

EScacao: Aplicación web para caracterizar almendras de *theobroma cacao* l. empleando técnicas estadísticas

EScacao: Web application for characterizing theobroma cacao l. beans using statistical techniques

Fecha de recepción: 2025-05-28 • Fecha de aceptación: 2025-08-08 • Fecha de publicación: 2025-10-10

Ariosto Vicuña¹

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo - Ecuador

avicuna@uteq.edu.ec

orcid.org/0000-0002-1459-1759

Orlando Erazo²

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo - Ecuador

oerazo@uteq.edu.ec

orcid.org/0000-0001-5642-9920

Jéssica Ponce³

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo - Ecuador

jponceo@uteq.edu.ec

orcid.org/0000-0001-6140-1420

Geovanny Brito Casanova⁴

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo - Ecuador

gbritoc@uteq.edu.ec

orcid.org/0000-0002-7715-7706

RESUMEN

Los países exportadores de cacao deben estar preparados con las herramientas necesarias para varios procesos como la caracterización de los parámetros físico-químicos-sensoriales de las almendras de cacao que requiere recopilar, analizar e interpretar datos para efectuar cálculos y generar gráficos utilizando técnicas estadísticas. En este trabajo, se propuso una aplicación agromática enfocada en la caracterización de las almendras. Para desarrollarla, se involucró a un experto en cacao, quien colaboró en la definición de requerimientos y validación de decisiones. El resultado fue un software basado en métodos estadísticos que aprovecha las capacidades de R mediante una interfaz web. El proceso comienza cuando el usuario carga los datos recolectados y luego puede analizarlos incluyendo análisis univariante, multivariante y pruebas de hipótesis. El software incluye veintidós técnicas descriptivas, como gráficos de barras y coeficiente de variación; siete técnicas multivariantes, entre ellas análisis de componentes principales y agrupamientos jerárquicos; y once pruebas de hipótesis, como ANOVA y pruebas t. Adicionalmente, se efectuó una evaluación de usabilidad con veintidós participantes que indicaron una usabilidad aceptable. Así, el software propuesto facilitó el estudio de las almendras de cacao para investigadores, profesionales y estudiantes de agronomía, alineándose con los avances tecnológicos y optimizando el proceso de caracterización.

PALABRAS CLAVE: agromática, theobroma cacao L, análisis univariante, análisis multivariante

ABSTRACT

Cocoa-exporting countries must be equipped with the necessary tools for various processes, such as the characterization of the physicochemical-sensory parameters of cocoa beans. This process requires collecting, analyzing, and interpreting data to perform calculations and generate graphs using statistical techniques.

In this work, an agronomic application focused on the characterization of cocoa beans was proposed. To develop it, a cocoa expert was involved to collaborate in defining requirements and validating decisions. The result was a software program based on statistical methods that leverages the capabilities of R through a web interface.

The process begins when the user uploads the collected data and can then analyze it, including univariate analysis, multivariate analysis, and hypothesis testing. The software includes twenty-two descriptive techniques, such as bar graphs and the coefficient of variation; seven multivariate techniques, including principal component analysis and hierarchical clustering; and eleven hypothesis tests, such as ANOVA and t-tests.

Additionally, a usability evaluation was conducted with twenty-two participants who indicated acceptable usability. Thus, the proposed software facilitated the study of cocoa beans for researchers, professionals, and agronomy students, aligning with technological advancements and optimizing the characterization process.

KEYWORDS: agromatic, theobroma cacao L., univariate analysis, multivariate analysis

Introducción

La estadística para la planificación agrícola ha ganado un rol protagónico dentro del contexto productivo de la mayoría de las economías. Algunas de ellas han establecido un sistema continuo para la recopilación de datos para monitorear las condiciones actuales de la producción agrícola. Esto significa que es posible centrarse en un producto específico para conocer a cabalidad las diferentes aristas en las cuales se desarrolla su producción. La importancia de la ciencia estadística en la agricultura es obvia, en lo que respecta a la recopilación, análisis e interpretación de datos numéricos. Los principios estadísticos se aplican en todas las áreas del trabajo experimental y tienen un papel preponderante en los experimentos agrícolas. Las estadísticas juegan un papel importante en la experimentación (Di Rienzo et al., 2008).

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, el país se ha convertido en el primer exportador de cacao en grano en América y ocupa el cuarto puesto en el mundo entre todos los tipos de ese producto, lo que representa un aumento del 168% en los últimos 10 años (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2017). La región que concentra la mayor superficie cosechada de cacao es la región Costa, y las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas son las principales productoras de cacao. Otras provincias de la costa como Esmeraldas y El Oro están incrementando su área cacaotera como también las Provincias Orientales (Amazonía); en la región Sierra se cultiva cacao en Cotopaxi, Bolívar, Cañar, pero con menor participación (Arévalo et al., 2017). En este contexto, existe una amplia demanda en el mercado externo, principalmente el europeo. Actualmente la demanda está enfocada hacia los productos orgánicos y poseen características de calidad óptimas para la industria. Esto hace necesario caracterizar los parámetros físico-químicos de las almendras de cacao, acorde a las normas INEN, con el propósito de garantizar la materia prima, incrementando la probabilidad agroexportable (Gryna et al., 2007). Se deslumbra que la caracterización de las almendras de cacao tiene una notable importancia con fines de exportación sabiendo que el cacao es uno de los principales cultivos industriales tropicales y existe un gran interés en promover el cultivo de campo para variedades de élite para mejorar la competitividad nacional y la productividad hacia los sectores industriales (Martínez et al., 2017). Por lo tanto, es necesario mejorar la caracterización de las almendras de cacao, sostenibilidad, diversidad y utilidad de las colecciones de cacao y para facilitar el acceso a una mejor información sobre el material conservado (Ramírez et al., 2014).

