

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Implementación de un sistema de seguridad en la trazabilidad de
productos agrícolas usando Blockchain en IoT

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telemática

Presentado por:

ISAIAS EMILIO PONCE ALVARADO
CARLOS XAVIER CEVALLOS SALAS

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme culminar esta gran etapa de mi vida junto a mi familia.

A mis padres, quienes se han esforzado por darme la mejor educación y brindarme su apoyo en todo momento de adversidad.

A mis hermanos, por su confianza y apoyo incondicional.

Carlos Xavier Cevallos Salas

El presente trabajo está dedicado principalmente a Dios, por brindarme la fortaleza para enfrentar los distintos retos estudiantiles.

A mi madre, Sara Alvarado, por inspirarme desde muy temprana edad a ser un profesional de éxito como lo es ella.

A mis hermanos, Andrés Ponce y Sara Ponce, por aportar motivación cuando hacía falta.

Isaías Emilio Ponce Alvarado

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Carlos Xavier Cevallos Salas e Isaías Emilio Ponce Alvarado y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Carlos Xavier Cevallos
Salas

Isaías Emilio Ponce
Alvarado

EVALUADORES

.....
Nombre del Profesor

José Eduardo Córdova García

.....
Nombre del Profesor

Néstor Xavier Arreaga Alvarado

RESUMEN

La trazabilidad de los productos agrícolas constituye una herramienta de gestión de riesgos, ya que facilita la identificación de problemas en la gestión de alimentos y brinda información específica sobre las condiciones de estos. Por ello, la información que se maneja a través de esta herramienta es de suma de importancia para la conservación de la calidad de los productos. En ese sentido, este proyecto tuvo como objetivo implementar un sistema de seguridad de información en la trazabilidad de productos agrícolas usando Blockchain en Internet of Things para la mitigación de ataques cibernéticos. Por una parte, el blockchain en la agricultura consiste en una estructura de datos formada por bloques originados en los registros provenientes de la trazabilidad del producto agrícola. Dicha estructura funciona mediante el paradigma de Internet of Things, es decir, dispositivos conectados a la red a través de sensores que permiten asegurar la integridad de la información; de esta manera, se previenen ataques cibernéticos. En específico, el sistema en este proyecto consistió en un conjunto de sensores cuyos datos fueron recolectados por nodos peer to peer que funcionaban como servidores web, estos reportaban la información a propietarios de hipermercados y consumidores finales mediante una aplicación web. Posteriormente, la evaluación del sistema realizada por los usuarios determinó que este poseía un buen rendimiento. Además, la cotización del costo de sistema resultó viable. Por último, se concluye que la propuesta permite monitorear las condiciones de los productos de forma segura y conservar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información.

Palabras Clave: Trazabilidad, Productos agrícolas, Blockchain, Internet of Things.

ABSTRACT

The traceability of agricultural products constitutes a risk management tool, since it facilitates the identification of problems in food management and provides specific information on their conditions. For this reason, the information that is handled through this tool is of utmost importance for the preservation of the quality of the products. In that sense, this project aimed to implement an information security system in the traceability of agricultural products using Blockchain on the Internet of Things to mitigate cyber-attacks. On the one hand, the blockchain in agriculture consists of a data structure formed by blocks originated in the proven records of the traceability of the agricultural product. This structure works through the paradigm of the Internet of things, that is, devices connected to the network through sensors that ensure the integrity of the information; in this way, cyber-attacks are prevented. Specifically, the system in this project consisted of a set of sensors whose data was collected by peer-to-peer nodes that functioned as web servers, these reported the information to hypermarket owners and end consumers through a web application. Subsequently, the evaluation of the system by users determined that it had a good performance. In addition, the quote for the system cost was viable. Finally, it is concluded that the proposal allows monitoring the conditions of the products in a secure way and preserving the integrity, confidentiality, and availability of the information.

Keywords: Traceability, Agricultural Products, Blockchain, Internet of Things.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	3
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
CAPÍTULO 2	8
2. Metodología.....	8
2.1 Hardware.....	8
2.1.1 Raspberry Pi 3 B+.....	8
2.1.2 IP65 Enclosure.....	8
2.1.3 Antena-Lector RFID ZK-RFID 101	9
2.1.4 Etiqueta Pasiva RFID TE25	9

2.1.5	Sensor DHT11	9
2.1.6	Shield 4G	9
2.2	Software	9
2.2.1	Front-End.....	10
2.2.2	Back-End:	10
2.3	Arquitectura con conectividad.....	11
2.4	Diseño de interfaz.....	15
2.4.1	Diseño de interfaz para propietarios de hipermercados	15
2.4.2	Diseño de interfaz para consumidores	18
2.5	Limitaciones del estudio	22
CAPÍTULO 3		23
3.	Resultados Y ANÁLISIS	23
3.1	Análisis de costos	23
3.2	Pruebas de rendimiento.....	26
3.2.1	Procesamiento	26
3.2.2	Experiencia de usuario.....	27
3.2.3	Rendimiento.....	28
CAPÍTULO 4		31
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	31
	Conclusiones.....	31
	Recomendaciones.....	31
BIBLIOGRAFÍA		32
APÉNDICES.....		37

ABREVIATURAS

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

AWS Amazon Web Services

SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mm	Milímetro
m	Metro

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Esquema de las etapas de sensado	12
Figura 2. 2 Esquema de las etapas de sensado	14
Figura 2. 3 Realización de transacciones hacia los nodos mineros en AWS	16
Figura 2. 4 Transacciones y minado en los nodos trabajadores	17
Figura 2. 5 Transacciones y minado en los nodos trabajadores	17
Figura 2. 6 Transacciones y minado en los nodos trabajadores	18
Figura 2. 7 Homepage del aplicativo web	19
Figura 2. 8 Inicio de sesión	20
Figura 2. 9 Interfaz de registro	21
Figura 2. 10 Estadísticas sobre las características de los productos en las etapas de la trazabilidad	22
Figura 3.2. 1 KPI para el tiempo de consulta de información	26
Figura 3.2. 2 Tiempo medio en realizar una tarea en la aplicación web	27
Figura 3.2. 3 Tiempo medio de carga del CPU en realizar las transacciones	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Soluciones alternativas para la sistematización de la trazabilidad de productos alimenticios	5
Tabla 2.1 Estructura de datos de las tablas de la base de datos	13
Tabla 3.1 Costos de implementación de un nodo [32, 33, 34, 35].....	23
Tabla 3.2 Costos adicionales para un nodo en la etapa de distribución [36, 37].	24
Tabla 3.3 Costos de implementación del sistema en la nube de AWS [38].....	25
Tabla 3.4 Resultados de latencia y carga según el tipo de plataforma en la nube. ...	29

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los países latinoamericanos están dotados de una variedad de recursos naturales altamente cotizados y demandados por el mercado internacional. Por muchos años, la transformación y comercialización de dichos recursos ha sido la principal fuente económica de la región latinoamericana. En la actualidad, este sector aún representa una parte importante de la economía de dicha región [1].

En el caso de Ecuador, los ingresos percibidos están fuertemente relacionados con el sector primario, específicamente, el sector agrícola [2]. En ese sentido, la trazabilidad de los productos agrícolas juega un rol fundamental en la gestión de la cadena de suministro de la industria agrícola ecuatoriana.

La trazabilidad es una herramienta de gestión de riesgos, ya que permite identificar oportunamente problemas en la gestión de alimentos y brindar información específica sobre los productos agrícolas a los consumidores o partes interesadas [3]. De esta manera, es posible cumplir con los estándares de calidad y garantizar la fidelización de clientes.

No obstante, la trazabilidad llevada a cabo en el sector agrícola ecuatoriano aún se basa en procesos manuales que dependen mucho del factor humano. De hecho, la tecnología empleada no es tan valorada como este factor [4]. Esta situación compromete seguridad de la información de los procesos en sí mismo, así como la calidad de los productos agrícolas.

Por todo aquello, este proyecto tiene como objetivo estudiar la seguridad en la trazabilidad de productos agrícolas usando Blockchain en Internet of Things para la mitigación de ataques cibernéticos. De esta manera, se lograría proteger la información de la cadena de suministro del sector agrícola. En consecuencia, garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad y requerimientos de las partes interesadas.

1.1 Descripción del problema

En Ecuador, las tecnologías de la información y comunicación (TICs), así como los dispositivos inteligentes son relativamente novedosos. De manera que aún existen muchos procedimientos basados en tecnología obsoleta, lo cual imposibilita brindar bienes y servicios acorde a las necesidades de los clientes [5]. Pero incluso en los sectores en donde las TICs llevan más de una década, se conoce que no son empleadas de forma efectiva [6].

La trazabilidad en el sector agrícola no se excluye de dicha situación, por el contrario, la mayoría de los procesos en este sector se basan en el talento humano, el cual es más valorado que la tecnología [4]. Esto se debe, precisamente, al manejo ineficiente de las tecnologías y el desconocimiento de estas, lo cual otorga una perspectiva negativa de sus beneficios [5].

En consecuencia, se generan desperdicios a nivel tecnológico y financiero. A su vez, esto implica un incremento de errores humanos y, con ello, una interrupción en el correcto funcionamiento de la cadena de suministro de productos agrícolas. Por último, impacta negativamente en la experiencia de cada uno de los actores involucrados en la cadena.

1.2 Justificación del problema

La trazabilidad de productos de diferente índole representa un aspecto clave en la cadena de suministro, puesto que facilita principalmente el cumplimiento de estándares de calidad [7]. Por ello, en la actualidad, existen algunos estudios enfocados en sistematizar este proceso y con ello, reducir los errores no controlables que se pueden producir por el factor humano [8].

La importancia de sistematizar la trazabilidad de los productos agrícolas va más allá de un tema de calidad, se trata también de responsabilidad social. Esto debido a que, al reducir los desperdicios generados por la mano de obra u otros tipos de fallas, se reduce también el impacto ambiental. Así mismo, se trata de seguridad de la información, de lo cual se hará énfasis a lo largo de este estudio.

