

Modelo de aplicación Qr (Quick Response Code) en actividades de trazabilidad en banco de germoplasma de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Centro de Formación Agroindustrial

David Saavedra Mora, Valentín Murcia Torrejano, César Augusto Pérez Tafur

Servicio Nacional de
Aprendizaje SENA -
Regional Huila Centro de
Formación Agroindustrial
- SENNOVA -
Grupo de Investigación
Agroindustrial

Resumen

El presente estudio realizó un modelo de aplicación QR (Quick Response Code) basado en Internet de las Cosas y Big Data para conectar las actividades de trazabilidad de cacao (*Theobroma cacao* L.) con el fin de obtener valor agregado en la comercialización mediante el acceso rápido a la información de clones, híbridos y el material genético regional disponible en el banco de germoplasma de cacao. Para la construcción de la base de datos se tomaron datos de 69 árboles de cacao, determinando variables de fermentación física, bromatológica y sensorial del grano que fueron analizadas en el laboratorio del Centro de Formación Agroindustrial. En la base de datos se incluyeron también las condiciones edáficas y atmosféricas y los datos de producción de cada árbol. Como resultado se generó una base de datos en la web y se personalizaron los códigos QR de los árboles de cacao, diseñando un protocolo para lectura y uso. Este modelo constituye un referente para la gestión de los cultivos de cacao en la región que sirve de orientación a los productores de cacao para mejorar sus procesos agroecológicos y agroindustriales con genotipos especializados en aroma y sabor.

Palabras claves:

Internet de las cosas, big data, análisis sensoriales, quick response code, bromatología, árboles de cacao

Abstract

An Internet of Things and Big Data-based QR (Quick Response Code) application model was carried out to connect the traceability activities of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in order to promote added value in marketing through the quick access of information on clones, hybrids and regional genetic material available in the cocoa germplasm bank. For the construction of a database, they took data from 69 cocoa trees, determining fermentation, physical, bromatological and sensory variables of the cocoa bean that were analyzed in the agroindustrial laboratory of the Agroindustrial Training Center. At the same time, the conditions were included edaphic and atmospheric and the production data of each tree. As a result, a database was generated on the web and the QR codes on the cocoa trees were customized, designing a protocol for reading and use. This model constitutes a benchmark for the management of cocoa crops in the region and guides cocoa producers in improving cocoa agroecological processes and agro-industrial processes with specialized genotypes in aroma and flavor.

Keywords:

Internet of things, big data, sensory analysis

Introducción

El cacao se cultiva en cerca de 50 países tropicales, algunos de ellos latinoamericanos. La producción anual es de 4,576 millones toneladas de grano (ICCO, 2019) sembrado en 11,748,129 de hectáreas, de las cuales dependen económicamente entre 40 y 60 millones de personas (ICCO, 2019). En Colombia, para el año 2019 la producción de cacao fue cerca de 60.535 toneladas (FAOSTAT, 2019; FEDECACAO, 2019) en 190.469 hectáreas; solo en el departamento del Huila, se registró una producción de 659 kg/ha/año en un área de 7.245 hectáreas para una producción total de 4.417 toneladas. Los municipios productores más representativos en el departamento fueron Rivera (762 t/año), Campoalegre (326 t/año) y Tello (320 t/año), con aproximadamente 3,200 familias cacaoteras reportadas (MINAGRICULTURA, 2019).

La producción de chocolate en un mercado diferenciado depende de varios factores que van desde la selección de genotipos, el nicho ecológico (condiciones ambientales, prácticas agrícolas) hasta actividades de poscosecha (fermentación, secado) y etapas de agroindustria que proporcionan una serie de reacciones bioquímicas y químicas para obtener características de aroma y sabor especial (Toker et al., 2020; Gil et al., 2020). Estas variables permiten la compresión de los compuestos aromáticos y volátiles a partir de la fermentación provocada por las comunidades microbianas (Mota-Gutierrez et al., 2019; Barrientos et al., 2019). Los productores que realizan dichas actividades siguiendo los estándares establecidos en la industria logran una trazabilidad de cacao con alta calidad, reflejado en los precios del mercado con un 20% de diferencia entre cacao convencional y cacao especial fino y de aroma (ICCO, 2020).

Algunas nuevas tecnologías como internet de las cosas (IoT) juegan un papel importante en la agricultura automatizada promoviendo actividades de trazabilidad de manera eficiente (Sanjeevi et al., 2020; Sinha et al., 2019) con sistemas computarizados que controlan datos de entrada, salida y proceso (Lyts et al., 2020; Wang et al., 2020). El uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y Big data ofrecen la posibilidad del uso intensivo de datos para recopilar, procesar y analizar información en tiempo real sobre comportamiento y rendimiento productivo (Terence y Purushothaman, 2020). La agricultura 4.0 ofrece una serie de herramientas que ayuda a los productores a ahorrar tiempo en la toma de decisiones gracias a que incorpora intensivamente las TIC, optimizando procesos a lo largo de toda la cadena productiva y arrojando información de gran relevancia para los productores (Lezoche et al., 2020).

