

Aplicación móvil basada en realidad aumentada para capacitar al personal en una empresa agroindustrial

Juan Manuel Quintero Mercado

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
jmquintero32@misena.edu.co

Resumen. La elaboración de productos derivados del aguacate Hass ha crecido significativamente en la última década. Usualmente, estos productos se generan a partir de la transformación de la pulpa del fruto mediante la utilización de equipos industriales que requieren constante manipulación. Los procesos de inducción y capacitación del personal en torno al manejo, operación, y actividades ligadas al mantenimiento preventivo y/o correctivos, son constantes, continuos y riesgosos, por lo que se demanda generar alternativas efectivas que aseguren el éxito de la actividad. En este artículo se presenta el desarrollo de una aplicación basada en realidad aumentada para acompañar el proceso de inducción y capacitación sobre el manejo del equipo de mezclado en la línea de envasado de pulpa de aguacate Hass. Para validar la eficacia de la aplicación, se efectuó un estudio de caso con diez aprendices, en una empresa exportadora de productos derivados del aguacate. Se evaluó la usabilidad de la aplicación y la experiencia del usuario. Los hallazgos sugieren que la aplicación es una herramienta eficaz para mejorar el proceso de capacitación. La aplicación proporciona a los usuarios una nueva forma de interactuar con el equipo de mezclado y permite una visión más profunda del funcionamiento del equipo. Se concluye, por lo tanto, que la aplicación herramienta desarrollada, mediante el uso de realidad aumentada, puede ser implementada como estrategia didáctica para acompañar los procesos de capacitación en la industria.

Keywords: Aguacate Hass • Capacitación • Estrategia didáctica • Realidad aumentada.

1 Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill cv. 'Hass'), originario de Latinoamérica y patentado por el estadounidense Rudolph Hass en 1935, fue introducido globalmente en el mercado en 1960 y es hoy la variedad de aguacate más cultivada en el mundo [1, 2]. Es apetecido a nivel mundial por las características funcionales y sensoriales de su pulpa, posicionado como la variedad de mayor demanda a nivel mundial [3]. Es una de las pocas frutas cuyo componente principal son lípidos, y por tanto, desde el punto de vista nutricional, es una fruta altamente apetecida debido a su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados, además de ser rica en tocoferoles, ácido ascórbico, piridoxina, β carotenos, y potasio [4].

En Colombia, dicho cultivo se ha extendido a diversas regiones del país y actualmente es una de las apuestas productivas de mayor relevancia. Actualmente, Antioquia, Caldas, Cauca, Quindío, Risaralda, Tolima, y Valle del Cauca son los principales productores de aguacate Hass. Esta variedad de regiones ha permitido una producción constante durante los doce meses del año y especialmente en los meses de octubre y marzo [5].

Colombia se encuentra entre los principales exportadores mundiales de productos como banano, café, flores, y acate Hass. Esta dinámica exportadora representa enormes oportunidades, lo que le permite a Colombia posicionarse en el mundo como referente de integridad, calidad, confiabilidad, y evolución en el sector agroindustrial [6]. En cuanto al aguacate Hass, es un fruto de gran valor para la obtención de productos alimenticios, farmacéuticos, grasas, colorantes, fibra, proteínas, minerales, por su alto contenido de vitaminas A y B y ciertas vitaminas liposolubles poco frecuentes en otros frutos [7].

El incremento del consumo de aguacate Hass a nivel mundial, principalmente en países como Estados Unidos, Francia, Alemania y Reino Unido, ha generado el aumento de las superficies plantadas en los países productores como México, Chile y Colombia. Sin embargo, lo anterior ha provocado la caída de los precios de este producto causada por la alta oferta que se presenta en el mercado, ya que gran parte de los frutos obtenidos en los cultivos no cumplen con los requerimientos de exportación, generando grandes pérdidas a los productores nacionales. Lo anterior, muestra la necesidad de establecer nuevas alternativas para el aprovechamiento de esta materia prima sea procesada, semiprocesada y en fresco para consumo nacional y de exportación con la mejor calidad [8, 9, 10]. Es necesario entonces que la manipulación y producción se realicen en condiciones suficientes de higiene, para que los productos resultantes sean inocuos y de calidad; todo ello a fin de garantizar la salud de los consumidores y propiciar y facilitar su comercio [11].

1.1 Procesos de transformación del aguacate Hass

La producción de pulpa de aguacate generalmente involucra varias etapas, que pueden variar dependiendo de los métodos y tecnologías utilizadas en el proceso. Generalmente, el proceso involucra nueve etapas:

- 1) *Selección y clasificación*: en esta etapa, los aguacates son seleccionados por tamaños, estados de maduración, daños mecánicos, plagas, etc.
- 2) *Maduración*: en esta etapa, se ingresan las frutas en cámaras de maduración. Se aplica etileno para acelerar el proceso.
- 3) *Destupe*: en esta etapa, se elimina el pedúnculo de la fruta madura.
- 4) *Lavado y desinfección*: en esta etapa, los aguacates se lavan y desinfectan para eliminar la suciedad, residuos y posibles microorganismos superficiales.
- 5) *Extracción de pulpa*: la pulpa se obtiene de forma manual separando la cascara y de la semilla del fruto.
- 6) *Envasado*: la pulpa extraída se homogeniza en tanques y se empaqueta al vacío evitando oxidación del producto.

7) *etiquetado*: los productos se etiquetan con la información requerida, como fecha de producción, fecha de vencimiento y otras características de acuerdo con el país de destino.

8) *presurizado*: la pulpa empacada se somete a altas presiones hidrostáticas para eliminar microorganismos patógenos y prolongar la vida útil del producto, sin cambiar características organolépticas y nutricionales.

9) *Almacenamiento*: los productos presurizados se almacenan en condiciones adecuadas para preservar su calidad e inocuidad. Posteriormente son enviados al destinatario final.