La información involucra cada etapa de la cadena de suministro, ya que facilita el flujo de estas. Así mismo, guarda una estrecha relación con los actores involucrados: mayoristas, minoristas, exportadores, empleados, consumidores, entre otros. Por ello, poseer mecanismos que brinden seguridad y respaldo a la información durante la trazabilidad de los productos, permitirá prevenir amenazas que pondrían en riesgo el flujo continuo de las actividades.

Por último, se conoce que los sistemas tradicionales que se emplean en el ámbito de seguridad informática son centralizados, lo cual implica que, ante alguna amenaza o ataque, la afectación se dará a nivel general. Por el contrario, los sistemas descentralizados segregan las funciones, posibilitando la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información. Uno de estos sistemas es el blockchain, el cual trabaja con firmas digitales, facilitando la inmutabilidad de los registros transaccionales. En consecuencia, otorga mayor seguridad a la cadena de suministro de productos agrícolas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de seguridad de información en la trazabilidad de productos agrícolas usando Blockchain en Internet of Things para la mitigación de ataques cibernéticos.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Usar etiquetas RFID para la identificación y trazabilidad de los productos.
2. Diseñar una red P2P de nodos trabajadores en la nube aplicando algoritmos de consenso y Proof of Work.
3. Diseñar una aplicación web para la visualización de seguimiento del producto.

1.4 Marco teórico

Respecto a la trazabilidad, es necesario mencionar que esta consiste en la capacidad de mantener un registro detallado de todas las variaciones que pueda experimentar un material, producto, modelo o incluso una clase de software; durante toda su vida

útil [9]. Es decir, la trazabilidad facilita salvaguardar la integridad de los bienes tangibles e intangibles involucrados en un determinado proceso.

En el ámbito de la industria agroalimentaria, la trazabilidad forma parte de un conjunto de etapas, generalmente, obligatorias durante la fabricación de productos agrícolas. El cumplimiento de estas etapas tiene como finalidad la obtención de un reconocimiento o certificación en las buenas prácticas de seguridad alimentaria [10].

En ese sentido y como se mencionó previamente, algunos estudios buscan que la trazabilidad se sistematice para proteger la información de posible amenazas o errores que comprometan las actividades de la cadena de suministro. Al respecto, una de las propuestas que ha ganado acogida en los últimos años es el blockchain [11].

El blockchain consiste en una estructura de datos formada por bloques conectados cronológicamente a través de un hash previo. Los bloques, en sí mismos, representan datos y cabeceras blockchain, los cuales son generados en transacciones, contratos inteligentes, entre otras actividades. En el caso de la agricultura, los bloques se originan por los registros llevados a cabo en cada etapa de la trazabilidad del producto agrícola [12].

Además, cabe mencionar que, el hash empleado en el blockchain corresponde a un conjunto de algoritmos, los cuales permiten garantizar la seguridad del sistema de trazabilidad mediante el cifrado de la información. En otras palabras, el hash funciona como un mecanismo para preservar la integridad y la autenticidad del mensaje en cada etapa del proceso [13].

En la trazabilidad, generalmente, el blockchain es distribuida. Es decir, funciona como una red punto a punto, cuyos nodos transmiten y consensan las transacciones a través de mensajes. De manera que no existe un nodo central y, por ello, es que el blockchain se caracteriza por su descentralización [12]. Esto último le brinda

seguridad a la red, ya que, en caso de un ataque o amenaza, el sistema no fallará a nivel general.

En lugar de un nodo central que verifique la identidad de los otros nodos, la red utiliza la tecnología de firma digital, la cual implica la implementación de algoritmos de cifrado, específicamente, el cifrado asimétrico. Este tipo de cifrado involucra llaves públicas y privadas, las cuales funcionan de forma complementaria. Es decir, la llave pública descifra la información que fue cifrada por la llave privada y viceversa. De esta manera, cada nodo sensor transaccional del blockchain emplea un cifrado asimétrico para indicar la identidad del nodo por medio de su llave privada, mientras que la llave pública está al alcance del resto de los nodos [13].

Por último, los dispositivos inteligentes son elementos claves para funcionamiento del blockchain. Por tal motivo, se hace uso del paradigma “internet of things”. Este modelo refiere a objetos conectados a la red a través de sensores, tales como: radiofrecuencia, infrarrojos, GPS, sensores RFID o cualquier otro equipo sensado. La función de estos dispositivos es básicamente coleccionar información que hace posible la trazabilidad, gestión, posicionamiento, entre otras funcionalidades [13].

Debido a todo lo expuesto, se han propuesto algunas soluciones, las cuales se detallan en la tabla 1.

Tabla 1.1 Soluciones alternativas para la sistematización de la trazabilidad de productos alimenticios

Título	Resumen	Autores
An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology	La seguridad alimentaria de la cadena de suministro del sector agrícola de China presentaba problemas para satisfacer las demandas del mercado. En respuesta a dicha problemática, se estudió y desarrolló un modelo de sistema de trazabilidad basado en identificación por radiofrecuencia (RFID) y blockchain. El análisis de ventajas y desventajas de este modelo permitieron demostrar los beneficios de salvaguardar la confiabilidad de la información y garantizar la seguridad alimentaria.	Feng Tian [11]

<p>A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things</p>	<p>Las tecnologías emergentes aplicadas a la cadena de suministro de la industria alimentaria no han logrado efectivizar la seguridad alimentaria. Dichas tecnologías suelen ser centralizadas, es decir, vulnerables ante un colapso. Como alternativa se presenta un sistema de trazabilidad de la cadena de suministro de alimentos para el seguimiento de productos en tiempo real basado en Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP), blockchain e internet of things. Este sistema se validó mediante una simulación, logrando resultados positivos para prevenir riesgos.</p>	<p>Feng Tian [14]</p>
<p>Integration of RFID, wireless sensor networks, and data mining in an e-pedigree food traceability system</p>	<p>A fin de atender los requerimientos de los clientes en cuanto al conocimiento de la calidad de los alimentos e-pedigree, en este estudio se desarrolló un sistema de trazabilidad para estos productos, el cual se basa en tecnología de radiofrecuencia para rastrear la ubicación del producto, una red de sensores inalámbricos para recolectar la temperatura y humedad, y minería de datos para la predicción de datos faltantes. Para esto último emplearon un modelo denominado como “perceptrón multicapa”. Este sistema fue validado en Kimchi, una cadena de suministro en Corea; logrando la satisfacción de los clientes en cuanto a la calidad y conocimiento del producto.</p>	<p>Alfian, Rhee, Ahn, Lee, Farooq, Fazal & Syaekhoni [15]</p>
<p>Blockchain-based Traceability in Agri-Food Supply Chain Management: A Practical Implementation</p>	<p>Las estructuras centralizadas de las cadenas de suministro agroalimentarias ponen en riesgo la integridad de la información. En respuesta a dicha problemática, este estudio propone un sistema de trazabilidad para la gestión de la cadena de suministro agroalimentaria basado en blockchain, denominado “AgriBlockIoT”. Para la implementación del sistema se emplearon dos tipos de blockchain: Ethereum y Hyperledger Sawtooth; siendo esta última la de mejor rendimiento.</p>	<p>Pincheira, Salek, Vecchio & Giaffreda [16]</p>
<p>An IoT-Based Traceability System for Greenhouse Seedling Crops</p>	<p>La necesidad de mejorar la calidad de los productos agrícolas y ofrecer productos frescos a los clientes, requiere que la trazabilidad de dichos productos se sistematice. Por ello, en este estudio se propone un invernadero inteligente basado en dispositivos IoT y una plataforma web que permite llevar un control de las características del producto</p>	<p>González, Corrales, Mendoza, González, Faeq,</p>

	<p>desde el punto de origen hasta la mesa; así mismo, comunicarlas a los clientes. Esta propuesta fue validada en una región de Colombia, logrando mejorar el control de proceso agrícola y la comunicación con los clientes.</p>	<p>Arunkumar & Ramírez [17]</p>
--	---	-------------------------------------

De las investigaciones citadas se denota que, si bien existen algunos modelos y sistemas desarrollados e implementados en contextos internacionales, en lo que corresponde al contexto nacional, la literatura aún es escasa. De manera que, una vez más se afirma la necesidad de generar una aportación nacional al estudio de la trazabilidad del sector agroalimentario mediante dispositivos inteligentes, blockchain e internet of things.

Finalmente, cabe mencionar que la mayoría de estos estudios se encuentran enfocados en garantizar la seguridad alimentaria, mejorar la calidad de los productos y satisfacer las necesidades de los clientes. No obstante, el presente estudio presenta un enfoque diferente, pues este será de utilidad para mitigar los ataques cibernéticos. Es decir, se enfoca en la seguridad informática mediante un sistema inteligente.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para una mayor comprensión de la implementación del sistema de seguridad de información en la trazabilidad de productos agrícolas, es necesario conocer los elementos que intervienen en el funcionamiento de este sistema. Así mismo, comprender cómo dichos elementos interactúan unos a otros y aportan al sistema. Por ello, en las siguientes secciones se detallan las características y utilidades de dichos elementos.

2.1 Hardware

El hardware propuesto para este estudio se compone de múltiples sensores y dispositivos IoT que trabajan en conjunto con el fin de monitorear de forma remota las condiciones de los productos agrícolas en las diferentes etapas del tracking [16]. A continuación, se describen los elementos que componen el hardware y el rol que desempeñan.

2.1.1 Raspberry Pi 3 B+

La Raspberry Pi 3 B+ es un dispositivo muy utilizado en el mundo del Internet de las cosas, ya que cuenta con un procesador de 4 núcleos a 1.4 GHz, redes inalámbricas tales como Bluetooth 4.2/BLE y doble banda de 2.4 GHz y 5 GHz. Todo eso funcionando en una placa de tamaño reducido, cuyas medidas corresponden a 85mm x 53mm. Dichas características permiten usarla para distintos propósitos en el ámbito de la tecnología de la información [18].