Plantear la caracterización de los aspectos físico, químico y sensorial de las almendras de cacao conlleva simultáneamente a pensar en dos aspectos sustanciales: conocer cuáles son los métodos estadísticos para realizar una caracterización apropiada y cuál es el sistema informático que facilite este cometido. La determinación de los métodos estadísticos apropiados para la caracterización de las almendras de cacao en sus aspectos físico, químico y sensorial, con el propósito de evaluar la cosecha de las almendras de cacao y posterior exportación, tiene sustancial importancia (Vera et al, 2015; Sánchez et al, 2019; Vera et al., 2016). Por otra parte, el objetivo de utilizar herramientas informáticas en sistemas agrícolas es llevar a cabo la transformación digital, generar y registrar información bajo el objetivo de mejorar la eficiencia en el proceso agrícola (Laurentin, 2018). Existen herramientas estadísticas de propósito general como SPSS (licencia comercial), R Statistics (gratuita), entre otras que pueden realizar procesamiento

estadístico a partir del conjunto de datos que se le proporcione. Sin embargo, estas herramientas estadísticas no son capaces de llevar el registro del proceso de caracterización de las almendras de cacao; es decir, las características físico, químico y sensorial pueden cambiar de una cosecha a otra y esto implica el manejo de los datos históricos para realizar comparaciones que permitan medir si han disminuido, mantenido o mejorado dichas características para tomar las acciones pertinentes que conlleven a su mejoramiento.

En este contexto, con este trabajo se buscó determinar cuáles son los métodos estadísticos de uso común para realizar la caracterización de los aspectos físico, químico y sensorial de las almendras de cacao mediante una aplicación agromática. En principio, se identificaron las técnicas multivariantes y variables que de forma frecuente suelen usarse para analizar los granos de cacao. Determinado esto, se inició con el desarrollo de la aplicación web utilizando Shiny R para el procesamiento y análisis de datos. Por último, se evaluó la usabilidad de la aplicación con usuarios relacionados al tema. Se espera que la aplicación tenga un uso futuro en el estudio de las almendras de cacao dentro del ámbito académico, sin descartar la posibilidad de hacer extensivo su empleo por medio de las asociaciones de productores de cacao.

1.1. Trabajo relacionado

La calidad del cacao en general es primordial para el sector dedicado a él, de modo que las características que posee el cacao ecuatoriano lo hacen muy atractivo para que las grandes industrias tengan interés en él. En Vera et al. (2015) se describe una investigación basada en la caracterización de los atributos físicos, químicos y sensoriales de los granos de cacao. Para ello, los autores utilizaron 15 clones de cacao (12 de tipo nacional y tres testigos). Las variables analizadas fueron: índice de semilla y mazorca, peso de 100 semillas, número de almendras, porcentaje y pH de testa. Asimismo, se analizaron las variables químicas como grasa, ceniza y energía, y atributos sensoriales como sabores, amargor, acidez, entre otros. Para la evaluación, los autores emplearon el análisis de componentes principales (PCA) en el estudio realizado.

Por otro lado, el cacao en grano debe pasar por varias etapas para lograr que su calidad sea buena; la fermentación es una de ellas. En Sánchez et al. (2019) se describe un estudio para definir la calidad del cacao nacional y trinitario luego de utilizar procedimientos generales para la fermentación (cajas Rohan y sacos). Las características analizadas fueron el porcentaje de granos fermentados, número de almendras en 100 g, índice de semilla, pH del cotiledón y pH de la semilla. Los resultados reflejaron en ciertas variables diferencias significativas con respecto a la influencia del tipo de procedimiento de fermentación y el tipo de cacao.

Por otro lado, el análisis multivariante es una de las técnicas estadísticas que puede ser utilizada para el proceso de control de calidad. Puede considerarse el caso de Teye et al. (2013) donde se realiza procesos de discriminación de granos de cacao basándose en técnicas de espectroscopia de infrarrojo y clasificación multivariante para la diferenciación de los granos de cacao. Para el efecto, se utilizaron 194 muestras de granos de siete regiones productoras de cacao de Ghana. Se utilizó el PCA para la extracción de información relevante para procesos de agrupamiento.

La combinación del análisis multivariado junto a otras tecnologías posibilita resultados satisfactorios como el trabajo de Teye et al. (2014) donde se utilizó sensores de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) y lengua electrónica (ET) junto con análisis multivariado para la clasificación de cinco variedades de cacao. El sensor fue utilizado para la extracción de datos mediante el PCA. Se fusionó los datos y mediante el SVM (Support Vector Machine) se desarrolló un modelo de clasificación que fue optimizado mediante validación cruzada y evaluado por el número de componentes principales y la tasa de clasificación.

La diversidad de variables que se pueden encontrar para analizar las muestras de cacao incita al uso de técnicas dedicadas. En el trabajo de Vázquez et al. (2015) se buscó analizar, con un enfoque quimiométrico, las características de los granos de cacao a través de técnicas multivariantes (PCA, k-means y DA). El propósito de este estudio fue agrupar muestras de cacao mediante sus variables físicas y químicas. Sin embargo, solo ciertas variables químicas fueron las únicas que mejor resultados dieron en la agrupación.

