de políticas públicas

Es crucial promover el desarrollo de políticas y marcos regulatorios que no solo faciliten la adopción de blockchain, sino que también protejan los datos de los usuarios y que aseguren la integridad del sistema. Estas políticas deben crear un ambiente favorable para el uso de blockchain con claridad legal y protección contra el abuso potencial. Al mismo tiempo, deben promover la innovación y permitir que la tecnología evolucione de manera que continúe beneficiando a la industria. La colaboración entre legisladores, expertos en tecnología y representantes de la industria agrí-

cola será vital para desarrollar políticas que apoyen una adopción ética y efectiva de la blockchain.

Pruebas y pilotos

Antes de una implementación a gran escala, es aconsejable iniciar con proyectos piloto en áreas específicas para evaluar la viabilidad técnica y económica de la tecnología blockchain. Estos deben ser diseñados para recoger datos sobre el impacto real, los desafíos enfrentados y los beneficios obtenidos de la implementación de la blockchain. Al evaluar los proyectos, los stakeholders pueden ajustar los procesos, la formación y la tecnología necesarios antes de un lanzamiento a mayor escala. Además, los resultados de los pilotos pueden servir para demostrar el valor de la blockchain a los financiadores y a otros actores importantes, y refinar el enfoque para futuras implementaciones.

Estas recomendaciones buscan garantizar una transición suave y efectiva hacia la integración de la tecnología blockchain en la cadena productiva de la quinua, lo que maximizaría sus beneficios mientras que, al mismo tiempo, se minimizan los riesgos y los desafíos.

Estas recomendaciones buscan garantizar una transición suave y efectiva hacia la integración de la tecnología blockchain en la cadena productiva de la quinua

Bibliografía

Bermeo Almeida, O., Cardenas Rodriguez, M., Samaniego-Cobo, T., Ferruzola Gómez, E., Cabezas Cabezas, R., Bazán Vera, W. (2018). Blockchain in Agriculture: A Systematic Literature Review. En: Valencia García, R., Alcaraz Mármol, G., Del Cioppo-Morstadt, J., Vera Lucio, N., Bucaram Leverone, M. (ed.). Technologies and Innovation. CITI 2018. Communications in Computer and Information Science, vol. 883. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00940-3_4

Buterin, V. (2014). Ethereum Whitepaper: A Next-Generation Smart-Contract and Decentralized

Application Platform. <https://ethereum.org/en/whitepaper/>

Collao, R. y Muriel, B. (2024). Situación actual y perspectivas del sector quinero en Bolivia. La Paz, Bolivia: INESAD (Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo). Serie Documentos de Trabajo sobre Desarrollo No. 06/2024. Abril 2024

Muriel, S. (2022). Mapeo de posibles instrumentos de Tecnologías de Información y Comunicaciones para la producción de quinua del altiplano boliviano. La Paz, Bolivia: INESAD (Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo). Serie Documentos de Trabajo sobre Desarrollo No. 03/2022. Julio 2022

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. <https://bitcoin.org/en/bitcoin-paper>

van Hilten, M., Ongena, G. y Ravesteijn, P. (2020). Blockchain for Organic Food Traceability: Case Studies on Drivers and Challenges. Front. Blockchain 3:567175. doi: 10.3389/fbloc.2020.567175

Xiong, H., Dalhaus, T., Wang, P. y Huang, J. (2020). Blockchain Technology for Agriculture: Applications and Rationale. Front. Blockchain 3:7. doi: 10.3389/fbloc.2020.00007

Investigador

Andrés Díaz Valdivia - Economista, investigador y consultor internacional.

Las opiniones expresadas en este documento pertenecen a los autores y no necesariamente reflejan la posición oficial de las instituciones auspiciadoras ni de la Fundación INESAD (Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo).