2.1.2 IP65 Enclosure

Cuando se utilizan dispositivos sensibles a diferentes ambientes, es de suma importancia elegir un enclosure con un grado de protección adecuado. Un enclosure es una carcasa para dispositivos electrónicos que protege las configuraciones de múltiples placas [19]. En este caso, se usa IP65, ya que evita la intrusión de sólidos y líquidos al circuito de cada nodo, los cuales están presentes en los múltiples escenarios de la trazabilidad [20].

2.1.3 Antena-Lector RFID ZK-RFID 101

Este dispositivo integra dos funciones que usualmente se realizan por separado. La primera función consiste en detectar con la antena la señal de los tags RFID de los productos y la segunda consiste en leer dichos tags, permitiendo enviar esa información a la base de datos. Además, trabaja bajo el modelo TCP/IP, por lo que permite a este dispositivo tener un direccionamiento IP dentro de una red [21].

2.1.4 Etiqueta Pasiva RFID TE25

Con el fin de llevar un control adecuado de los productos se requiere que estos sean identificados correctamente. Por tal motivo, se utiliza la etiqueta pasiva RFID TE25, brindando un alto rendimiento en las operaciones de lectura y escritura. Adicional a esto, posee un estándar de seguridad que evita que estas operaciones se realicen sin consentimiento del propietario [21].

2.1.5 Sensor DHT11

Este sensor es comúnmente usado para la medición de variables de temperatura y humedad, dada su fácil implementación se utilizará en múltiples etapas del proceso de trazabilidad para conocer el estado de los productos. Además de que el costo es relativamente menor y trabaja muy bien en conjunto a la Raspberry PI, mientras se realice la configuración adecuada con resistencias para evitar daños a futuro.

2.1.6 Shield 4G

Este dispositivo está diseñado para proporcionar características adicionales a la Raspberry PI, tales como conexión a internet por medio de la red celular, ya sea en GPRS, 3G, 4G LTE o 4.5G. Además, permite el uso de GPS. Estas dos ventajas fueron el factor principal para escoger este hardware, ya que, en la fase de distribución del producto, se aprovechará al máximo [22].

2.2 Software

El software utilizado tiene como objetivo realizar una implementación del blockchain en Amazon Web Services (AWS), la cual permitirá asegurar la información que viaje por ese medio desde la fase de sembrado y cosecha hasta el consumidor final. Además de poder visualizar dichos datos en un aplicativo web. Los aspectos fundamentales para el funcionamiento del software se describen en las secciones siguientes.

2.2.1 Front-End

Bootstrap: Se utiliza para el diseño de sitios web de forma rápida, dado que contiene componentes prediseñados con CSS y potentes complementos de JavaScript. A su vez, es un facilitador crucial para la interfaz al observar la tabla de transacciones blockchain [23].

Chart.js: Es útil para la realización de gráficos de forma rápida, puesto que cuenta con varios ejemplos, los cuales se pueden personalizar de acuerdo con las escalas, etiquetas, series, colores, y acciones. Adicionalmente, son necesarios para la visualización gráfica de los productos IoT en las etapas de trazabilidad.

2.2.2 Back-End:

Python: Se trata de un lenguaje de programación potente y fácil de aprender. Tiene estructuras de datos de alto nivel, eficientes y un efectivo sistema de programación orientado a objetos. La sintaxis de Python y su tipado dinámico permite el desarrollo rápido de aplicaciones backend [24]. Con este se creará la lógica BlockChain en los nodos mineros y en los nodos transaccionales.

Flask: Refiere a un entorno de trabajo para el desarrollo de aplicaciones web, con la facilidad de escalar a aplicaciones complejas [25]. En este proyecto se utilizará para servir las páginas web de esta aplicación web, tanto del lado del consumidor como en el cliente (dueños de la cadena de hipermercados).

Oracle MySQL: Oracle ofrece un servicio de base de datos SQL (Structured Query Language), de modo que permite aplicaciones nativas en la nube. Con respecto a su funcionalidad, proporciona tablas relacionales, es rápida, multiusuario y multiproceso. Además, permite la integración masiva en software [26]. Para este proyecto será requerido para alojar las credenciales, privilegios y nombres de usuarios a nivel empresarial; es decir, será utilizado por los clientes.

Amazon Web Services (AWS): Los distintos servicios que proporciona Amazon Web Services son tan variados como las distintas funcionalidades requeridas en este estudio. De modo que se requiere un orquestador de contenedores de software

corriendo en máquinas virtuales de forma elástica, proporcionadas por los servicios ECS, y EC2 respectivamente. El propósito de estos contenedores de software es el de ejecutar la lógica de los nodos blockchain, indispensables para asegurar un sistema completamente descentralizado y seguro. Tal como el bitcoin proporciona a sus usuarios, debido a que se ven replicadas las bases de datos de sus nodos mineros. Además, se necesita más de la mitad de capacidad computacional de los nodos en la red blockchain para poder provocar un ataque que realmente sea efectivo en contra de este sistema, puesto que existen algoritmos de consenso de por medio.

Amazon DynamoDB: Es una base de datos clave-valor, la cual es más adecuada para almacenar datos para aplicaciones IoT que necesitan acceso a base de datos con baja latencia a cualquier escala [27].

2.3 Arquitectura con conectividad

A fin de tener un control preciso posible sobre lo que ocurre exactamente en cada etapa dentro de la trazabilidad, se tendrá en cuenta ciertos aspectos concernientes al IoT. Por ello, es necesario definir cada etapa. En la Figura 2.1 se presenta un modelo propuesto con el fin de visualizar de mejor manera la etapa del sensado del sistema RFID y la geolocalización del camión.

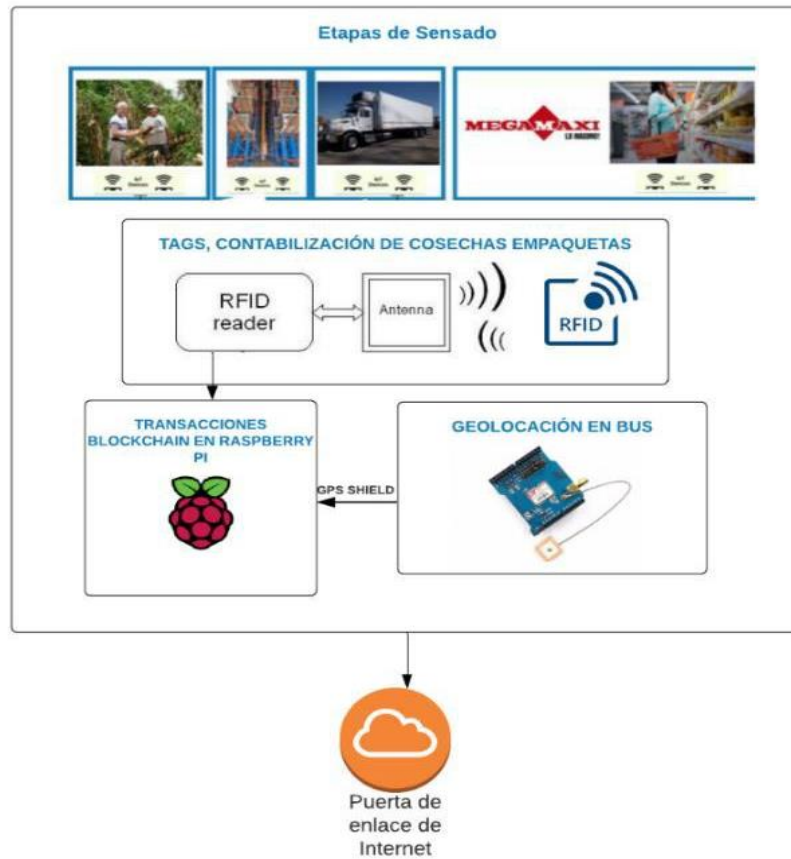


Figura 2. 1 Esquema de las etapas de sensado

En la etapa de siembra y cosecha, los agricultores normalmente tendrían que registrar los detalles sobre la cantidad de semillas utilizadas. Pero gracias a las básculas de peso conectadas a internet, ese proceso es posible de automatizar [16], ya que se puede enviar esa información directamente a la base de datos.

En la etapa de registro y procesado se contará con la ayuda de una página web, en la que se colocará la información completa de los productos, es decir, fecha de elaboración, cantidad de productos, fecha de expiración, etc. Adicional a esto, se contará con nodos que permitan medir las variables de temperatura y humedad de los productos, logrando subir la información directamente a la cadena de bloques.

En la etapa de transporte, los tags RFID son requeridos para automatizar la contabilización de los paquetes con el contenido de las cosechas. Dichos datos son captados y leídos por la Antena – Lector RFID, a la cual hay que establecerle una dirección IP. De esta manera, formará parte del nodo en el que también se encuentra

la Raspberry PI. Otro dispositivo importante es el Shield 4G para la geolocalización e internet móvil. Además, aquí también se mide la temperatura y humedad de los productos en todo el camino.

Por otro lado, todos esos datos recolectados son subidos a la nube en donde actúa el blockchain y donde se encuentra también la base de datos de Amazon DynamoDB. La estructura de las tablas a continuación:

Tabla 2.1 Estructura de datos de las tablas de la base de datos

Tabla	Descripción	Campos
Productos	Los Tags RFID que se encuentran en cada caja.	<ul style="list-style-type: none"> • id_paquete • name_producto • f_cosecha • f_expiracion • f_creacion • cantidad
DHT11Refri	Cuando se implementa en los diferentes refrigeradores para la conservación de los productos	<ul style="list-style-type: none"> • temperatura • humedad • id_refri • encargado
Camion	Cuando se implementa en el escenario del interior del camión	<ul style="list-style-type: none"> • temperatura • humedad • latitud • longitud • conductor

En la etapa del usuario final, se presentará la recolección de todos los datos, pero de una forma estadística y ordenada dentro de una página web. De tal manera que el usuario pueda decidir si comprar o no basado en la información presentada.