Generalmente, las etapas 1 a la 5 son llevadas a cabo exclusivamente por personas y las etapas 6 a 9 involucran el uso de máquinas industriales. Es importante tener en cuenta que los procesos específicos pueden variar según las tecnologías y prácticas utilizadas por cada planta de procesamiento.

1.2 Procesos de formación en la agroindustria del aguacate Hass

Dadas las diferentes exigencias del mercado actual, los procesos de formación emergen como valor agregado para garantizar mayor eficiencia y calidad en el servicio [12]. Generalmente, los procesos de formación hacen referencia a la capacitación del personal existente en las empresas o la capacitación de nuevos trabajadores, en ambos casos, el personal en capacitación es reconocido con el término “aprendiz”. Estos procesos de formación se pueden incluir en diversas etapas del proceso de producción y suelen estar acompañados por múltiples medios didácticos para mejorar la experiencia de aprendizaje.

Como se explicó anteriormente, las etapas 1 a 5 suelen ser desarrolladas exclusivamente por personas y las etapas 6 a 9 involucran el uso de máquinas industriales. Por lo tanto, el proceso de capacitación varía mucho dependiendo de las etapas del proceso que se desean intervenir.

Los procesos de capacitación de las etapas 6 a 9, requieren un entrenamiento más técnico, ya que los aprendices deberán adquirir un conocimiento especializado. Por lo tanto, diversos estudios han propuesto el uso de materiales didácticos mediados por las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), ya que estos permiten representar el conocimiento en múltiples formatos [13].

1.3 Realidad aumentada en el proceso de formación

La tecnología de realidad aumentada (RA) ha emergido como una herramienta revolucionaria en los procesos de formación y educación, transformando la manera en que los individuos adquieren conocimiento y habilidades [14]. La RA combina elementos del mundo real con elementos virtuales generados por computadora, creando una experiencia enriquecedora y contextualmente relevante para los estudiantes.

Esta tecnología ofrece una serie de beneficios que han ampliado su importancia en los entornos educativos [15]. En primer lugar, la RA proporciona un enfoque altamente interactivo y práctico para el aprendizaje. Permite a los estudiantes explorar conceptos abstractos y complejos en un contexto visual y tangible. Al superponer información

digital en el entorno real, la RA facilita la comprensión de conceptos abstractos al hacerlos más concretos y tangibles. Esto es especialmente valioso en campos como la ciencia, la medicina y la ingeniería, donde los procesos y las estructuras pueden ser difíciles de visualizar.

Además, la RA fomenta el aprendizaje basado en la experiencia, permitiendo a los estudiantes participar activamente en la resolución de problemas y la toma de decisiones. Por ejemplo, en la formación médica, los estudiantes pueden simular procedimientos médicos en un entorno seguro y controlado, desarrollando habilidades prácticas sin riesgo para los pacientes. De manera similar, en la educación industrial, la RA puede simular escenarios de trabajo reales, preparando a los estudiantes para desafíos del mundo real.

La adaptabilidad y la personalización son otras ventajas clave de la RA en la formación. Los contenidos y las actividades pueden ser adaptados para satisfacer las necesidades individuales de los estudiantes, lo que permite un aprendizaje más personalizado y efectivo. La tecnología también puede proporcionar retroalimentación inmediata y guiada, lo que facilita la identificación y corrección de errores.

La RA también fomenta la colaboración y el aprendizaje social. Los estudiantes pueden interactuar en tiempo real con sus compañeros y profesores, lo que promueve la discusión y el intercambio de ideas. La capacidad de compartir experiencias virtuales en entornos de RA facilita la colaboración en proyectos y la resolución de problemas en equipo, independientemente de la ubicación física de los participantes.

Así pues, la tecnología de RA está desempeñando un papel fundamental en la transformación de los procesos de formación. Su capacidad para crear experiencias inmersivas, interactivas y contextualmente relevantes mejora la retención del conocimiento, el desarrollo de habilidades prácticas, y la preparación para desafíos del mundo real. La RA está empoderando a los educadores para crear entornos de aprendizaje innovadores y atractivos, preparando a los estudiantes para un futuro en constante evolución.

1.4 Propósito del estudio

En este estudio se presenta el desarrollo de una aplicación basada en RA para acompañar el proceso capacitación del equipo de mezclado en la línea de envasado de pulpa de aguacate Hass. Esta capacitación incluye las etapas 6 del proceso, es decir, envasado.

Con la implementación de esta aplicación, se logra simular situaciones reales minimizando pérdidas dentro de la estructura empresarial. Se potencializa las capacidades de los empleados en el uso de tecnologías emergentes, aumentando así, su eficiencia, empoderamiento, y generación de ideas en problemáticas operacionales. La implementación de la aplicación basada en RA mejora el proceso de mantenimiento, limpieza, y desinfección, lo cual se refleja en la calidad e inocuidad del producto final, erradicando no conformidades que se podrían generar en la operatividad diaria.

Para evaluar la eficacia de la aplicación se diseñó un estudio de caso. El objetivo del estudio de caso fue evaluar la usabilidad de la aplicación y la experiencia del usuario para identificar cómo los usuarios interactúan con la aplicación y cómo se sienten acerca de esa interacción. Esta evaluación se realizó en la empresa FreshColombia International SAS y contó con la participación de diez empleados directos.

2 Trabajos relacionados

La implementación de aplicaciones basadas en tecnologías de RA para mejorar los procesos de capacitación ha sido un área de interés creciente en la educación y la formación laboral [16, 17]. A continuación, se presentan algunos trabajos relacionados que demuestran cómo la RA se ha utilizado para este propósito:

Okayama y Miyawaki [18] desarrollaron un sistema de jardinería avanzado llamado “Jardín inteligente”. El jardín inteligente apoya a los principiantes en las operaciones agrícolas, como los jardineros domésticos. Para apoyar la tarea de entrenamiento, los investigadores desarrollaron una aplicación basada en RA. La aplicación tuvo dos propósitos. Primero, visualizar la orientación de las operaciones agrícolas utilizando y superponerlas en el campo donde el operador está trabajando. Segundo, registrar las posiciones y puntos de vista del operador durante sus operaciones. Los investigadores reportan múltiples beneficios del uso de la aplicación de RA en el proceso de capacitación, destacándose la motivación de los aprendices por seguir aprendiendo el tema en cuestión.