En el caso de las variables sensoriales se han realizado estudios como el de Solórzano et al. (2015) donde se describe una comparación del perfil sensorial de muestras de cacao recolectadas de varias zonas del país. Los atributos evaluados fueron el sabor: cacao, acidez, amargor, caramelo, astringencia, floral, nuez, frutal y verde. Para el análisis comparativo de las muestras se empleó la prueba de Kruskal & Wallis. Además, se definió las relaciones entre variables mediante el análisis multivariado de componentes principales, permitiendo identificar las variables más representativas de las dos primeras componentes.

Uno de los derivados del cacao es el cacao en polvo. Para que este sea de calidad, la cáscara que cubre el grano debe ser retirada antes o después del proceso del tostado de manera eficiente (Quelal et al., 2019). En este trabajo, los autores desarrollaron una metodología que combina la espectroscopia de infrarrojo cercano y el análisis multivariado para la detección rápida de cáscara de cacao en polvo de cacao. Se realizó análisis cualitativo mediante PCA y el análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) con el propósito de clasificar muestras. También se aplicó análisis cuantitativo utilizando regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS).

Metodología

El plan de investigación consistió en varias etapas, iniciando con la realización de una entrevista. En ella participó un experto que trabaja con cacao en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. La finalidad fue obtener información sobre las propiedades físicas, químicas y sensorial de las almendras de cacao y para solicitar retroalimentación sobre la propuesta en general. Se preparó una entrevista no estructurada, definiendo las preguntas alineadas con el fin de la investigación, construyendo una conversación basada en la investigación y recibiendo retroalimentación.

El siguiente paso consistió en una revisión bibliográfica. Esta revisión ayudó principalmente en la identificación de técnicas estadísticas utilizadas en la caracterización física, química y sensorial de las almendras de cacao. En general, la revisión bibliográfica fue efectuada prestando atención fundamentalmente a artículos de revistas científicas y de conferencias internacionales, y tomando en cuenta recomendaciones para realizar revisiones bibliográficas en el área, tales



como Kitchenham (2004). Se empleó Google Scholar usando como palabras clave: Cacao, caracterización, almendra, Theobroma Cacao L. Debido a que se obtuvo una gran cantidad de resultados, la búsqueda fue limitada a 14 páginas porque a partir de aquí no se encontraron trabajos significados para el fin perseguido. Luego de analizar cada uno de los artículos resultantes de la búsqueda, y de descartar aquellos que no correspondía, se seleccionó un total de 30 artículos. En cada uno de estos se buscó las técnicas estadísticas utilizadas y se fueron contando.

Con la información obtenida tanto en la revisión bibliográfica como en la entrevista al experto se pudo seleccionar las técnicas estadísticas a implementar en el software. Definidas las técnicas necesarias, se inició la construcción de la aplicación agromática. El software fue realizado bajo la metodología de prototipado, construyendo 3 prototipos: (1) una aplicación de escritorio tipo Mockup con las funcionalidades iniciales; (2) una versión de web, enfocándose principalmente en las funcionalidades principales; (3) la aplicación web funcional. Durante el desarrollo del prototipo, se aplicaron principios de la norma ISO/IEC 25010 sobre calidad del producto de software, priorizando la usabilidad, funcionalidad y mantenibilidad. Aunque no se siguió un estándar formal completo, el proceso de desarrollo se inspiró en prácticas ágiles de prototipado iterativo.

Junto con la elección de la infraestructura tecnológica adecuada, se consideró necesario aprovechar la potencia de R Statistics para obtener los resultados estadísticos pertinentes a la caracterización de las almendras de cacao. Se utilizaron diferentes tecnologías y herramientas de desarrollo de código abierto. El diseño del modelo físico, lógico y relacional se llevó a cabo utilizando SQL Developer Data Modeler. El diseño se implementó en un gestor de base de datos PostgreSQL 13, donde se crearon las funciones y procedimientos de base de datos necesarios para la gestión de los datos mediante el uso de Transact-SQL.

La lógica que da al servidor la capacidad de satisfacer las solicitudes de los usuarios se realizó con el lenguaje de programación Java 8, bajo el estilo arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC). Se siguió una programación orientada a servicios exportando REST API, con AngularJS, Bootstrap y Metro4. La comunicación con R se realizó mediante la librería Plumber, puesto que permite la creación de RestFul API, debido a que implementó con el servidor Nginx en un contenedor Docker: la comunicación con el frontend envía una petición GET al servidor y lo reenvía al Plumber. También se necesitaron más librerías de R como Tidyverse para la manipulación y visualización de datos; JSON-lite que nos permite manipular el formato JSON a dataframe, vectores o listas según sea la necesidad, ggplot2 como paquete de visualización gráfica, entre otras.

La capa lógica que permite al servidor satisfacer las solicitudes de los usuarios se implementó en el lenguaje de programación Java 8, siguiendo el patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC) y utilizando una programación orientada a servicios que expone REST APIs. Para la interfaz de usuario, se utilizó el framework AngularJS en combinación con Bootstrap y Metro4.

La comunicación entre la aplicación y R se realizó mediante la librería Plumber, que facilita la creación de RESTful APIs junto con servidor Nginx (*HTTP and reverse proxy server*) en un contenedor Docker. Esto da la oportunidad de que la aplicación desde su *frontend* envíe peticiones GET al servidor Nginx el mismo que las redirige al servidor Plumber donde RStatistic ejecuta las funciones estadísticas desarrolladas para trabajos científicos sobre el cacao. También se hizo uso

de diversas librerías de R, como Tidyverse para la manipulación y visualización de datos, JSONlite para el manejo de datos en formato JSON.