A su vez, con la finalidad de obtener una correcta implementación de blockchain en la nube de AWS, se utiliza la arquitectura descrita en la Figura 2.2, por lo que se hace uso de una red privada virtual. Como todo sistema basado en seguridad, es

requerido el hecho de tener una nube privada (VPC), de modo que tenga capas de abstracción con respecto a la seguridad y así no cualquier usuario pueda conectarse de forma pública.

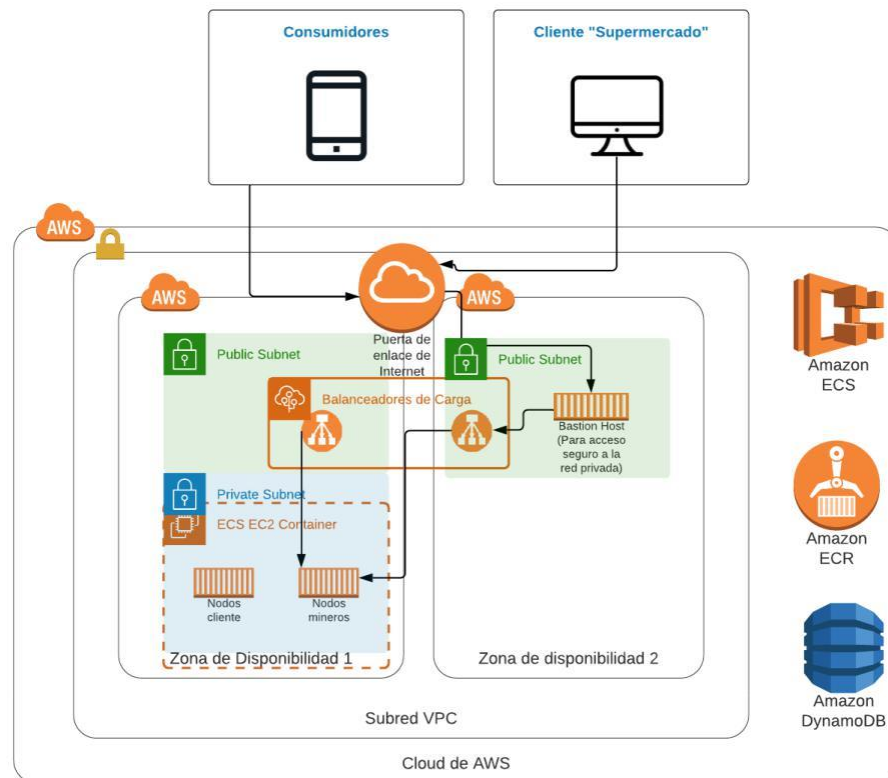


Figura 2. 2 Esquema de las etapas de sensado

La configuración de esta arquitectura requiere una nube virtual pública y una subred pública y privada, puesto que la aplicación web será pública, mientras que los servicios back-end son privados. Esto debido a que, al ser una empresa privada, requiere que todos los nodos "peer to peer" que realizan el minado sean accedidos sólo por la organización.

Los nodos son parte de la empresa, por lo tanto, es más difícil ejecutar un ataque que afecta a la cadena bloques en todos los nodos. Sobre todo, porque para ello necesitan que la capacidad computacional de los nodos atacantes sea al menos un 51% [28], es decir, más de la mitad.

Dichas instancias que ejecutan el código de minado están dentro de la subred privada y, a su vez, están en la misma zona de disponibilidad de los balanceadores de carga.

Los contenedores de AWS facilitan la forma en la que se implementa un código, facilitando la tarea de diseñar flujos de trabajo, y con su respectivo registro de contenedores, que facilita el almacenamiento y administración de dichos contenedores.

A su vez, contar con una infraestructura descentralizada alojada en la nube de AWS facilita el escalamiento horizontal sin tener el coste de mantenimiento de servidores centralizados en la empresa gracias al servicio que proporciona AWS EC2. El auto escalamiento de instancias en la nube proporciona un estado de disponibilidad mayor, puesto que no habrá un solo servidor atendiendo todas las solicitudes; sino que, dependiendo del número de solicitudes, el escalamiento de servidores será automático.

Finalmente, para acceder de forma segura de la subred pública a la red privada es necesario tener un Bastion host, porque es aplicación que se localiza en un servidor con el fin de ofrecer seguridad a la red interna [29], proporcionado por AWS. De modo que sea delimitado el acceso, eliminando posibles puertas de entradas para la ejecución de ataques a los nodos [30].

2.4 Diseño de interfaz

2.4.1 Diseño de interfaz para propietarios de hipermercados

Las Raspberry Pi son tratadas como nodos que realizan transacciones con respecto a la información que es recolectada por los sensores. Para ello, se utilizan las llaves públicas y privadas, que es lo equivalente a la dirección en Bitcoin, tal como se observa en la figura 2.3.

Raspberry Transaccional (Envío de datos recolectados) Generador de billetera [Hacer Transacción](#) [Ver transacciones](#)

Enviar datos de sensores:
 Ingrese detalles de la transacción y hacer click en el botón "Generar transacción"

Llave Pública del Remitente:	30819f300d06092a864886f70d0101050003818d00308189028181009cac82fbb96359d1d1e13201495a50ea3218ee116b36f6
Llave Privada del Remitente:	3082025d020100028181009cac82fbb96359d1d1e13201495a50ea3218ee116b36f62f0a1c78b5ddc8102341a64d883c908c6896
Llave Pública del Destinatario:	30819f300d06092a864886f70d0101050003818d0030818902818100abb9ed16d9a8ff8019707c6c3f360497e1742f52779b9fe1
Data:	{"temperatura":28, "humedad":46, "latitud": -79.9079500, "longitud":-2.2058400, "ruta":"ruta2", "Estacion": "En granja #4", "fecha

[Generar transacción](#)


Figura 2. 3 Realización de transacciones hacia los nodos mineros en AWS

En la figura 2.3 se observa de forma ilustrativa cómo es el proceso de la transacción suscitado por un trigger, tiempo después de realizar la colecta de la información [31]. Es decir, los datos son enviados de forma automática, mientras que las transacciones son enviadas hacia los nodos mineros.

Por otro lado, en la figura 2.4, se aprecia cómo la transacción llega hacia este nodo con los respectivos datos, como información de los sensores. Además de la llave pública remitente y la llave privada destinatario.

Nodo Minero (Raspberry Física) Home Configuración

Transacciones que se agregarán al siguiente bloque




Show entries Search:

#	Llave Pública Remitente	Llave Pública Destinatario	Data
1	30819f300d06092a864886f7...	30819f300d06092a864886f7...	{"temperatura":28, "hume...

Showing 1 to 1 of 1 entries Previous Next

[Minar](#)

Transacciones en blockchain



Show entries Search:

#	Llave Pública Remitente	Llave Pública Destinatario	Data	Timestamp	Bloque#
No data available in table					

Showing 0 to 0 of 0 entries Previous Next

Figura 2. 4 Transacciones y minado en los nodos trabajadores

Luego, las transacciones pasan por un proceso de minado en el que consta de una verificación de hash, dichas operaciones son iteraciones repetitivas para encontrar el hash correcto. Como se conoce, el hash es una representación de una cadena de caracteres a partir de otra cadena totalmente diferente. Es por ello por lo que se denomina “prueba de trabajo” al momento de encontrar dicho hash. Por tal motivo, se observa una diferencia entre la imagen 2.4 y la figura 2.5, siendo la transacción actual agregada a la lista de transacciones.

Raspberry Transaccional (Envío de datos recolectados) Generador de billetera Hacer Transacción Ver transacciones

Ver Transacciones

Ingrese una URL del nodo de blockchain a revisar y haga clic en el botón “Ver transacciones” para verificar todas las transacciones

URL del Nodo:

[Ver Transacciones](#)

Show entries Search:

#	Llave Pública Remitente	Llave Pública Destinatario	Data	Timestamp	Bloque
1	30819f300d06092a864886f7...	30819f300d06092a864886f7...	{"temperatura":28, "hume...	Feb 10, 2021, 12:44:43 AM	2
2	3cc7d288afd044c299c0029b...	The Blockchain	1	Feb 10, 2021, 12:44:43 AM	2

Showing 1 to 2 of 2 entries Previous Next

Figura 2. 5 Transacciones y minado en los nodos trabajadores

Además, se podrá consultar la lista de transacciones en cada nodo minero, esto únicamente siendo posible para el personal de TI de los hipermercados. Como se aprecia en la figura 2.6.

Nodo Minero (Raspberry Física)
Home Configuración

Transacciones que se agregarán al siguiente bloque

Show entries
Search:

#	Llave Pública Remitente	Llave Pública Destinatario	Data
No data available in table			

Showing 0 to 0 of 0 entries
Previous Next

Transacciones en blockchain

Show entries
Search:

#	Llave Pública Remitente	Llave Pública Destinatario	Data	Timestamp	Bloque#
1	30819f300d06092a864886f7...	30819f300d06092a864886f7...	{"temperatura":28, "hume...	Feb 10, 2021, 12:44:43 AM	2
2	The Blockchain	3cc7d288afd044c299c0029b...	1	Feb 10, 2021, 12:44:43 AM	2

Showing 1 to 2 of 2 entries
Previous 1 Next

Figura 2. 6 Transacciones y minado en los nodos trabajadores

2.4.2 Diseño de interfaz para consumidores

Para el front-end que visualiza el consumidor final, se utilizó Bootstrap con el objetivo de crearlo de forma rápida. Posteriormente, se modificaron los archivos html, css y javascript consiguiendo establecer el comportamiento y diseño deseado, el cual resultó ser amigable para el usuario y las personas con privilegios pertinentes.