El uso de tecnologías cotidianas como el Smartphone cobra cada vez mayor relevancia en la agricultura ya que facilita procedimientos operativos y, cuando se utiliza como plataforma combinada para la agricultura de precisión, ayuda a generar estrategias en los procesos agrícolas (Golicz et al., 2019). Sin embargo, el uso de teléfonos inteligentes en la agricultura es aún limitado por factores como el conocimiento en el uso de estas herramientas por parte de los productores, su nivel educativo y el tamaño de los predios, además de la disponibilidad de aplicaciones adecuadas para administrar los cultivos (Michels et al., 2020). Sin embargo, el uso de teléfonos móviles en la agricultura aumenta la producción agrícola un 4% y la adopción de insumos recomendados en un 22% (Fabregas et al., 2020).

El uso de herramientas presentes en un Smartphone común como GPS y cámara con alta resolución potencian las actividades

agrícolas gracias a los beneficios de transmitir datos del cultivo (Wan et al., 2019). La cámara integrada permite, además, la lectura de códigos QR (Quick Response code), que proporcionan y almacenan información en dos dimensiones (vertical y horizontalmente). Un código QR es capaz de almacenar hasta 4,200, lo cual lo hace una herramienta eficiente en el almacenamiento de información (Barrientos-Avendaño, 2019; Álvarez et al., 2019; Ripoll et al., 2017).

El objetivo del estudio es generar un modelo de aplicación QR en actividades de trazabilidad en banco de germoplasma de cacao con el fin adoptar tecnologías en los cultivos de cacao y promover la agricultura inteligente para aumentar la calidad de grano de cacao así como el uso de herramientas propias del internet de las cosas entre los agricultores.

Materiales y métodos

Área de estudio

El modelo de aplicación Qr (Quick Response Code) se realizó en el Banco de germoplasma de cacao del Centro de Formación Agroindustrial Campoalegre, Huila (Colombia), ubicado a 2°41' N, 75°19' W, en un ecosistema de bosque seco tropical (Suárez et al., 2020), con una temperatura promedio de 25.9°C, humedad relativa promedio entre 65-75% y precipitación anual de 1,300-1,800 mm, así como dos periodos de lluvia anuales en marzo-junio y noviembre-enero (Saavedra et al., 2019).

El Banco de germoplasma fue establecido apropiadamente en el año 1980 con el fin de recuperar y seleccionar materiales regionales con potencial comercial. En él se han recolectado 546 árboles de cacao (*Theobroma cacao L.*) caracterizados por un rendimiento productivo similar al de los demás municipios

del departamento del Huila. En el proceso de desarrollo del Modelo de aplicación Qr (Quick Response Code) se seleccionaron 69 árboles, con base al estudio morfoagronómicas y potencial productivo (Ávila et al., 2016).

Recolección de datos

Los datos del modelo de aplicación Qr se obtuvieron a partir de la recolección de datos de botánicos, índice producción, proceso de fermentación, variables físicas, sensoriales y bromatológicas del grano de cacao, como también las condiciones climáticas y edáficas.

Durante el proceso se tomaron fotografías de los árboles de cacao, hojas, granos y mazorcas en estado maduro y verde, se rotularon y procesaron en el software Adobe Photoshop CS6, con medidas de cada fotografía de 200 x 200 píxeles, verificando la nitidez y saturación de las mismas. Las condiciones atmosféricas fueron obtenidas de la estación meteorológica marca WatchDog 2900ET del Centro de Formación que registra variables de precipitación (mm), humedad relativa del aire (RH), temperatura atmosférica (T_a) y radiación fotosintéticamente activa ($PAR \mu mol m^{-2} s^{-1}$). Las variables edáficas fueron determinadas en el laboratorio de ciencias básicas en estudios realizados por Saavedra et al. (2019).

Índice de producción

La medición del índice de mazorca se realizó seleccionando diez mazorcas sanas en estado de madurez fisiológica de cada genotipo de cacao. Estas mazorcas se sometieron a procesos de beneficio (fermentación y secado) y se determinó el índice aplicando la fórmula: $IM = (No. mazorcas \times 100) / (Peso \text{ en gramos de los granos secos de } No. mazorcas)$ (Chang & Torres, 2014).

Las variables de fermentación se determinaron a partir de muestras de grano tomadas en diferentes meses de los años

2018 y 2019. Las muestras fueron rotuladas de acuerdo al número del árbol y llevadas al beneficiadero de cacao donde se fermentaron (Fedecacao, 2013), determinando la temperatura, grados brix, humedad relativa y tiempo de fermentación. Luego, las muestras fueron secadas y debidamente almacenadas para los respectivos análisis, los cuales fueron realizados en el complejo del Centro de Formación Agroindustrial.