Finalmente, el software desarrollado fue evaluado. Para la realización de esta evaluación del prototipo desarrollado se contó con la participación de 22 usuarios representativos. Los participantes del estudio fueron estudiantes universitarios con conocimientos de estadística. La cantidad de participantes estuvo acorde a las cantidades típicamente aceptadas en el área (Hwang y Salvendy, 2010; Hornbæk, 2013). Asimismo, se aplicaron los cuestionarios necesarios, para recolectar datos demográficos. Otras decisiones referentes a los aspectos empíricos y/o experimentales fueron tomadas de acuerdo con la necesidad y teniendo en cuenta las recomendaciones de bibliografía especializada en el área tales como (Hwang y Salvendy, 2010; Hornbæk, 2013).

Resultados

3.1. Entrevista a experto

La entrevista giró en torno a la socialización de la idea del proyecto y a obtener información sobre técnicas estadísticas enfocadas a la caracterización del cacao. En primer lugar, se procedió a explicar al invitado el objetivo del proyecto para conocer su punto de vista y contar con su colaboración en su campo de experticia. Se indicó que se busca construir una aplicación informática/agromática en la que se implementen técnicas estadísticas orientadas a la caracterización de los granos de Theobroma cacao L que puede ser de utilidad para estudiantes y/o profesionales dedicados a este ámbito de estudios. Se proporcionaron los detalles generales y se resolvieron las dudas surgidas. El investigador invitado señaló que le parece una buena idea, que podría ser útil y proporcionó ideas generales de cómo él entendía esta propuesta. Esto permitió concluir que se estaba avanzando positivamente.

Entendida la idea del proyecto se dio paso a la consulta al experto invitado sobre las variables que se toman en cuenta cuando se necesita caracterizar las almendras de cacao. Para el efecto, se tomó como punto de partida un documento elaborado por los investigadores del proyecto con base en revisión bibliográfica. El experto fue comentando cada una de las variables necesarias y realizando las observaciones/correcciones según era necesario. Adicional a esto, el invitado sugirió efectuar la revisión de material científico existente (de su autoría) y que podría ser de utilidad para la ejecución del proyecto. Esta parte permitió determinar la idoneidad de las variables consideradas para ser implementadas en el software a desarrollar, así como también disponer de una fuente recomendada para la identificación y selección de las técnicas estadísticas más relevantes.

Adicional a la revisión de variables, se consultó sobre la aplicación de normativas de calidad del cacao. El invitado se refirió a la Norma INEN 176 y se dialogó al respecto. Él explicó que esta norma está enfocada al establecimiento de los requisitos de calidad de las almendras de cacao y a los criterios para tener en cuenta para su clasificación. En particular, esta parte de la entrevista permitió entender de mejor manera el proceso de pesado relacionado a la caracterización de

granos; es decir, la relación peso – cantidad de pepas y las implicaciones desde el punto de vista estadístico.

Aunque la parte previa de la sesión ya proporcionó una base importante sobre cuestiones estadísticas para la valoración de granos de cacao, se solicitó información adicional al invitado. En este sentido, se dialogó sobre análisis univariante y análisis multivariante utilizados en los estudios sobre cacao.

3.2. Técnicas estadísticas

Aunque se han realizado revisiones bibliográficas sobre agromática, poco se evidencia sobre la combinación estadística-TIC desde este punto de vista. Por ello, el objetivo de esta parte del trabajo fue identificar las diferentes técnicas estadísticas que se utilizan en estudios sobre cacao con un enfoque agromático. Para el efecto, se definió un protocolo de búsqueda con la finalidad de identificar diferentes técnicas estadísticas y software empleados. Se encontraron tanto técnicas univariantes como multivariantes, las cuales son ejecutadas usualmente con la ayuda de algún software estadístico de propósito general y en algunos casos complementados con aplicaciones de propósitos más específicos.

Como punto de partida y principal referente, se utilizó el trabajo previo de Ponce et al. (2021) quienes realizaron una revisión sistemática de literatura encontrando que el análisis de frecuencias, las medidas de tendencia central, las medidas de dispersión, las medidas de forma de distribución y el análisis de varianza (junto con tests como Kruskal Walli, Mann-Whitney y Tukey) destacan entre las técnicas univariantes identificadas. Asimismo, ellos encontraron que entre las técnicas estadísticas multivariantes está el análisis de componentes principales como la más destacada. Además, estos autores señalaron que las diferentes técnicas identificadas son ejecutadas usualmente con la ayuda de algún software estadístico de propósito general (como SAS o SPSS). Finalmente, ellos indicaron que en otros trabajos revisados identificaron otras aplicaciones para propósitos más específicos como la creación de mapas de calor, modelado quimiométrico, gestión de experimentos o análisis de datos provenientes de la aplicación de resonancia magnética nuclear.

Aunque los resultados de trabajos relacionados dan un punto de partida para la selección de técnicas, se ratificó con la búsqueda en la literatura. Siguiendo la metodología antes descrita, los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 1*, donde se aprecian las técnicas estadísticas más utilizadas en estudios previos. Estas técnicas fueron consideradas en el diseño funcional de EScacao.