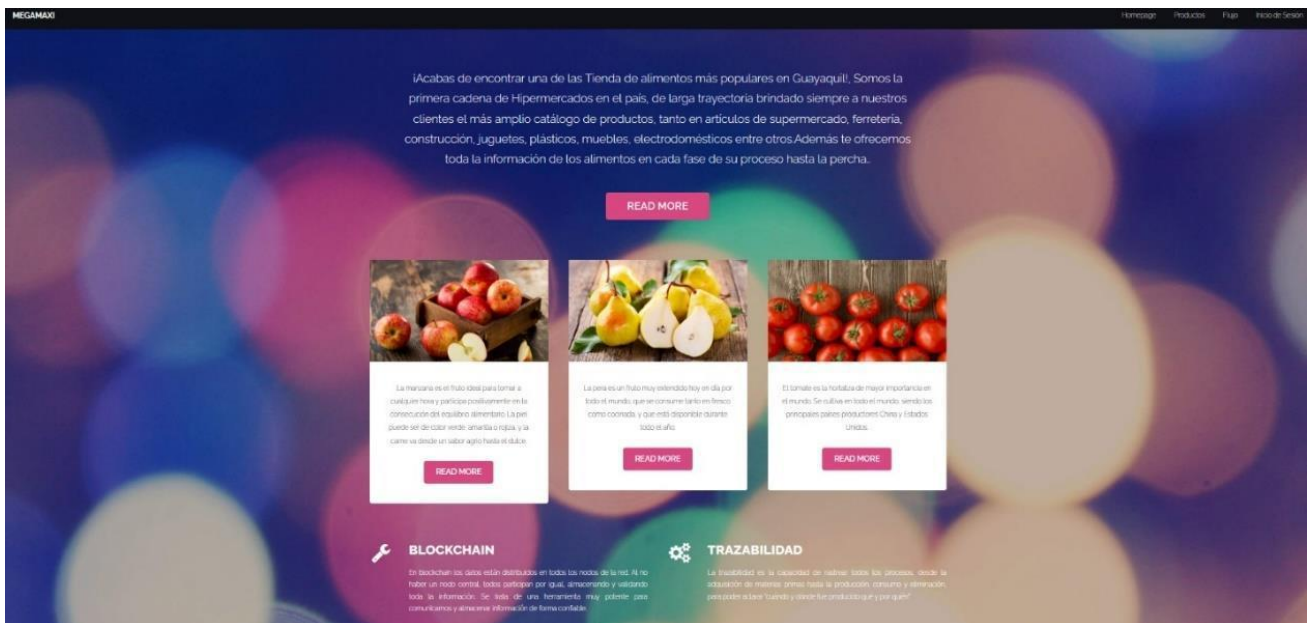


Figura 2. 7 Homepage del aplicativo web

Debido a que la aplicación web está más enfocada hacia los consumidores finales, se añadió información relevante de cada producto, tal como se observa en la Figura 2.7; en la que se tiene una breve referencia de cada uno de ellos, así como descripción de la empresa y los servicios de trazabilidad y seguridad proporcionados por el blockchain implementado. Esto con el objetivo de que el usuario conozca la importancia de usar estas herramientas y tener total confianza de lo que está comprando.

Así mismo, para llevar un control más adecuado de la información de los clientes y productos, se implementó una interfaz de inicio de sesión que permita distinguir los permisos de cada usuario y así mostrar opciones más avanzadas para las personas con un grado jerárquico más elevado como se ve en la Figura 2.8.

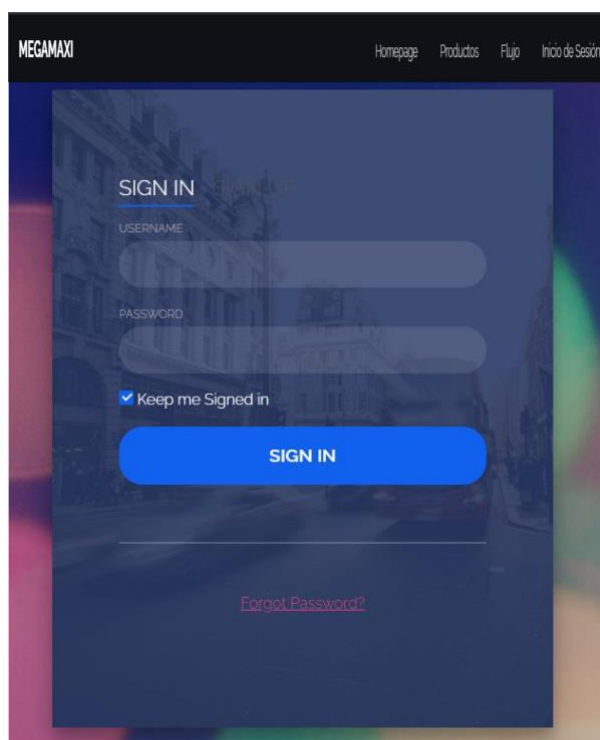
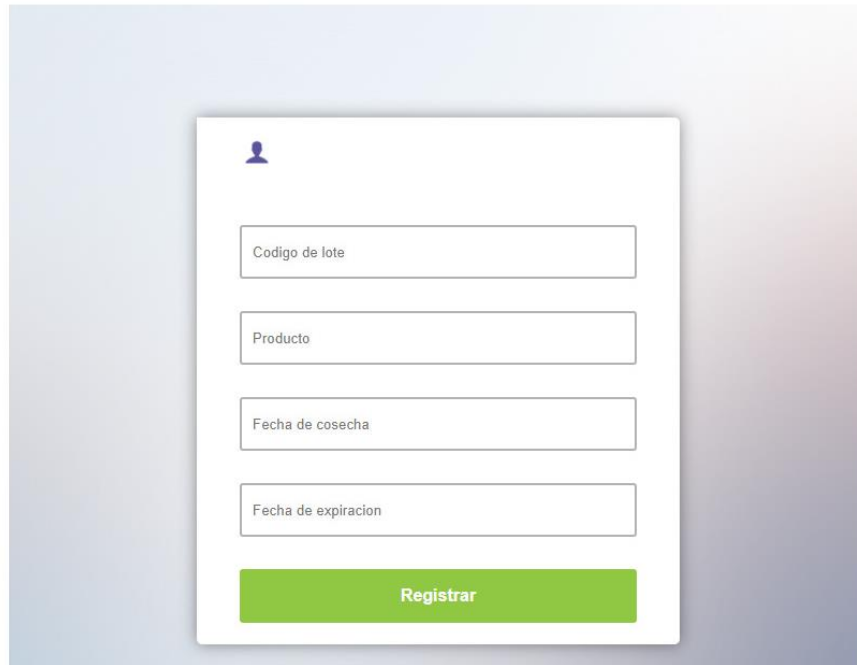


Figura 2. 8 Inicio de sesión

Como se mencionó anteriormente, el grado jerárquico de los usuarios les permitirá realizar acciones de registro. Esta funcionalidad se aprovecha cuando las personas encargadas requieran subir la información en cada etapa del proceso de trazabilidad o en su defecto, modificarla de presentarse el caso. Por ello, en la Figura 2.9 se presenta una interfaz que contiene información detallada de los productos. Además, se muestra la fecha de algún tipo de cambio en ese registro.



The image shows a registration form with a white background and a light blue border. At the top left, there is a small blue person icon. Below it, there are four input fields stacked vertically, each with a light gray border and a label inside: 'Codigo de lote', 'Producto', 'Fecha de cosecha', and 'Fecha de expiracion'. At the bottom of the form is a prominent green button with the white text 'Registrar'.

Figura 2. 9 Interfaz de registro

Por último, se cuenta con la interfaz de la pestaña de flujo, en la cual se presentan datos más relevantes y que ayudarán al consumidor a decidir si comprar o no dicho producto. Específicamente, en la Figura 2.10 se tiene un gráfico estadístico sobre la temperatura y humedad que presenta el producto en las etapas de la trazabilidad. Para la etapa de distribución se cuenta con un dispositivo de geolocalización, la información la provee el nodo que se encuentra en el camión al momento de partir a su destino, permitiendo visualizar el recorrido en tiempo real mediante un gráfico en la página web.

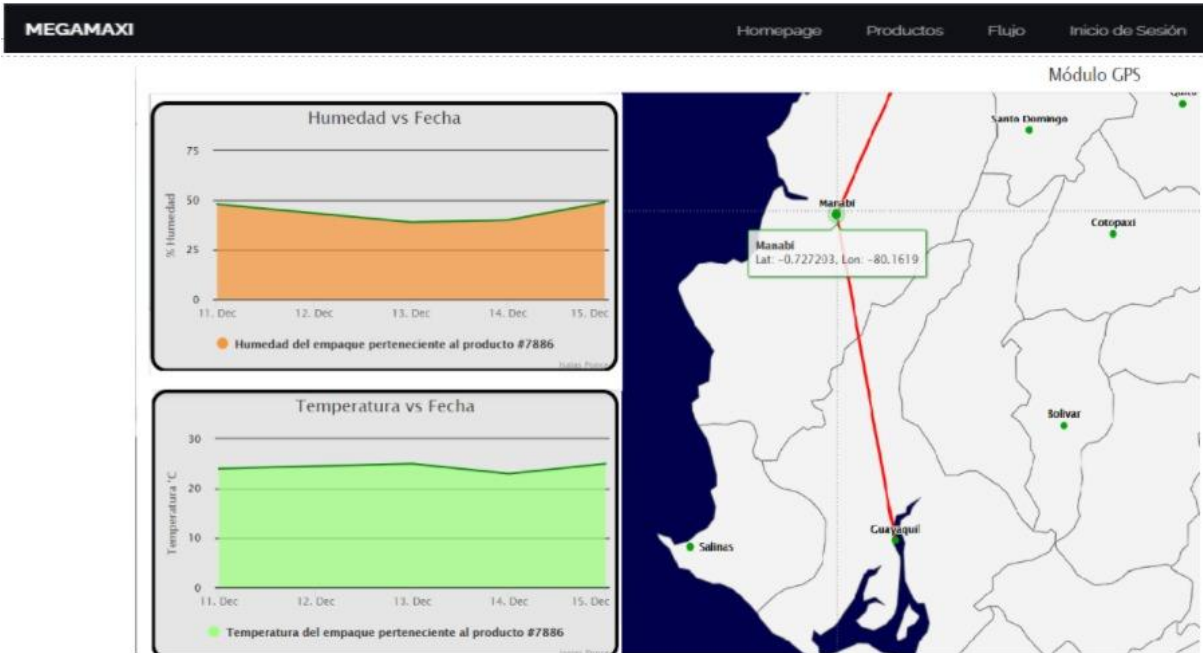


Figura 2. 10 Estadísticas sobre las características de los productos en las etapas de la trazabilidad

