

# Sistema no destructivo para la detección de madurez en aguacates: ARPODES

Alfonso Garijo Campos<sup>1</sup>, Yamila-Eugenia López Gordillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ghenova Digital, Sevilla, Andalucía, España  
ghenovadigital.com

**Abstract.** La detección del estado de madurez del aguacate, de forma no destructiva, es un reto tecnológico que, hasta el momento, sigue representando un desafío para los productores e ingenieros relacionados con el producto. Se han investigado múltiples tecnologías: espectroscopia de infrarrojo cercano, vibrometría láser doppler, procesamiento de imagen, espectrogrametría... Sin embargo, ninguna es capaz de representar una solución definitiva, ya sea por rendimiento, coste o usabilidad. Durante el desarrollo del paper, se presenta una nueva solución que combina un dispositivo robótico que posibilita la detección automatizada y no destructiva del estado de madurez para aguacates de distintos calibres, prometiendo de esta forma una opción útil y realista para la monitorización de dicho parámetro durante los procesos de maduración en cámara.

**Keywords:** Aguacate, IoT, Mecatrónica, Robótica, Sensórica, Agricultura.

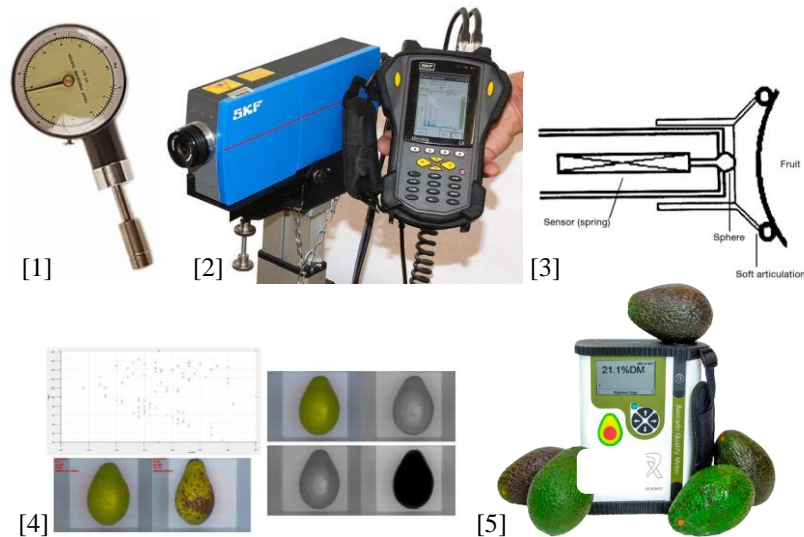
## 1 Introducción

Actualmente, en la industria del aguacate, no está siendo posible automatizar la evaluación del punto de madurez de los frutos como sí se está pudiendo llevar a cabo para otros cuyas características lo facilitan. Y es que el aguacate es un producto especialmente complejo, debido a su variabilidad y a los cambios internos y externos que experimenta durante su maduración. La variabilidad se refiere a cómo los aguacates presentan una amplia heterogeneidad en su forma, tamaño y textura, y a que su maduración no sigue una curva uniforme, sino que esta puede variar significativamente entre diferentes frutos. Y los cambios externos principalmente son a la suavidad de la pulpa, el color de la piel y la composición química (García, 2016).

Por el momento, la forma más extendida y oficializada de certificar el punto de madurez de un aguacate es mediante el uso del penetrómetro (ver *Fig. 1 [1]*), el cual es un sensor de presión manual que registra el valor máximo de presión ejercida justo antes de penetrar la corteza de una fruta. Es una tecnología destructiva, pero indica que la medición de la presión en la superficie del fruto es significativa. Sin embargo, no es posible utilizarla en un proceso de medición automatizado y generalizado, ya que implicaría la destrucción de los frutos. Su uso está limitado a la justificación del estado de madurez de un cargamento de aguacates a través de la medición de una muestra representativa de la población a exportar, de cara a su entrega a clientes del sector retail o productores de elaboraciones derivadas del aguacate (Bower, 2023).