Análisis físicos

El análisis físico fue realizado de acuerdo con los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana 1252 (2012), usando un 1 Kg de cacao fermentado y seco. El tipo de análisis elegido fue el método de guillotina (prueba de corte) seleccionando 100 gramos de cacao. Mediante la estimación visual de granos se analizó y clasificó cada grano en distintas categorías (grano bien fermentado, parcialmente fermentado, sin fermentar, pizarroso y dañado por insectos).

También se tomaron muestras de granos de 100 g cada una sobre las cuales se midieron variables cualitativas como aroma y apariencia, granos defectuosos, porcentaje de impurezas, contenido de humedad e índice de semilla. Los materiales empleados para la toma de datos fueron: una balanza analítica de precisión de 0.001g (Daihon Scientific Wisd WBA-620), una balanza de 20000 g (ADAM LBK6) y un medidor de humedad de cacao y café (Coffee PRO Moisture-Mac) (Aguilar, 2016).

Análisis bromatológicos

Los análisis bromatológicos se realizaron entre septiembre y diciembre de 2019 en muestras de cacao fermentadas y secas. La determinación de proteína se realizó a través del método de digestión Kjeldahl en 0.5 granos de cacao molido fermentado (ICONTEC, 1999). Para medir el porcentaje de humedad, se pesaron 2 gramos de la muestra

en una balanza halógena a una temperatura de 120 °C por 5 minutos (ICONTEC, 2012). El porcentaje de grasa se determinó por el método de Soxhlet estándar efectuando calor. La fibra cruda se midió por el método de pérdida de masa que corresponde a la incineración del residuo orgánico con el uso de equipo FIWE VELD (ICONTEC, 2002)

Análisis químico

Los análisis químicos del cacao se realizaron entre junio y octubre del año 2019 durante los procesos de microfermentación por genotipo de cacao. Los sólidos solubles se midieron a través del refractómetro ATAGO® digital (Pocket 3840). El pH se midió por el método potenciómetro digital, AOAC 970.2118 (ORIÓN® modelo 5 STAR). La acidez expresada en ácido cítrico se midió en una suspensión 1:10 de la muestra homogenizada por titulación de hidróxido de sodio 0.1 N. (AOAC, 1990). Con el objetivo de aumentar la confiabilidad analítica se realizaron tres repeticiones de las pruebas a cada una de las muestras.

Los cálculos de acidez fueron elaborados a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez Total \%} = A * B * CD * 100$$

Dónde A representa *ml de la solución de NaOH consumido en la valoración*, B representa *normalidad de la solución de NaOH*, C representa *peso equivalente del ácido predominante en la fruta (ácido cítrico 0,064)* y D representa *peso en gramos de la muestra*.

Análisis sensorial

• Características organolépticas

Las características organolépticas del grano de cacao se determinan a partir de los sentidos del gusto y el olfato de personal calificado con entrenamiento específico para esta tarea (Vega, 2013). La descripción de sabores y aromas de licor de cacao se clasificó

en tres perfiles: Sabores básicos (acidez, amargor, astringencia, dulce y salado); sabores específicos (sabor típico a cacao, floral, frutal, nuez), y por último, sabores adquiridos (moho, crudo/verde) (Sánchez, 2007).

Registro de datos y diseño de Qr

La herramienta utilizada para el registro de datos y la lectura de código QR in situ se desarrolló en convenio con el Tecnoparque nodo La Angostura como un proyecto de innovación y desarrollo tecnológico para el sector agroindustrial. Durante el proceso se diseñó y construyó un sistema de información integrado compuesto por una aplicación web y una aplicación móvil nativa desarrollada para el sistema operativo Android. Estos sistemas fueron desarrollados en lenguajes de código abierto y en un sistema de gestión de base de datos relacional desarrollado bajo licencia dual (Licencia publica general/Licencia comercial), por lo cual el sistema es un software libre. El diseño de las etiquetas o códigos Qr se realizó en la plataforma libre <https://www.qrcode-monkey.com/es> donde se personalizó el Qr acorde a los requerimientos de Banco

de germoplasma de cacao del Centro de Formación Agroindustrial.

Resultados

Diseño base de datos

La base de datos elaborada fue de tipo no relacional usando el motor de bases de datos MySQL de Oracle. El modelo de datos es simple, consta de dos tablas, una para el registro de usuarios de la plataforma y otra para el registro de especies (**Figura 1**). El registro de especies consta de 17 campos que permiten el almacenamiento de datos y la caracterización de cada genotipo de cacao con variables como nombre y detalles botánicos (**Figura 2**), índice de producción, análisis físicos, químicos y sensoriales (**Tabla 1**). Cada genotipo de cacao fue registrado en el sistema accediendo a través de <https://smartgeeks.com.co/species>. El output del sistema es un código o número de identificación único por especie, el cual se convierte en un código QR (Quick Response code) que permite ser leído a través de la aplicación móvil para visualizar todos y cada uno de los datos del respectivo genotipo de cacao.