Similarmente, el estudio de Garzón et al. [15], describe una aplicación basada en RA para mejorar el proceso de capacitación en un sistema acuapónico. El sistema acuapónico estaba localizado en una finca de agriturismo en una finca en el noroeste colombiano. Del proceso de capacitación participaron 40 estudiantes de un instituto de formación vocacional quienes participaron como voluntarios para evaluar la aplicación. Los autores concluyeron que, mediante el uso de la aplicación, se mejoró el proceso de conocimiento de los aprendices, la retención del conocimiento, y su motivación para aprender.

En un estudio presentado por van der Westhuizen et al. [19] se exploran los beneficios del uso de la RA en la industria agrícola para la capacitación en la clasificación y posterior empaque de aguacates. La aplicación de RA fue enriquecida con tecnología de inteligencia artificial, para mejorar el proceso de reconocimiento de las frutas. Los autores reportaron una mejora del 30% en la eficiencia del proceso. Por lo tanto, concluyen que el uso de RA puede ser implementada como herramienta para apoyar las tareas relacionadas con la agroindustria.

Finalmente, el estudio de Nguyen y Meixner [20] presenta un sistema de capacitación industrial basada en RA y gamificación. Los resultados indican que los usuarios mostraron un mayor nivel de compromiso y un mejor desempeño. Los autores indican que tales resultados positivos son producto del proceso de capacitación mediante RA y gamificación.

Estos trabajos relacionados demuestran cómo la tecnología de realidad aumentada se ha aplicado con éxito en la capacitación en empresas agroindustriales. La RA ha demostrado mejorar la retención de información, la eficiencia de la capacitación y la calidad de las habilidades adquiridas por los trabajadores agrícolas. Estas investigaciones respaldan la viabilidad y el potencial de la RA para transformar los procesos de formación en el sector agroindustrial.

3 Metodología

3.1 Descripción del problema

El proyecto se desarrolló en las instalaciones de la compañía FreshColombia International SAS, ubicada en la zona franca del municipio de Rionegro, Antioquia. Específicamente, se enfocó en la máquina de mezclado de pulpa de aguacate Hass que hace parte de la línea de envasado. Esta máquina es de vital importancia, ya que incluye las etapas de homogenización, vacío y refinado. Debido a naturaleza de las tareas desarrolladas por la máquina, es necesario realizar un lavado, desinfección, y mantenimiento de esta cada día, por lo que se requiere el desarme completo de la máquina.

Es importante aclarar, que este desarme debe ser realizado minuciosamente por personal altamente calificado, para garantizar la correcta limpieza de la máquina y su posterior, correcto funcionamiento. Esto genera que se deba contar con varias personas capacitadas en realizar la tarea en cuestión, ya que no puede pasar un día sin que se realice el desarme y limpieza respectiva. Así pues, mediante el desarrollo de la aplicación se busca enriquecer el proceso de inducción/capacitación del personal, de manera que se asegure que el proceso se pueda llevar a cabo idóneamente.

3.2 Desarrollo del software

Para el desarrollo de la aplicación basada en RA se utilizaron diversos tipos de software. La aplicación se desarrolló usando el motor de desarrollo de videojuegos *Unity 3D V 2021.3*. Posteriormente, las acciones de RA fueron integradas mediante *Vuforia SDK*. Para el diseño de la interfaz de usuario se usaron softwares como *Adobe XD*, *Autodesk Maya*, *Adobe Substance 3D Stager*, *ZBrush*, y *Marmoset Toolbag 4*.

El desarrollo de la aplicación tuvo cuatro etapas: 1) Captura de la información, 2) modelado del equipo, 3) creación de la aplicación, y 4) ejecución de la aplicación. En la sección de resultados, se presenta los elementos desarrollados en cada etapa.

3.3 Estudio de caso

Este estudio pretende evaluar la usabilidad de la aplicación y la experiencia de los usuarios al interactuar con ella. En este contexto, la variable independiente implica el uso de una aplicación basada en RA acompañar el proceso de inducción y capacitación sobre el manejo del equipo de mezclado en la línea de envasado de pulpa de aguacate Hass. Similarmente, las variables dependientes son la usabilidad del sistema y la experiencia del usuario.

La usabilidad hace referencia al grado en que un producto, servicio o sistema puede ser utilizado por sus usuarios previstos para lograr objetivos específicos de manera efectiva, eficiente y con satisfacción [21]. Para medir la usabilidad de nuestra aplicación, utilizamos el cuestionario System Usability Scale (SUS) [22]. Este cuestionario consta de diez preguntas agrupadas en dos escalas: capacidad de aprendizaje, que se refiere a la capacidad de aprender a utilizar un sistema de forma eficiente e

independiente, y usabilidad en sentido más estricto. Cada pregunta se mide mediante una escala Likert de cinco puntos, donde 1 representa “muy en desacuerdo” y 5 “muy de acuerdo”.

Por otro lado, la experiencia del usuario se refiere a la experiencia general de una persona al utilizar un producto, servicio o sistema [23]. Abarca todos los aspectos de la interacción del usuario con el producto, incluido el diseño visual, la facilidad de uso, la accesibilidad y la respuesta emocional. Para evaluar la experiencia del usuario, utilizamos el Cuestionario de Experiencia del Usuario (UEQ) [24]. Además de proporcionar información esencial sobre la experiencia del usuario, este instrumento compara la calidad del producto con la de productos similares, convirtiéndolo en una herramienta que fomenta la mejora en cada nueva aplicación educativa [25, 26]. Este cuestionario contiene 26 ítems agrupados en seis escalas: atractividad, perspicacia, eficiencia, confiabilidad, estimulación, y novedad. Se evaluó mediante una escala Likert de siete puntos, donde 1 representa “muy en desacuerdo” y 7 “muy de acuerdo”.