Para encontrar un mecanismo que permita la medición de la madurez del aguacate, no destructivos, la industria se ha centrado en las siguientes tecnologías:

- **LDV:** Vibrometría Láser Doppler, es un instrumento científico que se utiliza para realizar mediciones de vibraciones sin contacto de una superficie. El rayo láser del LDV se dirige a la superficie del aguacate, y la amplitud y frecuencia de la vibración se extraen del desplazamiento Doppler de la frecuencia del rayo láser reflejado debido al movimiento de la superficie. La salida de un LDV es generalmente un voltaje analógico continuo que es directamente proporcional al componente de velocidad objetivo a lo largo de la dirección del rayo láser. Su utilidad se basa en que un aguacate más maduro tendrá una consistencia más blanda, la cual generaría menores vibraciones. El vibrómetro se calibraría para comprobar la respuesta para las frecuencias de resonancia asociadas a los distintos puntos de maduración del fruto, siendo así capaz de determinar su madurez (Landahl y Terry, 2020). Sin embargo, en un entorno de producción, puede no ser adecuado debido a su volumen, coste, y método de aplicación. Esto imposibilita su uso para detectar la madurez en individuos de la población que no se encuentren expuestos durante su proceso de maduración. Ver [Fig. 1 \[2\]](#).
- **Visión Artificial:** Entrenando redes neuronales o sistemas de clasificación complejos, es posible obtener un modelo capaz de determinar el estado de madurez de un aguacate en función del color que presenta su corteza (Han et al., 2023). El sistema en primer lugar busca el contorno del fruto para aislarlo del resto de la imagen, y a continuación analiza por separado las componentes R, G y B de la imagen. Este mecanismo no es del todo fiable dado que el color de la corteza del aguacate no siempre es significativo, ya que el contacto con el etanol de una cámara de maduración o de otros frutos puede hacer que ésta presente una apariencia de madurez distinta a la del interior. Ver [Fig. 1 \[4\]](#).
- **Sensor de firmeza basado en micro deformaciones:** El dispositivo se apoya totalmente sobre la fruta, permitiendo que un pequeño émbolo emplazado en su interior presione la superficie de la fruta impulsado por un muelle. La firmeza del fruto determinará cuánto se ha podido elongar dicho muelle, y esta será la medida (García-Ramos et al. 2005). No logró resultados del todo precisos, y no fue automatizado, sin embargo, parece la opción más sencilla y viable para basar el diseño de un dispositivo nuevo. Ver [Fig. 1 \[3\]](#).
- **Espectrometría:** Estos dispositivos utilizan la tecnología de infrarrojo cercano (NIR) para introducir partículas de luz dentro del fruto, para luego medir la interacción de la misma con las moléculas biológicas. De esta manera, es posible analizar la materia seca dentro del aguacate y estimar así su punto de maduración (Melado-Herreros et al., 2021). Cada vez se utiliza en más cultivos, pero hasta el momento no se ha logrado una precisión suficiente.



**Fig. 1.** (1) Penetrómetro, (2) Vibrómetro Láser Doppler, (3) Sensor de firmeza basado en micro-deformaciones, (4) Visión artificial, (5) Sensor NIR.

Tras esta investigación, se contactó con expertos en la industria para conocer cómo se desarrolla el proceso de detección de la madurez en instalaciones reales, tanto a nivel operativo como logístico (Namesny et al., 2020; Carvalho et al., 2014).

Los frutos se recogen de la plantación cuando aún se encuentran muy verdes, entonces se clasifican, ordenan y paletizan de forma semiautomática. La clasificación en cuanto a calibre y peso se lleva a cabo en las propias cintas transportadoras, mientras que la clasificación por estado (aquellos que se encuentran dañados no son aptos para la venta al público y por lo tanto se destinan a la producción de derivados como el guacamole) se lleva a cabo de forma manual, así como la colocación en cajas (Cerdas Araya et al., 2006; Díaz, 2013).

A continuación, se introducen en cámaras de maduración. Cada población recogida tiene unas características relativamente similares, debido a que comparten variedad, calibre, peso y han sido cultivados bajo las mismas condiciones. Antes de programar la cámara de maduración, la cual permite configurar temperatura, humedad y volumen de etileno distribuido, se mide manualmente una muestra significativa del conjunto de aguacates total para así poder estimar las condiciones y tiempo necesarios para obtener un punto de madurez determinado (Namesny et al., 2020; Díaz, 2013; Defilippi et al., 2015).

Para medir la madurez manualmente, los operarios colocan el aguacate en la palma de la mano y presionan suavemente con los dedos, sin utilizar las uñas. El punto de madurez queda determinado por la firmeza que el individuo detecta en las yemas de sus dedos, ver [Fig. 2](#).