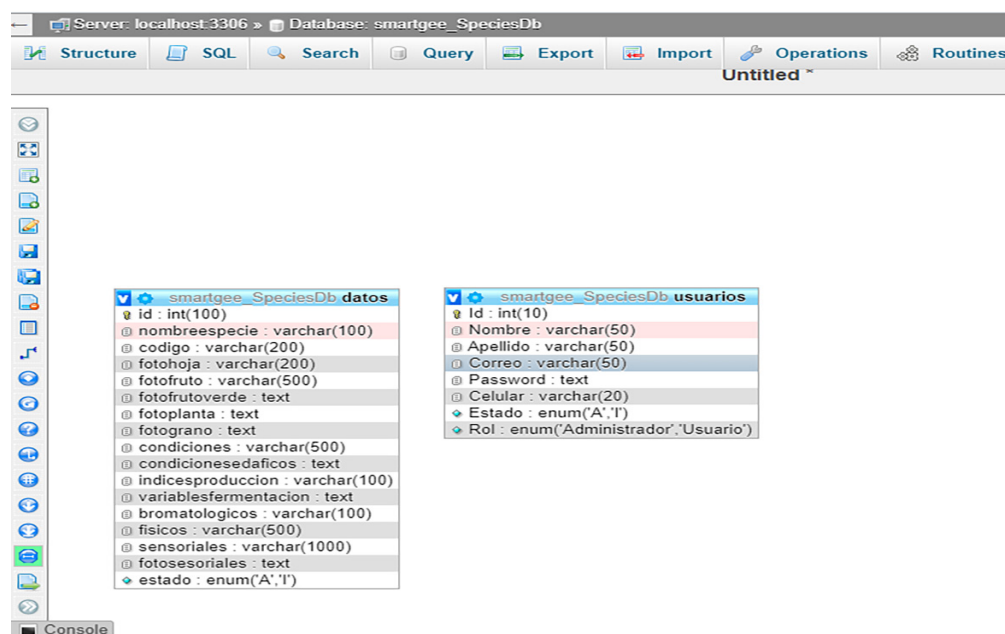


Figura 1. Diseño la base de datos en el motor de bases de datos MySQL de Oracle.

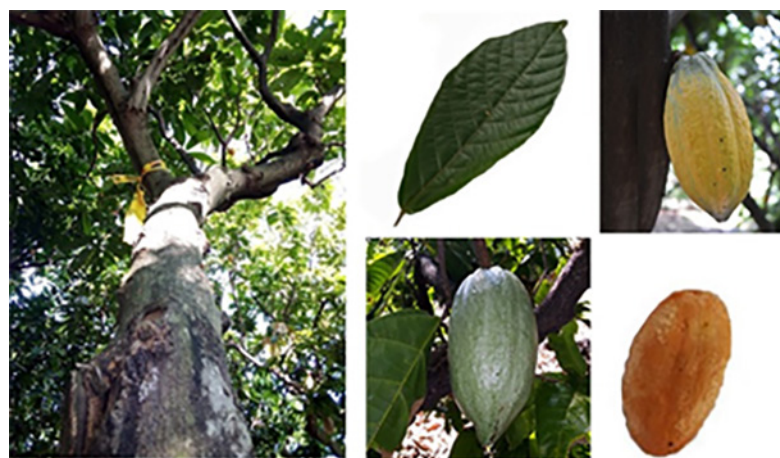


Figura 2. Ejemplo del árbol 32 del Banco de germoplasma de cacao del Centro de Formación Agroindustrial donde se edita descriptores botánicos (árbol, hoja, semilla y mazorca en estado maduro y verde).

Tabla 1. Ejemplo de cinco (5) árboles de cacao elegidos al azar de un total de 69 pertenecientes al Banco de germoplasma, donde se describen las condiciones atmosféricas, variables edáficas, índices de producción, análisis físicos, bromatológicos y sensoriales del grano de cacao.