4 Resultados

Los resultados del proceso se presentan en dos momentos. Primero, se explican los resultados obtenidos en las cuatro etapas del desarrollo del software. Posteriormente, se explican los resultados del estudio de caso.

4.1 Captura de la información

La captura de la información consiste en identificar cada uno de los elementos que componen la máquina. Para esto se utilizó una cámara fotográfica estereoscópica profesional, que permite la toma de fotografías en tres dimensiones. Con la información captada en las fotografías, se creó el modelo 3D de la máquina. Se tomaron imágenes del equipo en todos los ángulos, formas y tamaños para facilitar su tallado digital como se muestra en la Fig. 1.



Fig. 1. Equipo de mezclado de pulpa de aguacate Hass

4.2 Modelado del equipo

El modelado se refiere al proceso de crear un modelo tridimensional de la máquina utilizando fotografías como referencia. Este proceso implica la utilización de software de modelado 3D para convertir las imágenes bidimensionales en un modelo digital en tres dimensiones que pueda ser visualizado y manipulado en un entorno virtual.

Una vez obtenida la información de cada espacio de la máquina (mediante fotografías), se esculpieron todas las piezas con la ayuda del Software *Autodesk Maya*, programa dedicado al desarrollo de gráficos 3D, animación, simulación y renderizado 3D. El software utiliza la técnica de fotogrametría o mapeo de texturas para generar un modelo 3D basado en las imágenes y los puntos de referencia. La fotogrametría, en particular, analiza las imágenes para calcular la forma y las dimensiones del objeto. En la Fig. 2 y la Fig. 3 se muestran partes del equipo modelado.

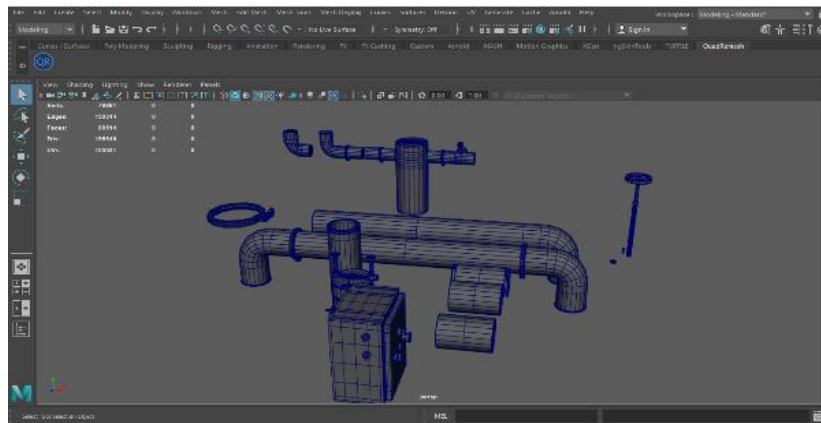


Fig. 2. Partes del equipo mezclador 1

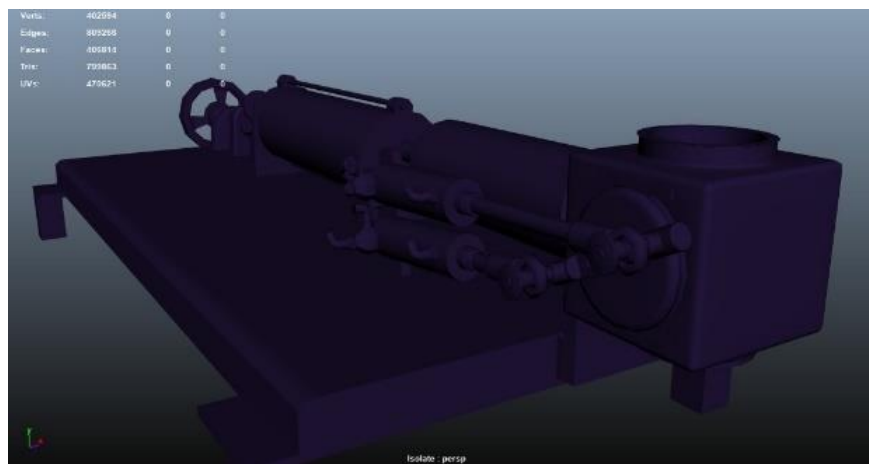


Fig. 3. Partes del equipo mezclador 2

El modelo 3D inicial puede requerir ajustes y refinamientos para que coincida con el objeto real de manera más precisa. Esto implicó la eliminación de ruido, la suavización de superficies y la mejora de detalles.

Posteriormente, se aplicaron texturas y colores al modelo utilizando las imágenes originales como referencia. Esto ayudó a que el modelo se parezca más al objeto real. Para la aplicación de textura y realismo se utilizó los softwares *Adobe Substance 3D Stager* y *ZBrush* para aplicar detalles de golpes y rasguños de piezas. Los softwares brindaron modelado 3D, escultura y pintura digital como se pueden visualizar en la Fig. 4 y la Fig. 5.