2.5 Limitaciones del estudio

- Al iniciar la investigación se consideró que la estructura de las tablas para la base de datos incluyera la información de los usuarios y los productos. No obstante, se determinó que, la actualización de la información de los productos sería más frecuente que la de los usuarios y esta información combinada provocaría una sobrecarga en la base de datos. A su vez, el incumplimiento de características como consistencia, disponibilidad y tolerancia a fallos. En respuesta a ello, se optó por separar la base de datos en dos tipos de bases distintas: usuarios y productos, a fin de que esta pueda cumplir con dichas características y lograr un buen rendimiento.
- Por cuestiones de tiempo, se desarrolló un front-end sencillo. A pesar de ello, se demostró que resulta útil para pequeños supermercados. La demostración consistió en diez ejecuciones con 100 usuarios. Así mismo, se desarrolló una estructura sólida para el back-end.
- Por naturaleza, los bloques de la cadena pueden ser manipulados, afectando el rendimiento de la raspberry pi. Por ello, se implementaron algoritmos de consenso en la red peer to peer. Dichos algoritmos se utilizaron en cada nodo blockchain para asegurar que la información sobre los productos no sea alterada durante el proceso de trazabilidad.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan los resultados del análisis de costos del proyecto, en donde se detalla el costo referencial de cada uno de los elementos requeridos para la implementación del sistema. Así mismo, se muestran los resultados de los indicadores de rendimiento del sistema y pruebas de validación de su funcionamiento, así como la consideración de la perspectiva de los usuarios.

3.1 Análisis de costos

Los costos implicados en la implementación de cada nodo que compone la red peer to peer, se realizó en base a precios de páginas de comercios electrónicos tanto de nivel nacional como internacional. Estos se detallarán en las tablas siguientes:

Tabla 3.1 Costos de implementación de un nodo [32, 33, 34, 35].

Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Raspberry PI 3 B+	1	\$85	\$85
IP65 Enclosure	1	\$29.99	\$29.99
Antena-Lector RFID ZK-RFID	1	\$343.50	\$343.50
Sensor DHT11	2	\$2	\$4
Total			\$462.49

La tabla 3.1 detalla únicamente los costos del hardware necesario para la implementación de un nodo. Esto se realiza con el fin de que se pueda cotizar el valor total aproximado de una red peer to peer, ya que dependiendo de las instalaciones de la empresa puede que se utilicen más nodos en ciertos puntos estratégicos para aprovechar así las funcionalidades que este sistema ofrece.

Por una parte, la Raspberry PI 3 B+ se eligió dado que es una placa compacta que se puede interconectar con muchos de los dispositivos de sensado que ofrece el mercado actual y que se ajusta a la arquitectura planteada como solución.

Así mismo, el IP65 Enclosure se tomó en cuenta debido a que estos nodos permanecerán en ambientes industriales. Por ello, es importante que se los proteja de cualquier agente externo como líquidos o sólidos que puedan detener el correcto funcionamiento del nodo y a pesar de que pueda resultar un poco elevado el costo, esto es algo en que las empresas deben de invertir para que el sistema sea duradero.

Si bien la antena-lector RFID tiene un costo elevado, es necesaria, ya que antes de que los paquetes se suban al camión, se realiza un control para saber cuántos hay antes de enviarlos, en comparación a cuando llegan al destino. De esa manera se detecta cualquier anomalía en las entregas. Además, este modelo en específico se decidió usar debido a que se puede conectar a la red y es compatible con los demás dispositivos utilizados para la monitorización.

El sensor DHT11 es usado para medir la temperatura y humedad. En cuanto a costos, es de los más económicos del mercado y su grado de precisión en las variables es adecuado para esta implementación, ya que invertir en un dispositivo con más precisión implicaría un costo más elevado e innecesario.

Tabla 3.2 Costos adicionales para un nodo en la etapa de distribución [36, 37].

Material	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Etiqueta Pasiva RFID	200	\$0.08	\$16
Shield 4G	1	\$39	\$39
Total			\$55

En la tabla 3.2 se detallaron costos adicionales debido a que en la etapa de distribución no se cuenta con acceso a internet y se necesita que en todo el camino esta información viaje hacia la nube. Además de que la información de los productos siga siendo consistente. De esta manera, ambas cosas se lograron usando etiquetas RFID y el Shield 4G; sin embargo, hay que tomar en cuenta que este valor se incrementa de acuerdo con la cantidad de camiones usados para distribuir el producto.

En términos de cantidad de nodos, se estima que una empresa pueda usar un nodo por cada camión, pudiendo enviar constantemente la información de los productos, así como la geolocalización. En cuanto a los nodos usados en las instalaciones, hay que tener en cuenta que no todos los nodos poseen la Antena-Lector RFID, solo el nodo ubicado dentro del rango de los paquetes, y la cantidad de nodos sugeridos es de dos cada $100 m^2$, logrando así una implementación económica y eficiente.

En cuanto al funcionamiento del sistema, se decidió implementarlo en AWS dada a la alta disponibilidad y escalabilidad que poseen sus servicios, ahorrándole a la empresa el tener que invertir en una nube privada mucho más costosa. En la tabla se constata dicha afirmación.

Tabla 3.3 Costos de implementación del sistema en la nube de AWS [38].

Servicio	Precio Mensual	Precio Anual
Amazon Elastic Container Registry	\$1	\$12
Amazon DynamoDB	\$152.14	\$1.825.68
Amazon EC2	\$64.54	\$774.48
Amazon Aurora MySQL-Compatible	\$70.91	\$850.92
Elastic Load Balancing	\$16.66	\$199.92
Amazon Virtual Private Cloud (VPC)	\$36.50	\$438
Total	\$341.75	\$4.101

En la tabla 3.3 los costos más elevados de los servicios de AWS como Amazon Aurora o Amazon DynamoDB se deben a que constantemente se utilizarán estas bases de datos. La primera debido a que tanto los usuarios finales como personal de tecnología de la información tendrán funcionalidades distintas y para ello es necesario usar una base de datos relacional. Mientras que, en la segunda, la cual es no relacional, se manejarán los datos de temperatura, humedad, geolocalización, entre otros.

De esta manera resulta conveniente, dado el aumento de datos que periódicamente se almacenan, por lo que esta base de datos resulta ser escalable y con un mayor rendimiento al momento de realizar consultas. En ese sentido, servicios como los de Amazon Elastic Container Registry, Amazon EC2, Elastic Load Balancing, Amazon Virtual Private Cloud le dan una mejor administración a los recursos computacionales que se usan en la nube como parte del blockchain.

3.2 Pruebas de rendimiento

3.2.1 Procesamiento

Esta prueba consiste en enviar información de forma periódica a través de la red peer to peer, y dependiendo de la fase o escenario en la que se encuentre, la información consultada puede tener más o menos datos que presentar. Por lo que se pone a prueba que tan rápido se logra obtenerla.

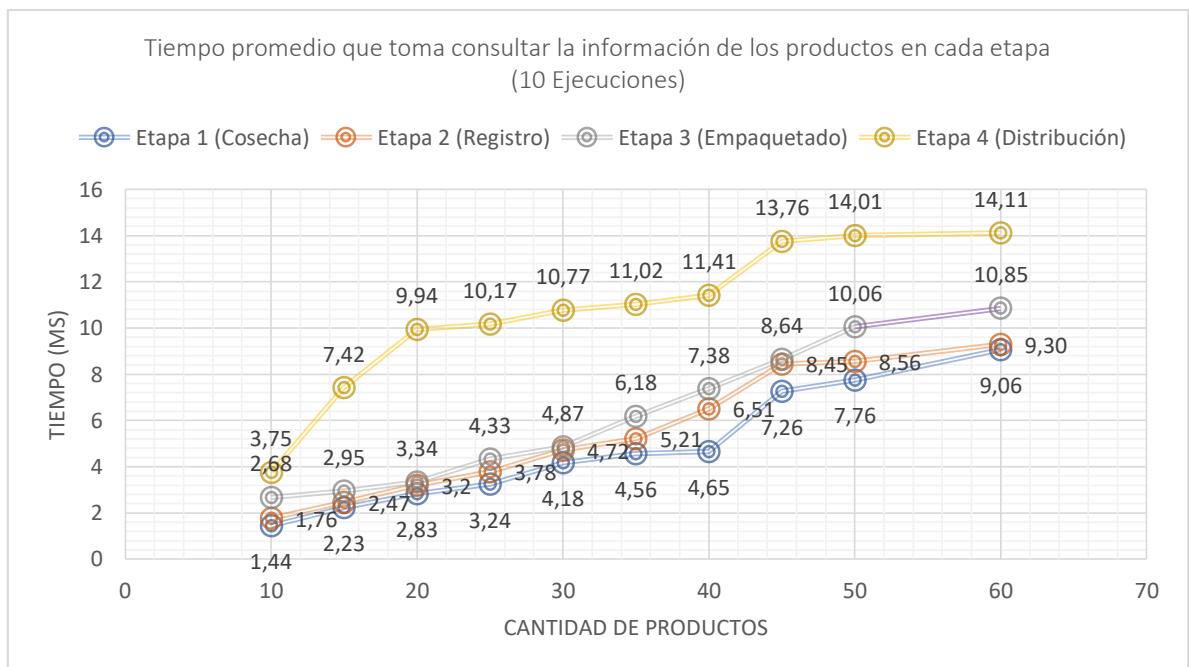


Figura 3.2. 1 KPI para el tiempo de consulta de información

De acuerdo con la figura 3.2.1, el tiempo promedio que toma consultar la información en cada etapa del proceso diferirá con respecto a la cantidad de datos alojados en dichas etapas (cosecha, registro, empaquetado, distribución). Cabe destacar que en la etapa de distribución tomará más tiempo en obtener dicha consulta, pero al ser

una diferencia de tiempo en el orden de los milisegundos con respecto a las otras etapas, no representará un tiempo percibido por el usuario.