ID	Código	Índices de producción	Variables de fermentación	Bromatológicos	Físicos	Sensoriales
1	Árbol N° 32	12,51	Horas de fermentación: 120 Grados brix: 18.46 pH: 2.61 Temperatura de la masa: 37.5 °C Temperatura ambiente: 28.8 °C Humedad relativa: 66.2%	Humedad: 6.17 Actividad acuosa: 0.5521 %Grasa: 32 %Fibra: 12 %Proteína: 17.543 Ceniza: 2.9	Aroma de muestra: Típica Apariencia externa: Homogénea Granos aplanados: 0.6 g Índice de grano: 0.85 g Porcentaje de humedad: 6.2 % Granos bien fermentados: 76 Granos insuficientemente fermentados: 17 Granos sin fermentar: 7 Granos sobre fermentados: 0 Granos dañados por insectos: 0 Granos germinados: 0 Granos mohosos: 0 Granos pizarrosos: 0 Granos con manchas blancas: 0	cacao: Acidez: Amargo: Astringencia: Floral: Frutal: Nuez: Verde: Quemado: Salado:
2	Árbol N° 50	14.80	Horas de fermentación: 120 Grados brix: 17.0 pH: 3.48 Temperatura de la masa: 30.4 °C Temperatura ambiente: 32.1 °C Humedad relativa: 55.8%	Humedad: 5.2 Actividad acuosa: 0.5914 %Grasa: 37.8 %Fibra: 13 %Proteína: 14.563 Ceniza: 3.3	Aroma de muestra: Típica Apariencia externa: Homogénea Granos aplanados: 0.14 g Índice de grano: 0.90 g Porcentaje de humedad: 7.0 % Granos bien fermentados: 40 Granos insuficientemente fermentados: 38 Granos sin fermentar: 22 Granos sobre fermentados: 0 Granos dañados por insectos: 0 Granos germinados: 0 Granos mohosos: 0 Granos pizarrosos: 0 Granos con manchas blancas: 0	Cacao: Acidez: Amargo: Astringencia: Floral: Frutal: Nuez: Verde: Quemado: Salado
3	Árbol N° 53	10.40	Horas de fermentación: 120 Grados brix: 23.9 pH: 2.95 Temperatura de la masa: 33.7 °C Temperatura ambiente: 27 °C Humedad relativa: 78.2%	Humedad: 6.14 Actividad acuosa: 0.5875 %Grasa: 37.8 %Fibra: 14 %Proteína: 13.869 Ceniza: 3.2	Aroma de muestra: Típica Apariencia externa: Homogénea Granos aplanados: 0.14 g Índice de grano: 0.90 g Porcentaje de humedad: 7.0 % Granos bien fermentados: 40 Granos insuficientemente fermentados: 38 Granos sin fermentar: 22 Granos sobre fermentados: 0 Granos dañados por insectos: 0 Granos germinados: 0 Granos mohosos: 0 Granos pizarrosos: 0 Granos con manchas blancas: 0	Cacao: Acidez: Amargo: Astringencia: Floral: Frutal: Nuez: Verde: Quemado: Salado:
4	Árbol N° 42	12.05	Horas de fermentación: 120 Grados brix: 17 pH: 3.48 Temperatura de la masa: 30.4 °C Temperatura ambiente: 32.1 °C Humedad relativa: 55.8%	Humedad: 7.65 Actividad acuosa: 0.7055 %Grasa: 34.2 %Fibra: 13 %Proteína: 14.250 Ceniza: 5.8	Aroma de muestra: Típica Apariencia externa: Homogénea Granos aplanados: 0 g Índice de grano: 1.3 g Porcentaje de humedad: 10.0 % Granos bien fermentados: 34 Granos insuficientemente fermentados: 23 Granos sin fermentar: 43 Granos sobre fermentados: 0 Granos dañados por insectos: 0 Granos germinados: 0 Granos mohosos: 0 Granos pizarrosos: 0 Granos con manchas blancas: 0	Cacao: Acidez: Amargo: Astringencia: Floral: Frutal: Nuez: Verde: Quemado: Salad
5	Árbol N° 57	15.94	Horas de fermentación: 120 Grados brix: 20.66 pH: 2.77 Temperatura de la masa: 31.0 °C Temperatura ambiente: 30.1 °C Humedad relativa: 66.3%	Humedad: 6.23 Actividad acuosa: 0.6214 %Grasa: 37 %Fibra: 15 %Proteína: 12.113 Ceniza: 4.9	Aroma de muestra: Típica Apariencia externa: Homogénea Granos aplanados: 0 g Índice de grano: 1.1 g Porcentaje de humedad: 6.76 % Granos bien fermentados: 48 Granos insuficientemente fermentados: 24 Granos sin fermentar: 28 Granos sobre fermentados: 0 Granos dañados por insectos: 0 Granos germinados: 0 Granos mohosos: 0 Granos pizarrosos: 0 Granos con manchas blancas: 0	Cacao: Acidez: Amargo: Astringencia: Floral: Frutal: Nuez: Verde: Quemado: Salado:

Fuente: Elaboración propia.

El índice de mazorca (IM) es un parámetro clave para determinar la cantidad de mazorcas necesarias para producir un kilogramo de cacao seco así como la estimación el rendimiento de producción en cada cacaotal durante el año (Chang & Torres, 2014; Mora et al., 2014). Además, la cosecha y postcosecha juegan un papel importante en el sabor y aroma final del producto: particularmente, la fermentación y el secado desarrollan estas características (Machado et al., 2018) aunque también dependen del tipo de zona y de la época del año (Amaiz & Sira, 2013). El monitoreo de las variables de fermentación: temperatura, grados brix y pH, y las variables atmosféricas permiten al productor o al profesional, estandarizar procesos de fermentación y secado acordes al tipo de zona con el propósito de obtener características similares y deseables en cada ciclo de cosecha (Steinau Dueñas, 2017). El análisis de las características físicas de la almendra de cacao durante los procesos de fermentación y de secado permite identificar características como, olor, apariencia, granos defectuosos, índice de semilla, contenido de humedad y porcentaje de fermentación, que son elementos supremamente importantes en la comercialización y la identificación de árboles potenciales para su propagación (De Sánchez, 2007; La Cruz Medina et al., 2010; CAOBISSCO, 2015). Los análisis bromatológicos y sensoriales en cacao son muy importantes en la industria, estas variables permiten identificar la formulación adecuada para elaborar cada producto derivado del cacao dependiendo de las características del cacao sin procesar (López- Hernández et al., 2019). La relación que existe entre el material genético del cacao y los procesos de beneficio estandarizados arrojan como resultado valores favorables en variables físicas, químicas, bromatológicas