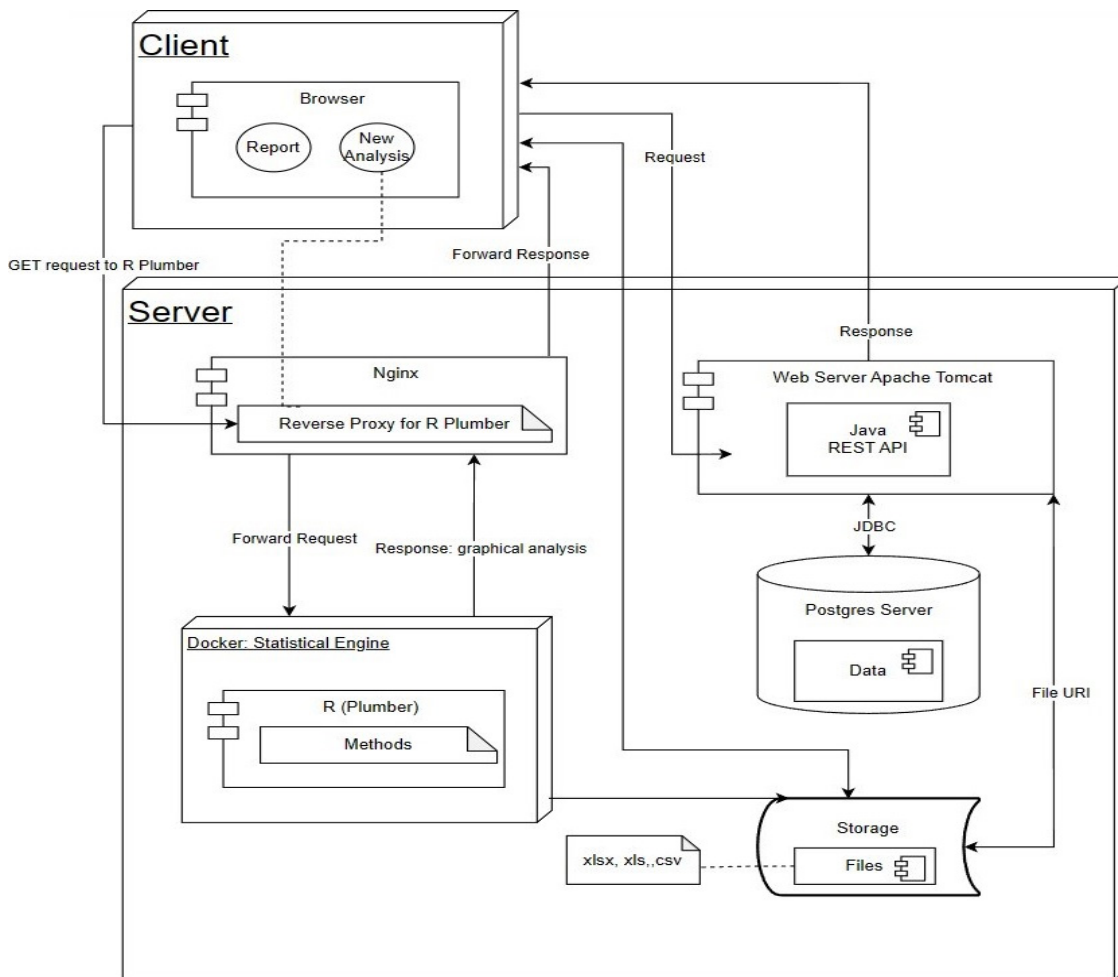
Tabla 1

Técnicas Estadísticas aplicadas al Cacao.

Técnica	Cantidad de artículos	Uso en la aplicación
Correlación	10	Permite explorar la relación entre diferentes variables seleccionadas por el usuario.
Tablas P	9	Presenta resultados estadísticos en formato tabular, facilitando la interpretación de los datos.
PCA	7	Se utiliza para reducir la dimensionalidad de los datos y visualizar patrones en los resultados.
Gráfico de barras	6	Visualiza la distribución de variables categóricas, permitiendo comparar frecuencias o cantidades.
Tabla P+SD	4	Muestra estadísticas descriptivas junto con los errores estándar de los datos para facilitar su interpretación.
Gráfico de líneas	3	Representa visualmente la relación entre variables a lo largo de un rango continuo, ideal para comparar tendencias.
Barras + SD	3	Muestra barras junto con desviaciones estándar, permitiendo visualizar tanto la magnitud de los datos como su dispersión.
Anova	3	Permite comparar medias de múltiples grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos
BoxPlot	2	Representa la dispersión de los datos a través de cuartiles, facilitando la visualización de la variabilidad.
Tukey	2	Realiza comparaciones entre las medias después de aplicar ANOVA para identificar diferencias específicas entre grupos.
Cluster	1	Agrupar datos en clústeres basados en características similares, facilitando la clasificación de muestras.
Coefficiente de variación	1	Mide la dispersión relativa de los datos, permitiendo comparar la variabilidad entre diferentes conjuntos de datos.
Prueba T-Test	1	Compara las medias de dos grupos para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas.

3.3. Aplicación propuesta: EScacao

Una vez conocidas las técnicas estadísticas, se procedió al desarrollo de la aplicación agromática. Se trata de una aplicación web basada en una arquitectura cliente-servidor que se organiza utilizando el patrón MVC. La *Figura 1* muestra la arquitectura de EScacao.