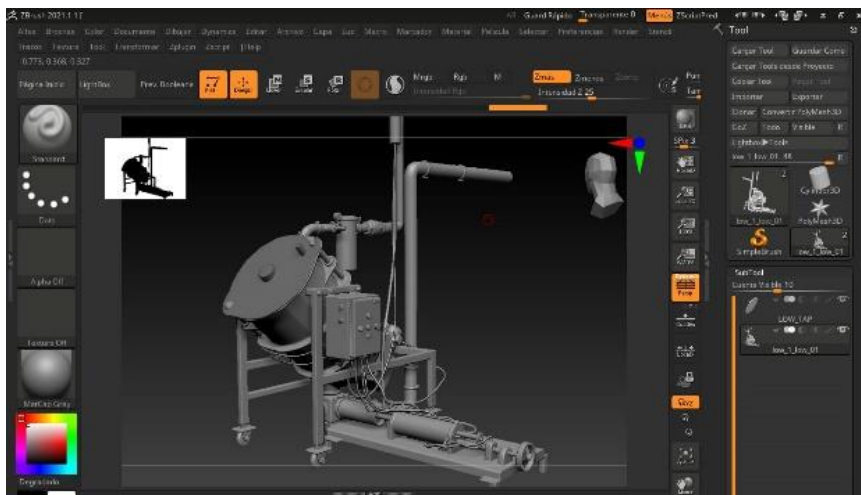


Fig. 4. Equipo mezclador modelado en 3D



Fig. 5. Equipo mezclador modelado en 3D y retocado

Posteriormente, se aplicó iluminación de fondo y animado en 360° utilizando el software *Marmoset Toolbag 4* para renderizar el prototipo. Este proceso se puede visualizar en la Fig. 6 y la Fig. 7. Finalmente, Una vez que se completó el modelo 3D y la apariencia estaba de acuerdo con lo establecido, se exportó en formato *mockup*¹ para su uso posterior en la aplicación.

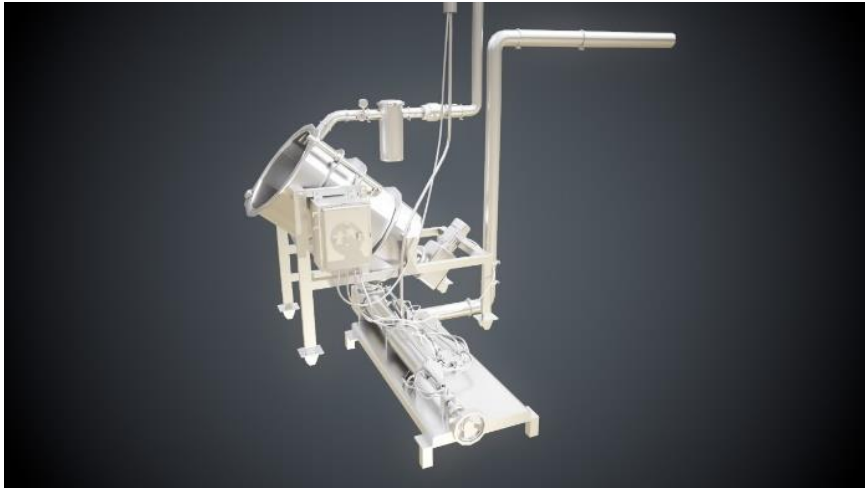


Fig. 6. Equipo mezclador iluminado



Fig. 7. Equipo mezclador renderizado

¹ Los mockups en programación se crean para aislar y probar partes específicas del sistema, permitiendo a los desarrolladores verificar la interacción entre componentes antes de que estén completamente integrados.

4.3 Creación de la aplicación

Para la creación de la aplicación móvil se usó el software Unity 3D, mediante los siguientes. Primero, se diseñó la interfaz y la mecánica de la aplicación, aprovechando las herramientas visuales y de programación en Unity. Se desarrolló la lógica de la aplicación mediante scripts en lenguaje de programación C#, definiendo comportamientos, interacciones y elementos visuales. Luego, se optimizaron los activos para dispositivos móviles y se ajustan los parámetros de rendimiento. Finalmente, se generó la versión compilada para el sistema operativo Android.

En este proceso se definieron los mockups para el desarrollo de la aplicación. Se establecieron cinco pasos que guían al desarmado del equipo de mezclado. Para este diseño se utilizó el software *Adobe XD*. En la Fig. 8 y la Fig. 9 se evidencia el prototipo de la aplicación.

Por otro lado, mediante Unity, se creó el código fuente para generar todas las funcionalidades de la aplicación escrito en lenguaje C Sharp (C#). Se importó el modelo 3D como un *asset*² a Unity. El uso de la plataforma *Vuforia* fue fundamental para desarrollar nuestro modelo en RA. Se definió el logo de la compañía como marcador³ utilizando imagen 2D. El cargue de este logo institucional está vinculado a la plataforma *Vuforia* como se detalla en la Fig. 10.

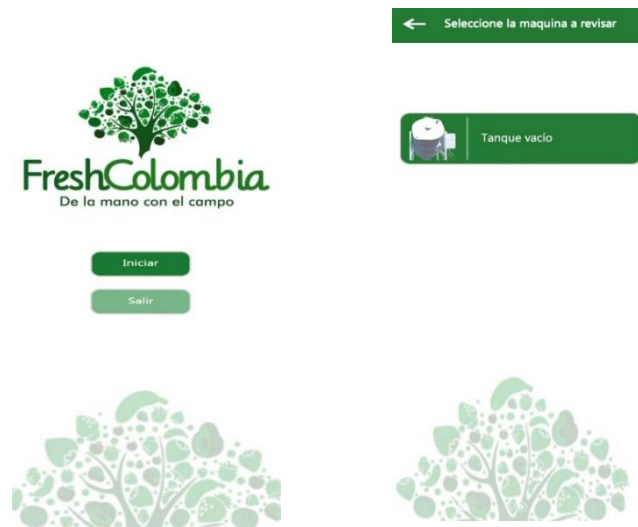


Fig. 8. Menú principal de la aplicación

² Un "asset" es un recurso utilizado en el desarrollo de una aplicación. Los *assets* pueden incluir gráficos, modelos 3D, texturas, sonidos, música, animaciones, scripts, escenas y más. Son elementos esenciales para construir y dar vida a un proyecto en Unity.

³ Un marcador es una imagen o patrón predefinido que se utiliza como punto de referencia visual para superponer objetos virtuales en el mundo real a través de un dispositivo, como un teléfono móvil o una tablet.