y sensoriales, así como valor agregado al productor al momento de la comercialización de los granos de cacao (Duque & Prada, 2014)

Codificación y estructura de los Qr

El código Qr que identifica a cada genotipo fue generado mediante el programa QR CODE MONKEY (<https://www.qrcode-monkey.com/es>) que permitió transmitir la información enriquecida a los respectivos códigos QR. Para ello se personalizó el color fuente de vanecido de radio (#5C8B29 y #25492F), color del ojo (#3F6B2B y #60A541), color de fondo (FFFFFF), con una resolución de 1,950 x 1,950 píxeles, con diseño de selva (Jugle). Además fue seleccionada la forma del cuerpo, así como el marco y la forma del ojo en los laterales del código Qr. Finalmente se anexó en la parte inferior del código, el logo institucional de Servicio Nacional de Aprendizaje SENA y el del Sistema de Investigación Desarrollo Tecnológico e Investigación-SENNOVA con el programa Adobe Photoshop CS6 (**Figura 3**). Este diseño se utiliza posteriormente en el Banco de germoplasma de cacao (*Theobroma cacao* L.) sin causar contaminación visual.



Figura 3. Código Qr con información enriquecida del árbol de cacao código N° 32 identificado con Id N° 1 y los respectivos logos institucionales.

Presentación y gestión de la información

La recolección de la información, el levantamiento de requisitos y la construcción del SRS (Software Requirement Specification o Especificación de Requisitos de Software) fueron realizados mediante la identificación del proceso de trazabilidad, descrito posteriormente en herramientas analíticas como el diagrama de casos de uso, el diagrama de clases, y el modelo relacional de la base de datos del sistema. La gestión de la información se encuentra alojada en el servidor de HostGator.com, provisto por SmartGeeksStudio (equipo de creativos, diseñadores programadores y expertos en

soluciones informáticas que trabajan bajo el modelo Freelance), que contiene la base de datos en versión beta. Las lecturas de QR se encuentran en el URL <https://smartgeeks.com.co/species/>. Las lecturas contienen una ficha sencilla (id) que funciona como identificador de cada árbol y está enlazado con el código QR (Quick Response code), así como con los descriptores botánicos de hojas, árbol, mazorcas en estado verde y madura y semillas y sus respectivos análisis físicos, sensoriales, bromatológicos, de índices de producción y variables de fermentación (**Figura 4**).