El beneficio de esta métrica va acorde a la experiencia de usuario, ya que, el objetivo es que esta página pueda recibir muchas peticiones sin que tenga una penalidad en el rendimiento.

3.2.2 Experiencia de usuario

En esta sección se evaluó qué tan interactiva resultaba la página web para los usuarios, por lo que se tomó en consideración a 10 personas diferentes para que la utilizaran y se midió el tiempo aproximado de realizar cada una de las tareas.

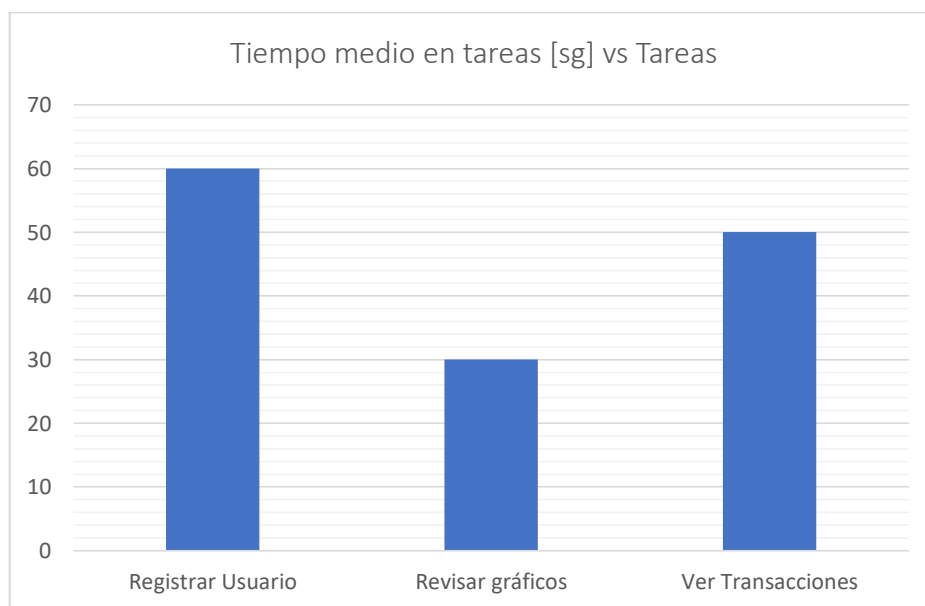


Figura 3.2. 2 Tiempo medio en realizar una tarea en la aplicación web

El tiempo promedio que toma realizar una tarea en la aplicación web está dado de acuerdo con la figura 3.2.2, mostrando un mayor tiempo para registrar un usuario, debido a que es necesario realizar validaciones de correo electrónico bajo el dominio de la empresa eliminando fluidez en la interfaz de registro.

Para revisar gráficos es necesario buscar por el identificador de producto, a manera que se puedan visualizar las condiciones ambientales a las que se encuentre

sometido dicho producto. Y finalmente, para ver transacciones es necesario una verificación captcha, puesto que el acceso de lectura debe ser lo más restringida posible. Por lo que sólo el personal de tecnologías de la información podrá acceder.

3.2.3 Rendimiento

En esta sección se evaluó la carga de CPU de una Raspberry PI en diferentes escenarios de estrés. Es decir, que mientras más información se procesaba, se midió qué tanto se elevaba el porcentaje de CPU mediante comandos de Linux.

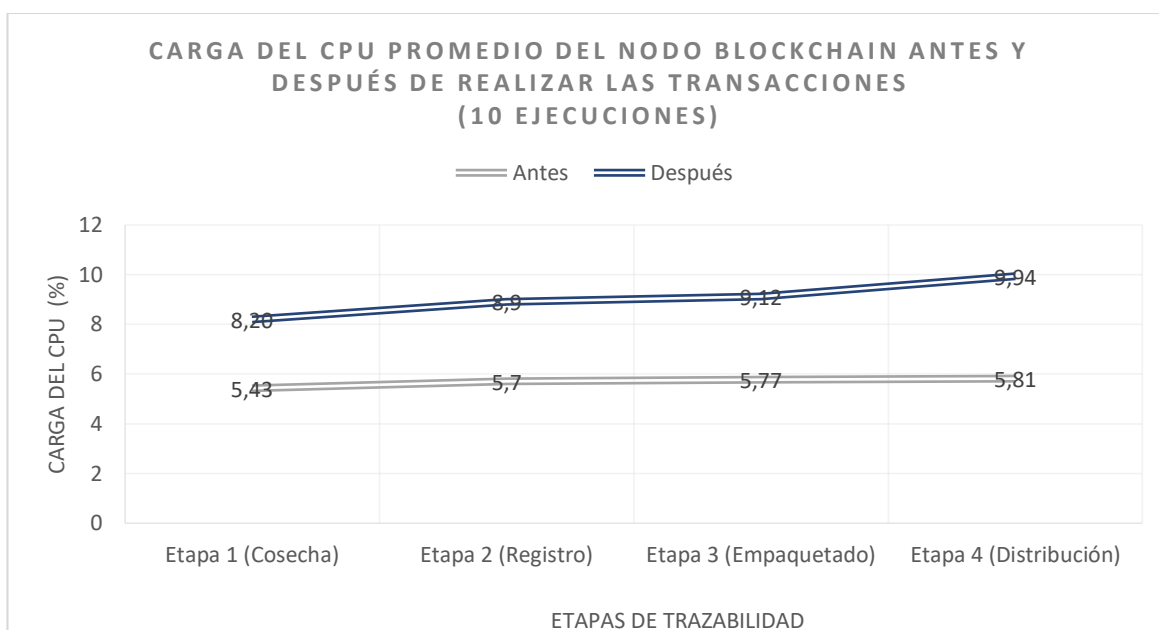


Figura 3.2. 3 Tiempo medio de carga del CPU en realizar las transacciones

La aplicación web realiza algoritmos necesarios en blockchain que, cuando los ejecuta, la carga del CPU aumenta al realizar transacciones y añadirlas a la cadena de bloques, tal como se muestra en la figura 3.2.3. Dado los resultados, es notorio el hecho que, a pesar de manejar muchas transacciones, la carga del CPU no supere el 10% aproximadamente, demostrando que no es inconveniente en la implementación en Raspberry PI.

3.3 Discusión de resultados

Los trabajos revisados previamente, sugieren que el sistema propuesto en el presente estudio puede ser validado en entornos agrícolas. Esto debido a que, el desarrollo de dichos trabajos dispuso de la utilización de varios dispositivos sincronizados al paradigma internet of things, los cuales funcionaron en espacios físicos relacionados a la agricultura y manufactura. En contraste, este proyecto funciona con cantidades limitadas de instrumentos tecnológicos validados de forma virtual, producto de la adaptación que se debió hacer por la frágil realidad sanitaria que se experimenta a escala global.

Por otro lado, se denota que estos resultados, al ser realizados en un ambiente de pruebas en lugar de un espacio de producción, no considera tiempos de latencia con respecto al número de saltos que tiene que realizar el cliente para poder realizar peticiones a un servidor en la nube. Dicho esto, se realizan las comparaciones con plataformas en la nube que hacen uso de blockchain, tales como Ethereum.

Tabla 3.4 Resultados de latencia y carga según el tipo de plataforma en la nube.

Plataforma en la nube	Latencia [segundos]	Carga del CPU [%]
Ethereum	16.55	46.78
Sistema propuesto	1.4 - 14.11	5.43 - 9.94

En el estudio mencionado previamente [12], se ejecutaron 100 pruebas con ethereum y en términos de porcentaje de carga del cpu, se puede decir que representa una ventaja. Sin embargo, este valor depende principalmente de las características de las máquinas que realizan los algoritmos de blockchain, y también depende del número de nodos. Esto debido a que, al aumentar dicha cantidad, también aumenta el número de transacciones que tienen procesar todos los nodos de la red.

Por último, dado la muestra empleada en el presente proyecto, es plausible considerar su pertinencia en micro, pequeñas y medianas empresas (pymes). Según Garibello [32], el uso del paradigma del Internet of Thing representa una oportunidad de crecimiento para las pymes latinoamericanas, sobre todo, en

tiempos de covid-19. De manera que, incluso cuando el costo pudiese ser una fuerte asunción para compañías de dicho tamaño, el beneficio a corto y largo plazo es mayor en un entorno donde se presenta un aumento de la demanda de la tecnología IoT [33].

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los dispositivos de IoT usados en esta implementación permitieron una monitorización remota a bajo costo, y con un rendimiento óptimo para grandes cantidades de datos, lo cual significa que se obtuvo una mejora en cuanto al control de la información de los productos en cada etapa del proceso de trazabilidad.
- Se implementó una opción de inicio de sesión para separar las funcionalidades de los usuarios y del personal de TI dentro de la página web, ya que uno ve la información luego de pasar por todas las etapas de seguimiento y otro puede visualizar en tiempo real como la información de cada etapa viaja entre los nodos de la red peer to peer, de esta forma se agrega una capa más de seguridad a los datos.
- El uso del aplicativo web permitió que el usuario conozca los detalles más relevantes del producto de una forma inmediata, permitiéndole tomar la decisión sobre la compra de algún producto mediante la comparación de gráficos estadísticos de humedad, temperatura y tracking.