**Fig. 2.** (1) Procesos de clasificación y paletización semiautomáticos, (2) cámara de maduración para aguacates, (3) mecanismo de medición manual de madurez del aguacate.

Con este conocimiento, se decidió diseñar un sensor basado en el método manual de medición de la madurez y apoyándose en el prototipo del sensor de firmeza basado en microdeformaciones, que pudiera ser introducido dentro de las cámaras de maduración. De forma que los operarios pudieran saber el estado de madurez de los aguacates elegidos dentro de la cámara de maduración y modificar la configuración de las cámaras para asegurar un proceso más preciso.

## 2 El dispositivo mecatrónico

El diseño del dispositivo mecatrónico se basó por lo tanto en la emulación de la acción que lleva a cabo el operario de las cámaras de maduración, para lo cual debían imitarse las partes biológicas implicadas en el proceso. Las manos como elemento mecánico que presiona el fruto, el tacto como sensor que detecta la firmeza, y el cerebro como elemento que infiere un nivel de madurez en base a la información recabada.

Como replicar una mano con tacto sería complejo e ineficiente, se simplificó a la interacción entre motores paso a paso lineales y sensores de fuerza anclados a sus extremos. De esta forma, podría presionarse el fruto al mismo tiempo que se puede extraer la fuerza que ejerce la corteza del fruto contra dicho movimiento.

Este proceso de diseño tuvo dos etapas diferenciadas, la primera, en la que se utilizaban tres motores lineales concéntricos y la segunda, en la que se simplificó a un motor y una pared (representando la palma de la mano) y que también disponía de un sensor. Aunque se prevén futuras iteraciones en las que se repita el funcionamiento de la segunda, pero añadiendo un segundo motor capaz de rotar el aguacate para facilitar así su medida en distintos puntos del equipo.

### 2.1 La primera versión

La primera versión del dispositivo, el primer prototipo, se desarrolló como una evaluación, un dispositivo que permitiera una fase de experimentación que probara la viabilidad de las tecnologías que se estaban utilizando. Por lo que no se tuvieron en cuenta elementos tales como baterías, mecanismos de protección ante la humedad o diseños optimizados para la producción.

### Diseño Mecatrónico

Consistía en tres motores concéntricos, dos de ellos formando un ángulo de 90 grados, pensando en cómo podría alojarse en una caja de aguacates, y una electrónica que consistía en un Arduino para controlar el proceso de medida y recoger datos de los sensores mientras con un ESP8266, un microcontrolador específico para IoT que contiene un módulo de comunicación wifi, se permitía una comunicación inalámbrica que facilitara la extracción de datos desde la cámara de maduración, ver [Fig. 3](#).

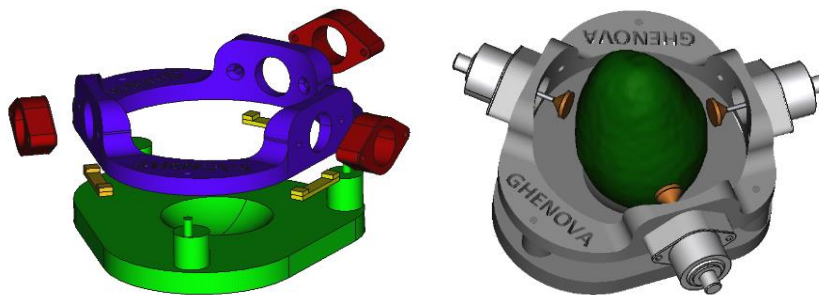


Fig. 3. Diseño mecánico de la primera versión

### El proceso de medida

En cuanto a su funcionamiento, el dispositivo comienza la medida elongando los tres motores al mismo tiempo hasta que los tres detectan un threshold de fuerza determinado, en ese momento, se considera que se ha alcanzado la superficie del aguacate. A continuación, se realizan 50 aprietes consecutivos de 0.2mm de forma simultánea en todos los motores, almacenando los registros de los sensores para cada uno de ellos.

Por último, la matriz que relaciona las elongaciones de los motores y las fuerzas detectadas por cada sensor para cada una de ellas se envía al pc que controla los tests para su almacenamiento y procesamiento (Vía USB, es decir por el puerto serie de cualquier computador o MQTT, un protocolo de comunicación ligera muy extendido en aplicaciones IoT).

### Diseño del experimento

Para la validación del funcionamiento de este primer prototipo, se estudió una población de aguacates y se graficaron los datos utilizando un plot de tres dimensiones en el que cada una de las mismas representaba el valor de cada uno de los sensores presentes en el dispositivo.