Figura 1*Arquitectura de EScacao.*

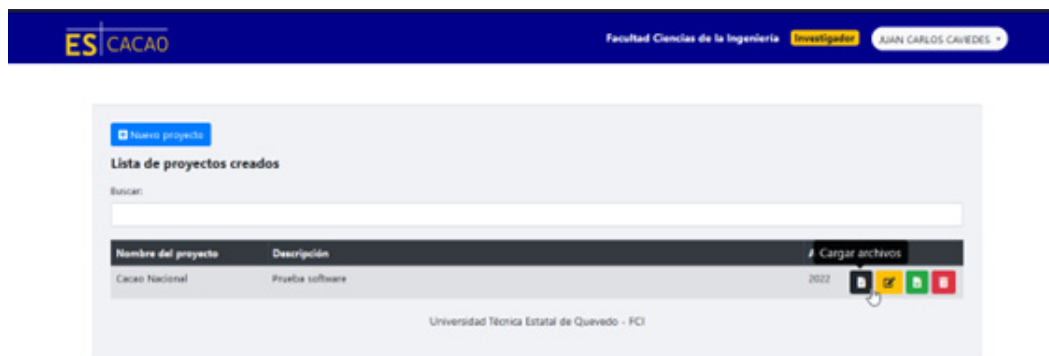
Apache Tomcat alberga una API REST desarrollada en Java que recibe la solicitud del navegador. La API REST se encarga de procesar la solicitud determinando la ubicación del archivo a ser cargado. Si es necesario, la API REST se conecta a la base de datos PostgreSQL mediante JDBC para recuperar datos adicionales que sean necesarios para el análisis. Esta conexión permite al servidor acceder y gestionar los datos de manera eficiente. La base de datos PostgreSQL responde proporcionando la dirección del archivo y los datos necesarios a la API REST en Apache Tomcat. Con esta información, la API REST puede continuar el procesamiento de la solicitud del usuario, teniendo todos los datos necesarios disponibles para el análisis. Los archivos cargados son almacenados en un sistema de almacenamiento dedicado para que los archivos estén disponibles para futuros análisis y otras operaciones que se desee realizar. Apache Tomcat envía una solicitud GET que incluye la URI del archivo, el archivo en sí y los parámetros de la función al contenedor Docker, que está configurado para manejar estas solicitudes. El contenedor Docker ejecuta un servidor Plumber que procesa la solicitud. El servidor Plumber facilita la creación de APIs RESTful en R y es utilizado para realizar el análisis gráfico de los datos proporcionados. En R se ejecutaron librerías como Tidyverse, JSONlite y ggplot2. Plumber realiza el análisis y genera los gráficos solicitados y son enviados como respuesta al navegador del cliente a través de la API REST.

La *Figura 1* muestra también la separación entre la interfaz de usuario, la lógica de negocio y la gestión de datos. En la interfaz de usuario se inicia la interacción con la aplicación. En esta interfaz, el usuario tiene la opción de cargar archivos en diversos formatos, como xlsx, xls y csv. Cuando los archivos se seleccionan y cargan, se envía una solicitud de análisis al servidor web Apache Tomcat. Esta solicitud contiene la información necesaria para que el servidor procese el análisis solicitado.

La primera pantalla de EScacao corresponde a la pantalla de autenticación y registro de usuarios. Los usuarios con el rol de “investigador” tienen la posibilidad de registrarse. Una vez registrados, es necesario esperar por la activación de la cuenta por parte de un usuario con el rol de “administrador”. Cuando la cuenta es activada, el investigador recibirá una notificación en su de correo electrónico. Iniciada la sesión, se presenta la interfaz principal de administración de proyectos que ofrece un conjunto de opciones como cargar archivos, editar proyectos, generar informes y eliminar proyectos (*Figura 2*). Así, EScacao gestiona los datos por medio de proyectos que pueden tener diferentes archivos.

Figura 2

Página Principal de EScacao.



En la sección de ‘Cargar Archivos’, los usuarios ingresan la taxonomía de la especie que desean añadir. Además, los usuarios pueden seleccionar el tipo de archivo que desean cargar; en este proceso reciben sugerencias para la correcta subida de información de sus archivos de acuerdo con el formato preestablecido. Adicionalmente, si el proyecto cuenta con archivos cargados, EScacao ofrece diversas opciones de trabajo, que incluyen: visualizar el archivo, realizar un nuevo análisis, revisar los análisis previos, descargar el archivo, eliminar el archivo.

Para realizar un nuevo análisis, los usuarios seleccionan los datos y el método estadístico que desean aplicar. Además, se encuentra disponible una pestaña de ayuda, donde se puede acceder a manuales de usuario que proporcionan instrucciones detalladas para el manejo de archivos en el sistema.

Para el análisis, se selecciona el conjunto de datos y la aplicación presenta los campos requeridos validando las especificaciones de columnas y filas requeridas por el método estadístico respectivo. Esta validación busca simplificar el proceso para el usuario, y reducir la posibilidad de errores en la

entrada de datos. Cuando se ha generado análisis, la aplicación provee la opción de adjuntar una descripción que será guardada con el análisis estadístico realizado. El análisis puede recuperarse en la sección 'Análisis Realizados'.

Figura 3

Ejemplo de Análisis de Sotos con EScacao.