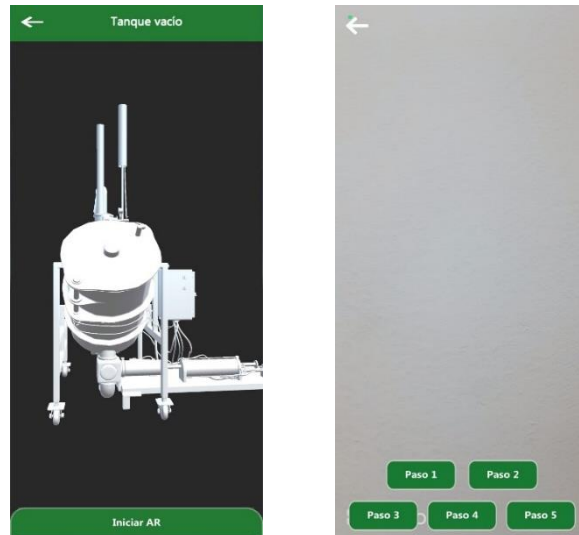


Fig. 9. Pasos del desarmado del equipo de mezclado



Fig. 10. Marcador – Logo institucional FreshColombia International SAS

4.4 Ejecución de la aplicación

Esta etapa hace referencia a los pasos que se deben seguir para la ejecución de la aplicación *in situ*. Es decir, los pasos que debe seguir el usuario para usar la aplicación una vez se encuentra al frente de la máquina.

La aplicación fue descargada en diez tabletas que son propiedad de la empresa. Igualmente, el logo de la empresa, que hace las veces de marcador, fue pegado en la parte frontal de la máquina. Mediante los siguientes pasos se explica el proceso de ejecución de la aplicación por parte de un usuario final (ver Fig. 11):

Paso uno: Retirada de la abrazadera del tubo superior y del mismo tubo.

Paso dos: Retirada de las abrazaderas del tubo y del tubo.

Paso tres: Retirada de las abrazaderas del tubo inferior y del mismo tubo.

Paso cuatro: Retirada del lagarto.

Paso cinco: Retirada de la camisa soporte.

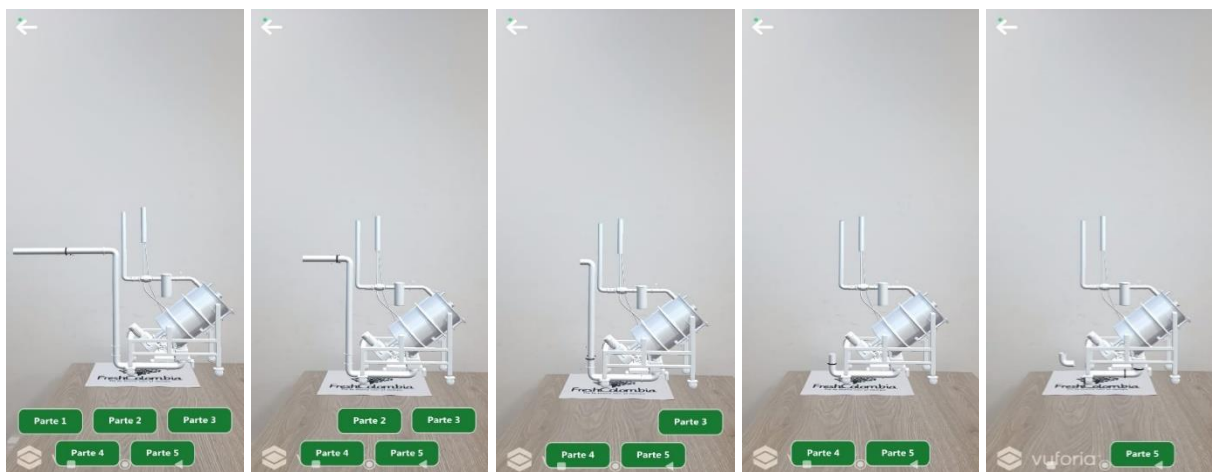


Fig. 11. Pasos a seguir en la aplicación por parte del usuario final

4.5 Estudio de caso

Para el estudio de caso fueron reclutados diez trabajadores de la empresa. Los trabajadores (en adelante aprendices), fueron escogidos teniendo en cuenta sus habilidades y la posibilidad que, en un futuro cercano, fuesen ellos quienes operen la máquina en cuestión. Los diez participantes indicaron que no tenían experiencia previa en el uso de un sistema basado en RA, pero todos sabían cómo usar una tableta.

Como se mencionó previamente, la aplicación fue descargada en diez tabletas, que son propiedad de la empresa. Así pues, se le entregó una tableta a cada aprendiz, el cual exploró la aplicación de manera individual por 15 minutos.

Al iniciar la aplicación, el usuario debía apuntar la cámara de la tableta al logo institucional de la empresa FreshColombia International SAS (ver Fig. 10), el cual hace las veces de marcador de la aplicación. Cabe anotar que, en esta primera etapa, los aprendices exploraron la aplicación, pero no interactuaron con la máquina en cuestión (el equipo de mezclado).

Posteriormente, los aprendices tomaron un turno individual para interactuar con el equipo. Cada aprendiz tenía un turno de 15 minutos, en los cuales procedía al desarme y mantenimiento del equipo de mezclado, haciendo uso de la ayuda proporcionada por la aplicación. Por lo tanto, en total cada aprendiz estuvo aproximadamente 30 minutos con la aplicación. Al final del proceso, a cada aprendiz se les pidió que completaran los cuestionarios SUS y UEQ.

Usabilidad. Para identificar la usabilidad de la aplicación, seguimos el procedimiento explicado en el sitio web oficial de usabilidad⁴. Este valor es una transformación porcentual que indica la usabilidad general de un producto específico. En consecuencia, se encontró que la usabilidad de la aplicación es de 91.75, lo que corresponde a una

⁴ <https://www.usability.gov/>

"excelente usabilidad" [22]. La puntuación mínima fue 85.00 y la máxima 97.50, con una desviación estándar total de 3.54. La Tabla 1 presenta la puntuación media y la desviación estándar general y para los subcomponentes de capacidad de aprendizaje y usabilidad. Es importante señalar que los valores de la Tabla 1 se derivan de la escala Likert y no de la transformación porcentual. Los resultados no indican diferencias estadísticas entre las puntuaciones de capacidad de aprendizaje y usabilidad ($t(8) = 1.07, p = 0.32$).