Se realizaron cinco tandas de tests y en cada una se seleccionaron cinco aguacates distintos, cada uno en un punto de maduración estimado por un técnico especialista de

una empresa productora. Valores de maduración que a posteriori fueron certificados mediante un penetrómetro.

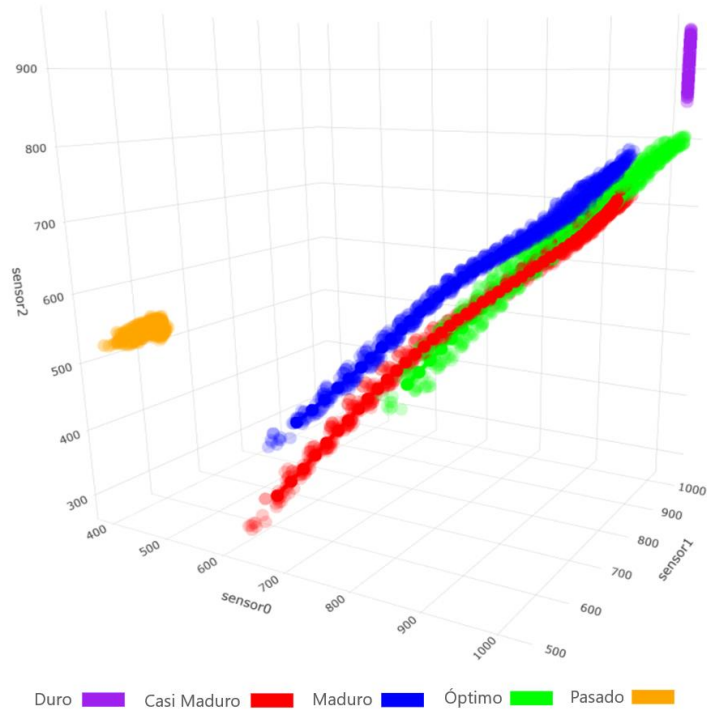
Los estados de madurez seleccionados fueron: Duro, casi maduro, maduro, óptimo y pasado, cuya información puede consultarse en la *Tabla 1*.

<b>Punto de madurez</b>	<b>Hasta madurez óptima</b>	<b>Medida Penetrómetro</b>	<b>Descripción</b>
<i>Duro</i>	> 7 días	$\geq 11$ Kg	Aguacate muy duro no adecuado para consumo
<i>Casi Maduro</i>	5 - 6 días	7 - 11 Kg	Aguacate duro, a consumir en 5-7 días.
<i>Maduro</i>	2 - 4 días	4.5 - 7 Kg	Aguacate maduro, cerca del punto óptimo
<i>Óptimo</i>	0 - 1 días	2.5 - 4.5 Kg	Aguacate maduro y en estado óptimo para su consumo
<i>Pasado</i>	-	< 2.5 Kg	Aguacate pasado

*Tabla 1: Clasificación de aguacates según madurez*

## Resultados del experimento

Una vez recogidos los datos de las cinco tandas de medida, se representaron los datos utilizando un color distinto para cada clasificación según madurez e incluyendo todos los datos de la curva extraída. Dado que el sistema va haciendo avances sucesivos y almacenando el valor registrado por los sensores de fuerza, en la gráfica se observará una evolución en la fuerza registrada según el desplazamiento del motor. Ver *Fig. 4*.



**Fig. 4.** Datos extraídos de la primera versión del detector de madurez

En los datos se observan tres grupos evidentemente diferenciados:

- Duro: Desde que el dispositivo atrapa el fruto y comienza a apretar, se detecta una resistencia muy alta, no existiendo apenas recorrido según aumenta la elongación, e incluso saturando en dos de los ejes, el de los sensores 0 y 1.
- Maduro: Una vez el dispositivo atrapa el fruto, se observa como la fuerza con la que la corteza se opone al desplazamiento del motor va aumentando, dando lugar a una curva. Dentro de esta categoría se distinguen 3 grupos:
  - Casi Maduro: Aunque representa una curva que se mezcla con los datos de los otros dos puntos de madurez, comienza y acaba detectando una resistencia mayor, y sigue una curva ligeramente distinta, aunque esto puede deberse a la forma de los frutos analizados.
  - Maduro: En este caso, se comienza y acaba detectando una resistencia menor que la de los aguacates casi maduros y mayor que la de los óptimos.
  - Óptimo: En este caso, se comienza y acaba detectando una resistencia menor que en los aguacates maduros y casi maduros.