ESCACAO Facultad Ciencias de la Ingeniería Administrador ANTHONY PACHAY

Regresar

Estadística Descriptiva Estadística Multivariante Pruebas de Hipótesis Ayuda

Radar Puntos M M + SD M CV Normal Apilado Agrupado M G + F Densidad Grupos M + SD

Puntos Puntos y líneas Barras Boxplot EDA

Selecciona la hoja con los datos: Hoja1

Selecciona la columna cualitativa a analizar (obligatorio): Parcelas

Parcelas - Presione 'x' para cambiar de columna cualitativa

Selecciona las columnas cuantitativas (obligatorio):

Selecciona las filas que deseas analizar (opcional):

Los datos necesarios han sido seleccionados correctamente, ahora puede seleccionar una de las opciones que se encuentran en la parte superior de la interfaz y generar el tipo de grafico seleccionado

Parcelas	Cacao	Floral	Frutal	Nuez	Dulce	Amargor	Acidez
Eloy Alfaro	4.2	2.3	4.6	2.7	2.3	3	3.8
Eloy Alfaro	4.6	1	4.6	2.2	0.4	3.4	3
Eloy Alfaro	2.7	0	4	4	0.7	2.7	0.7
APROCA	3.6	0.4	1.6	2.4	0.6	5	3.6
APROCA	4	1.3	2.8	3.5	1.5	2.5	1
APROCA	4.7	0.8	2.2	3.5	0	3.5	2

ESCACAO

Puntos - Radar

Hoja seleccionada: Hoja1

Columna cualitativa seleccionada: Parcelas

Selecciona las columnas cuantitativas (obligatorio): Cacao, Frutal, Nuez, Acidez

Selecciona las filas que deseas analizar (opcional): UICOS, APOV, Federate, San Carlos

Opciones de radar: Con áreas

Título: Prueba

Leyenda: X

Cancelar Confirmar

Ingeniería en Sistemas Columnas: 10 / Filas: 33

La aplicación puede generar informes de proyectos de investigación según la información incluida por el usuario. La sección 'Generar Informe' se considera un aporte importante de la aplicación porque permite llevar la esencia del proceso de investigación estadística de forma ordenada. Todos los gráficos que se generen en un proyecto pueden guardarse para su elección como parte del informe. El usuario no requiere volver a realizar el análisis estadístico sino seleccionar los necesarios y útiles para el informe, llevando así registrado el proceso del análisis estadístico del proyecto. Finalmente, una vez que se han seleccionado y configurado los gráficos

Tabla 2
Resultados de la Evaluación de Usabilidad.

Ítem	Promedio (original)	SD	Promedio (ajustado)	SD
Me gustaría usar la aplicación frecuentemente.	4,1	0,9	3,1	0,9
Encontré la aplicación innecesariamente compleja.	2,2	1,2	2,8	1,2
Pienso que la aplicación fue fácil de usar.	4,3	0,9	3,3	0,9
Necesitaría el apoyo de un técnico/profesor para utilizar la aplicación.	2,4	1,4	2,6	1,4
Encontré que las diferentes funciones de la aplicación fueron bien integradas (constituyen un todo).	4,2	0,9	3,2	0,9
Pienso que había demasiadas inconsistencias en la aplicación.	2,6	1,3	2,4	1,3
Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar rápidamente la aplicación.	4,2	1,0	3,2	1,0
Encontré la aplicación muy difícil de usar.	2,0	1,4	3,0	1,4
Me sentí muy seguro/cómodo usando la aplicación.	4,2	1,1	3,2	1,1
Necesito aprender muchas cosas antes de utilizar la aplicación.	3,1	1,4	1,9	1,4

A partir de los resultados obtenidos y presentados en la *Tabla 2*, se procedió a realizar los cálculos necesarios. Como puede apreciarse en esta tabla, se incluyen los promedios de los valores originales y de los valores ajustados de acuerdo con la metodología aplicada. Además, se calculó el puntaje SUS promedio, que fue de 72 (SD=12). Este valor se interpreta como una usabilidad buena o aceptable. Esto significa que el software debería poder ser usado sin inconvenientes por los usuarios a los que está dirigido.

Conclusiones

En este trabajo se ha descrito una propuesta de aplicación web para apoyar el trabajo que se realiza con almendras de cacao. El trabajo recopiló las técnicas estadísticas para la caracterización física, química y sensorial de las almendras de cacao de uso más frecuente implementadas en un prototipo de aplicación agromática diseñada para realizar un estudio técnico que permite medir estas características y compararlas con estándares pertinentes o de una cosecha a otra. Se ha obtenido un listado de técnicas estadísticas para la caracterización física, química y sensorial de las almendras de cacao que sirvieron de base para el desarrollo del software. Este software, o aplicación agromática, permite realizar tal caracterización de las almendras de cacao de una o varias cosechas, junto con la exportación de gráficos en un formato que pude resumirse como un borrador de artículo científico para su posterior edición en el procesador de texto de preferencia del usuario. Por último, el estudio de usuarios confirma que la aplicación propuesta es usable.

El producto desarrollado ha sido presentado ante un grupo de posibles usuarios como un prototipo funcional sometido a evaluación. No obstante, podría convertirse también en una herramienta didáctica para la formación del ingeniero agrónomo, agroindustrial, y otros afines, brindándole las facilidades para desarrollar un conocimiento integral de los granos de cacao a través de técnicas

estadísticas apropiadas. De esta forma, se pretende dotar a los interesados de una herramienta informática que facilite el estudio de las almendras de cacao acorde con los avances tecnológicos.