Table 1. Resultados del cuestionario SUS

Escala	Media	Desviación estándar
SUS	3.67	0.14
Capacidad de aprendizaje	3.55	0.42
Usabilidad	3.70	0.19

Experiencia de usuario. Para evaluar la experiencia de usuario se usaron las herramientas de análisis de datos proporcionadas por el sitio web de UEQ⁵. La Fig. 12 muestra la puntuación media de cada una de las seis categorías que miden la experiencia de usuario (atractividad, perspicacia, eficiencia, confiabilidad, estimulación, y novedad). Cada elemento tiene una escala de -3 a +3. Según las directrices, los valores entre -0.8 y 0.8 representan una evaluación neutral de la escala correspondiente, los valores > 0.8 representan una evaluación positiva y los valores < -0.8 representan una evaluación negativa [23].

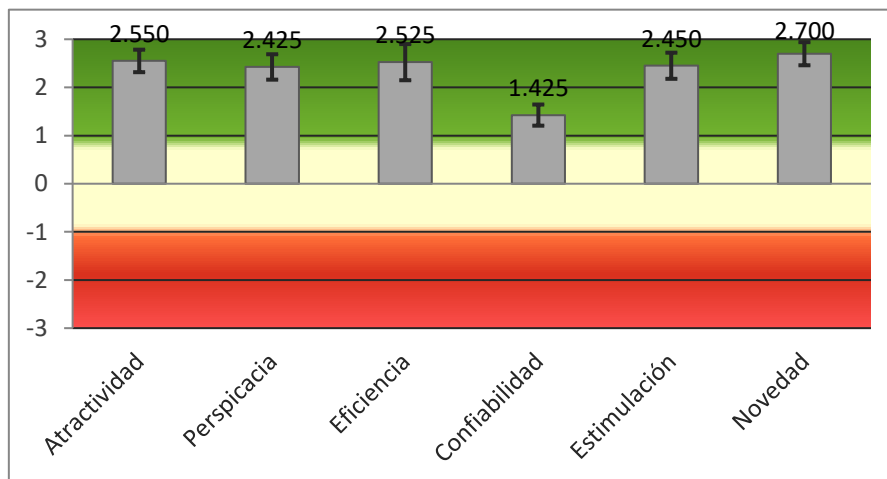


Fig. 12. Resultados del cuestionario UEQ

⁵ <https://www.ueq-online.org/>

5 Discusión y conclusiones

El presente estudio abordó la problemática de la capacitación y formación en la industria de productos derivados del aguacate Hass, específicamente en lo que respecta a la manipulación y operación de equipos industriales utilizados en la transformación de la pulpa de aguacate. A lo largo de la última década, la demanda y la elaboración de productos derivados del aguacate Hass han experimentado un notable crecimiento, lo que ha impulsado la necesidad de una capacitación más efectiva y segura para los trabajadores involucrados en estos procesos.

La introducción de la RA como herramienta de capacitación y formación en este contexto resulta prometedora. Los resultados del estudio de caso revelaron que fue eficaz para mejorar el proceso de capacitación. La interacción con la aplicación proporcionó a los usuarios una experiencia de aprendizaje enriquecedora al permitirles una visión más profunda y práctica del funcionamiento del equipo de mezclado en la línea de envasado de pulpa de aguacate Hass.

La usabilidad de la aplicación se destacó como un aspecto positivo en los hallazgos. La facilidad con la que los aprendices pudieron interactuar con la herramienta sugiere que la RA puede ser una forma intuitiva y efectiva de transmitir conocimientos técnicos y habilidades operativas en entornos industriales. La capacidad de los usuarios para manipular virtualmente el equipo de mezclado y observar su funcionamiento desde diferentes ángulos contribuye a una comprensión más completa y detallada de los procesos. Estos resultados son prometedores ya que, como se afirma en estudios anteriores [21], los altos niveles de usabilidad conducen a la satisfacción del usuario, la motivación y, en última instancia, ganancias en el aprendizaje.

En cuanto a la experiencia de usuario, la aplicación también recibió críticas positivas. Las escalas de atractividad, perspicacia, eficiencia, estimulación, y novedad obtuvieron las puntuaciones más altas, mientras que la escala de confiabilidad arrojó las puntuaciones más bajas. Estos resultados son importantes ya que, como afirman investigaciones anteriores [26], una buena experiencia de usuario conduce a satisfacción, lealtad y adopción de la aplicación. De manera similar, el análisis de referencia indica puntuaciones superiores a la media para todas las categorías en comparación con aplicaciones similares. Este resultado sugiere que la calidad de la aplicación es suficiente para desplegarla masivamente y ser implementada como una herramienta didáctica en los procesos de capacitación en la agroindustria.

Este estudio aporta evidencia que respalda la idea de que la RA puede desempeñar un papel crucial en la mejora de los procesos de capacitación en la industria. Sin embargo, es importante señalar algunas limitaciones y áreas para futuras investigaciones. Por ejemplo, la muestra de aprendices en el estudio de caso fue pequeña y específica de una empresa en particular, lo que puede limitar la generalización de los resultados. Sería valioso replicar este estudio en diferentes contextos industriales y con muestras más grandes para obtener una comprensión más completa de la eficacia de la aplicación.

Además, es necesario considerar la durabilidad de la efectividad de esta herramienta a lo largo del tiempo. La tecnología de RA está en constante evolución, y es

fundamental evaluar cómo se mantienen los beneficios de la capacitación a medida que las tecnologías avanzan y cambian.