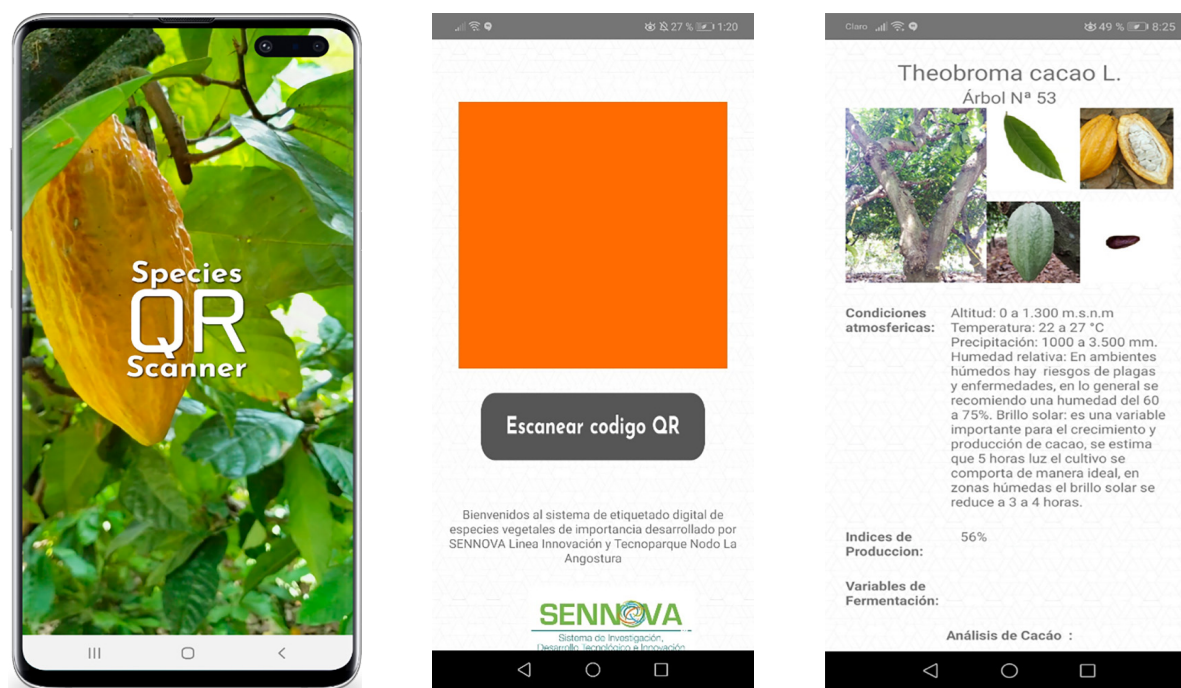


Figura 6. Sistema de gestión versión beta para la lectura de QR en el Banco de germoplasma de cacao del Centro de Formación Agroindustrial

La ruta de lectura de los QR en el Banco de germoplasma de cacao está identificada al inicio con los antecedentes históricos e investigaciones publicadas, además es una propuesta para realizar el recorrido y poder conocer mejor las características de los genotipos regionales disponibles en el Centro

de Formación Agroindustrial. En el recorrido los usuarios podrán escanear los paneles con códigos QR que están disponibles en un soporte, usando un Smartphone o una Tablet para leer el código tal y como se indica más abajo, y poder conocer las características de cada árbol (**Figura 4**)



Figura 4. Ruta para leer un código QR en los genotipos de cacao del Centro de Formación Agroindustrial.

Conclusiones y Recomendaciones

El modelo de codificación QR del Banco de germoplasma constituye un referente para la gestión de cultivos de cacao. La construcción de bases de datos que contienen análisis físicos, bromatólogos, sensoriales, de índice de producción, botánicos, condiciones climáticas y variables edáficas permiten dar un soporte rápido y ágil para la toma de decisiones de los productores y usuarios facilitando los procesos de trazabilidad de cacao, así como el avance en el uso de herramientas digitales dentro de una agricultura inteligente.

Agradecimiento

El proyecto se desarrolló gracias al Centro de Formación Agroindustrial y SENNOVA con los proyectos financiados “Automatización del monitoreo de las variables en las etapas de beneficio de cacao para el aseguramiento de la calidad en el norte del Huila” de la línea programática de innovación para la empresa del 2019 y “Uso de las tecnologías 4.0 en el sector agrícola y el uso eficiente del agua por las plantas en un contexto de cambio climático de la línea de investigación”.

Bibliografía

A.O.A.C (1990). Official methods of analysis. 15th Edition. Association of Analytical Agricultural Chemists, Arlington, Virginia.

Aguilar, H. (2016). Manual para la Evaluación de la Calidad del Grano de Cacao (No. 16495). FHIA. La Lima, Honduras.

Alvarez, L., Vite, V., Moretta, Y., Burneo, V. y Jumbo, S. (2019). A QR (Quick Response) code application model in environmental management and education activities in a Neotropical botanical garden. Revista Espacios, 40 (16), 23

- Amaiz, M. L., & Sira, E. P. (2013). Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. *Agronomía Tropical*, 63(1), 36-48.
- Barrientos, L. D. P., Oquendo, J. D. T., Garzón, M. A. G., & Álvarez, O. L. M. (2019). Effect of the solar drying process on the sensory and chemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivated in Antioquia, Colombia. *Food research international*, 115, 259-267.
- Barrientos-Avendaño, E., Rico-Bautista, D., Coronel-Rojas, L. A., & Cuesta-Quintero, F. R. (2019). Jardín botánico: Prototipo de software para la gestión y divulgación de plantas nativas basado en código QR y realidad aumentada. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E17), 267-282.
- CAOBISCO ECA FCC. (2015) Granos de cacao: Requisitos de calidad de la industria del chocolate y el cacao. Recuperado de: http://www.cocoaquality.eu/data/Cacao%20en%20Grano%20Requisitos%20de%20Calidad%20de%20la%20Industria%20Apr%202016_es.pdf
- Chang, J. V., & Torres, C. V. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21-34.
- Cubillos, C. A., Espinosa, C. M. O., & Salazar, J. C. S. (2016). Caracterización morfoagronómica de árboles de cacao en el norte del Huila: estrategia de recuperación del germoplasma regional. SENA, Universidad de la Amazonía.
- De La Cruz Medina, J., Vargas, M., Ortiz, A., & Del Angel Coronel, O. (2010). Cacao Operaciones Poscosecha. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>
- Duque, J. A. G., & Prada, S. L. G. (2014). Evaluación sensorial de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivado en la región del sur del departamento de Bolívar (Colombia). *RIAA*, 5(2), 221-236.
- Fabregas, R., Kremer, M., & Schilbach, F. (2019). Realizing the potential of digital development: The case of agricultural advice. *Science*, 366(6471).
- FAOSTAT (2019). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Gil, M., Llano, S., Jaramillo, Y., Quijano, J., & Londono-Londono, J. (2020). Matrix effect on quantification of sugars and mannitol developed during the postharvest of cocoa: An alternative method for traceability of aroma precursors by liquid chromatography with an evaporative detector. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 210-221.
- Golicz, K., Hallett, S. H., Sakrabani, R., & Pan, G. (2019). The potential for using smartphones as portable soil nutrient analyzers on suburban farms in central east China. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.
- Instituto Colombiano de Normalización y Certificación - ICONTEC. (1999). Norma Técnica Colombiana NTC 4657: Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda.
- Instituto Colombiano de Normalización y Certificación - ICONTEC. (2002)