Además, a pesar de la extensa aplicación de técnicas estadísticas en el análisis del cacao, las herramientas disponibles no se han enfocado específicamente en la integración de estos métodos en un entorno accesible y especializado para la caracterización del cacao (Ponce et al., 2021). En este sentido, EScacao se presentó como una solución que integra métodos estadísticos utilizados en el análisis físico, químico y sensorial del cacao en una aplicación. A diferencia de las aplicaciones convencionales como SPSS o R, que requieren experiencia técnica, EScacao permite a los usuarios gestionar los datos históricos y realizar comparaciones de cosechas de manera eficiente a través de una aplicación web, optimizando el proceso de caracterización y brindando resultados para el cacao.

Referencias

- Arevalo, M., González, D., Delgado, T., Maroto, S., y Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas*. IICA.
- Bangor, A., Kortum, P., y Miller, J. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574-594.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., González, L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C., y Blazarini, M. (2008). *Estadística para las ciencias agropecuarias*. Brujas. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122451/records/6472496a2c-1d629bc979b05e>
- Gryna, F., Chua, R., y Defeo, J. (2007). *Método Juran. Análisis y planeación de la calidad. Conceptos básicos*. McGraw-Hill.
- Hornbæk, K. (2013). Some whys and hows of experiments in human-computer interaction. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 5(4), 299-373. <https://www.kasperhornbaek.dk/papers/SomeWhysAndHows.pdf>
- Hwang, W. y Salvendy, G. (2010). Number of people required for usability evaluation: the 10±2 rule. *Communications of the ACM*, 53(5), 130-133. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1735223.1735255>
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Computer Science Department, Keele University.
- Laurentin, H. y Gomes, J. (2018). Agromatics: The Framework to Optimize the Agricultural Process with Information and Communication Technologies. *Biomed J Sci & Tech Res*, 5(3). 10.26717/ BJSTR.2018.05.001214
- Martínez, A., Morante, J., y Bru, R. (2017). A comparison of tissue preparation methods for protein extraction of cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod. . *Acta Agronómica*, 66(2), 248-253. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122017000200248&script=sci_arttext&lng=en
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2017). Ecuador es el primer exportador de cacao en grano de América. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-es-el-primer-exportador-de-cacao-en-grano-de-america/>
- Ponce, J., Erazo, O., y Vicuña, A. (2021). Técnicas estadísticas aplicadas a la caracterización de cacao con enfoque agromática. *Revista San Gregorio*, (46), 205-219. <http://10.36097/rsan.v1i46.1527>
- Quelal, M., Lerma, M., Pérez, É., Arnau, A., Barat, J., y Talens, P. (2019). Fast detection of cocoa shell in cocoa powders by near infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Food Control*, 99, 68–72. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713518306285>

- Ramírez, J., Sigarroat, A., y Del Valle, R. (2014). Characterization of Cocoa (Theobroma cacao L.) Farming Systems in the Norte de Santander Department and Assessment Their Sustainability. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7177-7187. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n1.42635>
- Sanchez Capa, M., Mestanza, C., Calero, A., Ramirez, C., Burbano, R., y Vargas, Y. (2019). Evaluation of the Cocoa Bean (Theobroma Cacao L .), using Two Fermentators , Orellana and Sucumbios Provinces , Ecuador. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 8(7), 278-283. <https://www.ijert.org/evaluation-of-the-cocoa-bean-theobroma-cacao-l-using-two-fermentators-orellana-and-sucumbios-provinces-ecuador>
- Solórzano, E., Nicklin, C., Amores, F., Jiménez, J., y Barzola, S. (2015). Comparación sensorial del cacao (Theobroma cacao L.) Nacional fino de aroma cultivado en diferentes zonas del Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 8(1), 37-47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5319282>
- Teye, E., Huang, X., Dai, H., y Chen, Q. (2013). Rapid differentiation of Ghana cocoa beans by FT-NIR spectroscopy coupled with multivariate classification. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 114, 183–189. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1386142513005568>
- Teye, E., Huang, X., Takrama, J., y Haiyang, G. (2014). Integrating NIR spectroscopy and electronic tongue together with chemometric analysis for accurate classification of cocoa bean varieties. *Journal of Food Process Engineering*, 37(6), 560–566. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpe.12109>
- Vázquez, A., Molina, F., Nuñez, J., Betancur, D., y Salvador, M. (2015). Classification of cacao beans (Theobroma cacao L.) of southern Mexico based on chemometric analysis with multivariate approach. *Eur. Food Res. Technol.*, 240(6), 1117–1128. <https://2024.sci-hub.se/3637/b9a40d1fb37e33958701a1029e46707c/10.1007@s00217-015-2415-0.pdf>
- Vera Chang, J., Vallejo, C., Párraga, D., Macías, J., Ramos, R., y Morales, W. (2015). Atributos físicos - químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao Nacional (Theobroma cacao L.) en el Ecuador. *Ciencia Y Tecnología*, 7(2), 21-34. <https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.139>
- Vera Chang, J., Torres, Y., y Vallejo, C. (2016). *Guía para el mejoramiento de la calidad del cacao nacional*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. https://www.researchgate.net/publication/325985827_GUIA_PARA_EL_MEJORAMIENTO_DE_CACAO_NACIONAL

Copyright (2025) © Ariosto Vicuña, Orlando Erazo, Jéssica Ponce,

Geovanny Brito Casanova



Este texto está protegido bajo una licencia internacional [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 4.0.

Usted es libre para Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato — y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) – [Texto completo de la licencia](#)