Finalmente, se recomienda que la siguiente fase de desarrollo de la aplicación móvil, se elaboren más pasos de animación, agregando etiquetas para conocer los nombres de las piezas. Igualmente, que acelere el tiempo de aprendizaje principalmente en la operación de mantenimiento del equipo cada vez que se tenga ingreso de personal nuevo a la compañía mediante pruebas prácticas.

En conclusión, la aplicación basada en RA presentada en este artículo demuestra su potencial para mejorar los procesos de capacitación en la agroindustria. La posibilidad de una interacción más inmersiva y práctica con el equipo de mezclado ofrece una alternativa efectiva a los métodos de capacitación tradicionales. No obstante, se requiere un mayor análisis y seguimiento para comprender completamente su impacto a largo plazo y su aplicabilidad en una variedad de entornos industriales.

Referencias

1. Diaz, J., Ardila, C & Guerra, M. (2019). Estudio de caso sobre la admisibilidad del aguacate Hass colombiano en el mercado estadounidense: oportunidades en el Este de Asia. *Revista mundo Asia Pacífico*, 8(14). 5-27.
2. Lara, C., Jiménez, H & Miranda, R. (2021). Perfil de compuestos orgánicos volátiles y ácidos grasos del aguacate (*Persea americana*) y sus beneficios a la salud. *CienciaUAT*, 16(1). pp. 162-177.
3. Benítez, J., Sánchez, A., Bolaños, C., Bernal, L., Ochoa, C., Vélez, C & Sandoval, A. (2021). Cambios fisicoquímicos del aguacate Hass durante el almacenamiento frío y la maduración acelerada. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2). pp. 41-56.
4. Vivero, A., Valenzuela, R., Valenzuela, A & Morales, G. (2019). Palta: compuestos bioactivos y sus potenciales beneficios en salud. *Revista chilena de nutrición*, 46(4). pp. 491-498.
5. González, G., Figueroa, C., Perdomo, M & Ardila, X. (2018). Producción de aguacate Hass una alternativa para el departamento del Huila. *Revista Crecer Empresarial: Journal of management and development*, 2. pp. 7-15.
6. Torres, M & Trochez, J. (2023). El mercado del aguacate en Colombia. *Apuntes CENES*, 42(75). pp. 273-292.
7. Ceballos, A & Montoya, S. (2013). Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1). pp. 103-112.
8. Restrepo, A., Restrepo, A., Fuentes, M., Durango, M., Millán, L., Londoño, J & Ochoa, S. (2016). *Vitae*, 23(1). pp. 774-778.
9. Serpa, A., Echeverry, A., Lezcano, M., Vélez, L., Ríos, A & Hincapié, G. (2014). Extracción de aceite de aguacate variedad "Hass" (*persea americana mill*) liofilizado por prensado en frío. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 8(2). pp. 113-123.
10. Yepes, D., Sánchez, L & Márquez, C. (2017). Extracción termomecánica y caracterización fisicoquímica del aceite de aguacate (*Persea americana Mill. cv. Hass*). *Informador técnico*, 81(1). pp. 75-85.
11. Arispe, I & Tapia, M. (2007). Inocuidad y calidad: requisitos indispensables para la protección de la salud de los consumidores. *Agroalimentaria*, 12(24). pp. 105-118.
12. Parra, C & Rodríguez, F. (2016) La capacitación y su efecto en la calidad dentro de las organizaciones. *Revista de investigación, desarrollo e innovación*, 6(2). pp. 131-143.

13. Abarca, Y. (2016). Procesos de capacitación ayudados por TIC en el ámbito laboral. *Revista de Lenguas Modernas*, 25. pp. 343-354.
14. Chóez, E & Larreal, A. (2023). Gamificación y realidad aumentada como herramienta para enseñar y aprender. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2). pp. 1352-1367.
15. Garzón, J., Acevedo, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2022). Promoting eco-agritourism using an augmented reality-based educational resource: A case study of aquaponics. *Interactive Learning Environments*, 30(7), 1200-1214.
16. Han, X., Chen, Y., Feng, Q., & Luo, H. (2022). Augmented reality in professional training: A review of the literature from 2001 to 2020. *Applied Sciences*, 12(3), 1024.
17. Yin, W. (2022). An artificial intelligent virtual reality interactive model for distance education. *Journal of Mathematics*, 2022, 1-7.
18. Okayama, T., & Miyawaki, K. (2013). The “Smart Garden” system using augmented reality. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(4), 307-310.
19. Van der Westhuizen, M., von Leipzig, K. H., & Hummel, V. (2023, March). Augmented Reality Combined with Machine Learning to Increase Productivity in Fruit Packing. In *Smart, Sustainable Manufacturing in an Ever-Changing World: Proceedings of International Conference on Competitive Manufacturing (COMA'22)* (pp. 415-431). Cham: Springer International Publishing.
20. Nguyen, D., & Meixner, G. (2019, September). Gamified augmented reality training for an assembly task: A study about user engagement. In *2019 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)* (pp. 901-904). IEEE.
21. Lewis, J.R.: Measuring Perceived Usability: The CSUQ, SUS, and UMUX. *Int. J. Hum. Comput. Interact.* 34, 12, 1148–1156 (2018). <https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1418805>.
22. Brooke, J.: SUS: A “Quick and Dirty” Usability Scale. In: *Usability Evaluation In Industry*. pp. 4–7 CRC Press (1996).
23. International Organization for Standardization [ISO]: ISO 9241-210: 2019 Ergonomics Of Human-System Interaction - Part 210: Human-Centred Design For Interactive Systems. (2019).
24. Laugwitz, B. et al.: Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. *Lect. Notes Comput. Sci.* 5298, 63–76 (2008). https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6.
25. Schrepp, M. et al.: Construction of a Benchmark for the User Experience Questionnaire (UEQ). *Int. J. Interact. Multimed. Artif. Intell.* 4, 4, 40–44 (2017). <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.445>.
26. De Paolis, L.T. et al.: Usability, user experience and mental workload in a mobile Augmented Reality application for digital storytelling in cultural heritage. *Virtual Real.* 1–27 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00712-9>.