Recomendaciones

- Para llevar a cabo este sistema en un campo abierto, es apropiado generar un análisis completo del número de sensores de temperatura y humedad para cubrir un área más certera.
- Sería aconsejable implementar un indicador de porcentaje de batería vía correo en caso de que el suministro de energía de algún nodo llegue a finalizar, asegurándose de esa manera mantener una mayor disponibilidad de las Raspberry PI's dentro de la red peer to peer.
- Para que el usuario final pueda comprobar que efectivamente se está haciendo uso de blockchain, se aconseja que pueda visualizar la interfaz de ciertos datos de los bloques junto a los resultados del tracking del producto, puesto que, si se utiliza toda la cadena de bloques, podría estar sujeto a ataques cibernéticos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Quinde, R. Bucaram y V. Quinde, «Incidencia de la Banca en el Sector Agrícola Primario Ecuatoriano,» *INNOVA Research Journal*, vol. 3, nº 3, pp. 53-61, 2018.
- [2] V. Huachizaca y R. Alvarado, «Especialización, diversificación y localización sectorial en Ecuador y su incidencia en el ingreso regional,» *Regional and Sectoral Economic Studies*, vol. 18, nº 1, p. 1, 2018.
- [3] I. Hernández, «Tecnología blockchain y regulación de la trazabilidad: la digitalización de la calidad y seguridad alimentaria,» *Revista General de Derecho de los Sectores Regulados*, nº 4, p. 2, 2019.
- [4] M. Alarcón, R. Frías y D. Nogueira, «Influencia del talento humano y su impacto en la responsabilidad social empresarial y en la trazabilidad del café ecuatoriano,» *Veritas & Research*, vol. 1, nº 1, pp. 45-53, 2019.
- [5] V. Margalina y F. Robalino, «Factores que afectan la adopción de las TIC en el sector manufacturero de calzado de Tungurahua, Ecuador,» *Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, vol. 7, nº 3, pp. 22-39, 2018.
- [6] O. Araujo, S. Mieles y R. Arévalo, «Las tic en los sectores económicos de la zona norte de Manabí – Ecuador,» *RITI Journal*, vol. 6, nº 12, pp. 107-111, 2018.
- [7] D. Hirigoyen y P. Báez, «Uso de la electrónica informática para mejorar procesos de trazabilidad individual en la cadena láctea,» *Archivos Latinoamericanos De Producción Animal*, vol. 23, nº 5, 2015.
- [8] S. Valencia, R. Chávez, A. Ruiz y N. Farías, «TraceLemon, prototipo para la trazabilidad de la cadena productiva del limón en el estado de Colima,» *RECI. Revista Iberoamericana De Las Ciencias Computacionales E Informática*, vol. 6, nº 12, pp. 1-24, 2017.
- [9] K. Souali, O. Rahmaoui y M. Ouzzif, «An overview of traceability: Definitions and techniques,» *2016 4th IEEE International Colloquium on Information Science and Technology (CiSt)*, pp. 1-5, 2016.
- [10] F. Díaz, P. Figueroa, R. Chávez, N. Farías y J. Benavides, «Sistema de información Web para la trazabilidad hacia atrás e interna de la producción del limón mexicano,»

Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica, vol. 8, nº 46, pp. 14-30, 2020.

- [11 F. Tian, «An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology,» *13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, pp. 1-6, 2016.
- [12 J. Hua, X. Wang, M. Kang, H. Wang y F. Wang, «Blockchain Based Provenance for Agricultural Products: A Distributed Platform with Duplicated and Shared Bookkeeping,» de *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2018.
- [13 Y. Zhao y N. Cao, «Research on Traceability of Agricultural Products Based on Internet of Things,» de *IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference*, 2017.
- [14 F. Tian, «A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things,» *International Conference on Service Systems and Service Management*, pp. 1-6, 2017.
- [15 G. Alfian, J. Rhee, H. Ahn, J. Lee, U. Farooq, M. Fazal y A. Svaekhoni, «Integration of RFID, wireless sensor networks, and data mining in an e-pedigree food traceability system,» *Journal of Food Engineering*, pp. 1-31, 2017.
- [16 M. Pincheira, M. Salek, M. Vecchio y R. Giaffreda, «Blockchain-based Traceability in Agri-Food Supply Chain Management: A Practical Implementation,» *IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture*, pp. 1-4, 2018.
- [17 C. González, J. Corrales, M. Mendoza, A. González, A. Faeq, N. Arunkumar y G. Ramírez, «An IoT-Based Traceability System for Greenhouse Seedling Crops,» *IEEE Access*, vol. 6, pp. 67528-67535, 2018.
- [18 Static, «Static.raspberrypi.org,» 2020. [En línea]. Available: <https://static.raspberrypi.org/files/product->. [Último acceso: 29 noviembre 2020].
- [19 S. Kamble, R. Anekal y S. Bhavi, «Electronics Thermal Management Driven Design of an IP65-Rated Motor Inverter,» *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, vol. 14, nº 12, 2020.

- [20 R. Ltd, «IP Enclosure Ratings & Standards, IP66, IP65, IP55, IP54,» Rainfords Solutions Ltd, 2020. [En línea]. Available: <https://www.rainfordsolutions.com/ip-enclosure-ratings-and-standards>. [Último acceso: 29 noviembre 2020].
- [21 M. Cuñas y E. Rea, «Implementación de un sistema de inventario utilizando tecnología RFID para la unidad de innovación tecnológica de la Universidad de Las Américas,» 2018.
- [22 A. Chile, «Kit Shield 3G 4G GPS para Raspberry PI,» 2020. [En línea]. Available: <https://altronics.cl/kit-4g-raspberry-pi>. [Último acceso: 29 noviembre 2020].
- [23 Bootstrap, «Build Fast, responsive sites with Bootstrap,» 2020. [En línea]. Available: <https://getbootstrap.com/> . [Último acceso: noviembre 2020].
- [24 Python, «Tutorial de Python,» 2020. [En línea]. Available: <https://docs.python.org/es/3/tutorial/index.html>. [Último acceso: noviembre 2020].
- [25 Pypi, «A simple framework for building complex web applications,» 2020. [En línea]. Available: <https://pypi.org/project/Flask/>. [Último acceso: noviembre 2020].
- [26 O. Documentation, «Oracle MySQL Database Service,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.oracle.com/es/mysql/>. [Último acceso: noviembre 2020].
- [27 A. DynamoDB, «Servicio de base de datos de Amazon DynamoDB,» 2020. [En línea]. Available: <https://aws.amazon.com/es/dynamodb/> . [Último acceso: noviembre 2020].
- [28 L. Bouvarel y R. Páez, «Consensus Algorithm for a Private Blockchain,» de *IEEE 9th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)*, 2019.
- [29 A. Inc., «Amazon Web Services,» 2020. [En línea]. Available: https://docs.aws.amazon.com/es_es/quickstart/latest/linux-bastion/architecture.html.
- [30 A. W. Services, «What is AWS Blockchain Templates,» 2020. [En línea]. Available: https://docs.aws.amazon.com/es_es/blockchain-templates/latest/developerguide/what-are-blockchain-templates.html .
- [31 N. Satoshi, «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System,» 2012. [En línea]. Available: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. [Último acceso: 2020].

- [32 J. Garibello, «La IoT una nueva ventana de oportunidad para pymes latinoamericanas en tiempos de la covid-19,» *Revista RETO*, vol. 8, nº 1, pp. 53-66, 2020.
- [33 J. Ibijés y M. Benavides, «Contribución de la tecnología a la productividad de las pymes de la industria textil en Ecuador,» *Cuadernos de economía*, vol. 41, nº 115, pp. 140-150, 2018.
- [34 M. Ecuador, «Mercado Libre,» 2020. [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-429159973-innovatec-kit-raspberry-pi-3-b-cargador-disipadores-_JM#position=3&type=item&tracking_id=072e789b-57a5-4e27-8729-82d8230edf9d. [Último acceso: 2020].
- [35 «Amazon Ecuador,» 2020. [En línea]. Available: https://www.amazon.com/LeMotech-Dustproof-Waterproof-Electrical-300mmx250mmx120mm/dp/B075DHT7X2/ref=pd_lpo_328_img_1/138-3077990-4308954?_encoding=UTF8&pd_rd_i=B075DHT7X2&pd_rd_r=1385951a-4db7-4367-b863-b940f3b14081&pd_rd_w=PSgqY&pd_rd_wg=fjvcq&pf_rd_p=16.
- [36 C. Technology, «Mercado Libre Ecuador,» 2020. [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-429181261-antena-zkteco-rfid-uhf-largo-alcance-lectora-10mt-acceso-_JM#position=3&type=item&tracking_id=66c546b2-e357-404f-949c-bf80181e0d77. [Último acceso: 2020].
- [37 «Mercado Libre Ecuador,» 2020. [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-428842018-mgsystem-modulo-sensor-de-tempertura-y-humedad-dht11-arduino-_JM#position=1&type=item&tracking_id=3ffd8569-0205-4af2-8dd8-075a05736ee8. [Último acceso: 2020].
- [38 L. Hu, «Alibaba.com,» 2020. [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/product-detail/hot-selling-passive-printable-inlay-sticker-tag-uhf-rfid-label-for-warehouse-retail-1600163591714.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.612f4131gm6hSZ&s=p.
- [39 «Sixfab,» 2020. [En línea]. Available: <https://sixfab.com/product/raspberry-pi-3g-4glte-base-shield-v2/>.

[40 «Amazon Web Services,» 2020. [En línea]. Available:
] <https://calculator.aws/#/addService>.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Acceso a las raspberry pi mediante VNC viewer