- Alimentos y materias primas. NTC 668: Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda.
- Instituto Colombiano de Normalización y Certificación-ICONTEC-. (2012). Norma Técnica Colombiana NTC 1252: Cacao en grano.
- Lezoche, M., Hernandez, J., Diaz, M. D. M. A., Panetto, H., & Kacprzyk, J. (2020). Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in Industry*, 116.
- López-Hernández, J. A., Ortiz-Mejía, F. N., Parada-Berríos, F. A., Lara-Ascencio, F., & Vásquez-Osegueda, E. A. (2019). Caracterización morfoagronómica de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) y su incidencia en la selección de germoplasma promisorio en áreas de presencia natural en El Salvador. *Revista Científica Multidisciplinaria de la Universidad de El Salvador-Revista Minerva*, 2(1), 31-50.
- Lytos, A., Lagkas, T., Sarigiannidis, P., Zervakis, M., & Livanos, G. (2020). Towards smart farming: Systems, frameworks and exploitation of multiple sources. *Computer Networks*, 172, 107147.
- Michels, M., Fecke, W., Feil, J. H., Musshoff, O., Pigisch, J., & Krone, S. (2020). Smartphone adoption and use in agriculture: Empirical evidence from Germany. *Precision Agriculture*, 21(2), 403-425.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural -MINIAGRICULTURA-(2019). Estadística de cacao. Consultado en 09 de mayo del 2019. Disponible en <<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>>
- Mora, F. D. S., Montufar, J. Z., Chang, J. V., Remache, R. R., Fiallos, F. R. G., & Montúfar, G. H. V. (2014). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de Los ríos, Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 7(1), 33-41.
- Mota-Gutierrez, J., Barbosa-Pereira, L., Ferrocino, I., & Cocolin, L. (2019). Traceability of Functional Volatile Compounds Generated on Inoculated Cocoa Fermentation and Its Potential Health Benefits. *Nutrients*, 11(4), 884.
- Ripoll, S., Mayoral, O., & Azkárraga, J. M. (2017). Proyecto Quick Natura. Tecnologías móviles aplicadas a rutas botánicas urbanas. *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 185-192.
- Saavedra-Mora, D., Murcia-Torrejano, V., Machado-Cuellar, L., Sánchez-Cerquera, J., Estrada-Quintero, L. F., & Ordoñez-Espinosa, C. M. (2019). Propiedades físicas y químicas de suelos y su relación con sistemas de producción en el municipio Campoalegre, departamento del Huila, Colombia. *Bioagro*, 31(2).
- Sánchez, V. (2007). Caracterización organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L.), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial. (Tesis de grado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Sanjeevi, P., Prasanna, S., Siva Kumar, B., Gunasekaran, G., Alagiri, I., & Vijay Anand, R. (2020) Precision agriculture and farming using Internet of Things based on wireless sensor network. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, e3978.
- Sinha, A., Shrivastava, G., & Kumar, P. (2019). Architecting user-centric internet of things for smart agriculture. *Sustainable*

Computing: Informatics and Systems, 23, 88-102.

Steinau Dueñas, I. A. (2017). Evaluación de la incidencia de la fermentación en la calidad del grano de cacao trinitario en Caculo, Sonsonate, El Salvador (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).

Suárez, J.C., Polanía, J.A., Contreras, A.T. et al., Adaptation of common bean lines to high temperature conditions: Genotypic differences in phenological and agronomic performance. *Euphytica* 216, 28 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10681-020-2565-4>

Terence, S., & Purushothaman, G. (2020) Systematic review of Internet of Things in smart farming. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, e3958.

Toker, O. S., Palabiyik, I., Pirouzian, H. R., Aktar, T., & Konar, N. (2020). Chocolate aroma: Factors, importance and analysis. *Trends in Food Science & Technology*.

Wan, X. F., Zheng, T., Cui, J., Zhang, F., Ma, Z. Q., & Yang, Y. (2019). Near Field Communication-based Agricultural Management Service Systems for Family Farms. *Sensors*, 19(20), 4406.

Wang, E., Attard, S., Linton, A., McGlinchey, M., Xiang, W., Philippa, B., & Everingham, Y. (2020). Development of a closed-loop irrigation system for sugarcane farms using the Internet of Things. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172, 105376.