- Pasado: Puede sorprender que los valores detectados por los sensores en este punto sean más altos que los mínimos detectados en los aguacates maduros. Esto ocurre porque la corteza llega a estar tan blanda que el dispositivo no detecta que la esté sujetando y continúa apretando hasta que encuentra cierta resistencia, la cual es mayor que el mínimo de los aguacates maduros. Sin embargo, una vez la alcanza, independientemente del desplazamiento del motor, la corteza sigue ofreciendo siempre la misma resistencia, formándose una nube de puntos muy concentrados.

Tras la visualización de los datos, se concluye que efectivamente la tecnología diseñada tiene potencial para ser capaz de detectar la madurez de aguacates. Sin embargo, queda patente que este primer prototipo contiene redundancias que hacen más complejo el sistema, y que algunos de los elementos mecatrónicos seleccionados no son los más adecuados. Por ejemplo, la selección del microcontrolador, el número de motores y sensores, y el modelo de los motores.

## 2.2 La segunda versión

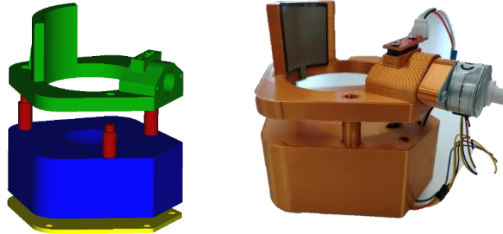
Esta segunda versión simplifica todo el proyecto a la vez que lo prepara para una fase futura de industrialización como producto. Los principales cambios consisten en el rediseño a nivel electrónico, utilizando componentes SMD, es decir, más pequeños, de montaje en superficie y más fáciles de montar de forma automática. En preparar el dispositivo para alimentarse por baterías, y en seleccionar el ESP32 como microcontrolador IoT único del dispositivo siguiendo las tendencias del mercado, siendo este la evolución del ESP8266 mencionado previamente. Y en el rediseño de la electromecánica, reduciendo el número de sensores y actuadores.

### Diseño Mecatrónico

Como podía observarse en la *Fig. 4*, las medidas de los distintos sensores, aunque podrían aportar información si se analizan las ligeras diferencias que existen, el punto de madurez del aguacate podría haberse calculado con la proyección sobre cualquiera de los planos. Es decir, parece que, con un solo motor y un solo sensor, podría ser suficiente.

Sin embargo, siempre será necesario tener una superficie contra la que apretar el aguacate, ya que ahora no hay ningún actuador que asista en este evento, y si el aguacate es detectado por el sensor conectado al motor, pero aún no está siendo apoyado, podrían obtenerse medidas erróneas. Por lo que, para esta versión, se decidió disponer de un motor con su sensor asociado, y una pared, también con un sensor, contra la que apoyar el aguacate, ver *Fig. 5*.

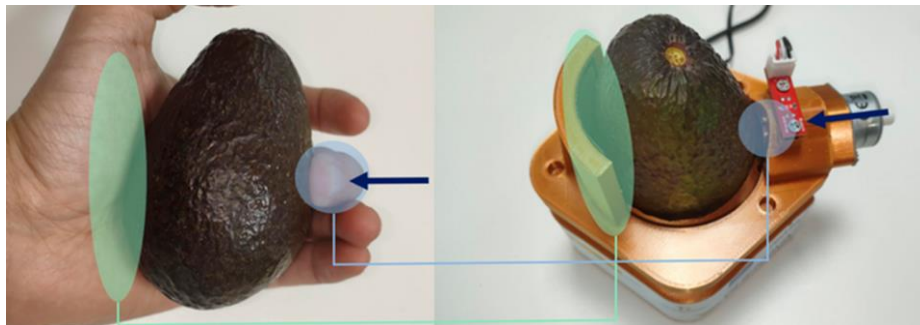




**Fig. 5.** Diseño mecánico de la segunda versión

Además, se seleccionó un sensor cuadrado más grande para la superficie de apoyo, y se seleccionó un modelo nuevo de motor paso a paso, con más precisión, una mecánica más conseguida y un encapsulado para el vástago que lo convierte en un motor del tipo cautivo.

Este diseño, además, tiene un mecanismo de funcionamiento mucho más parecido a la forma de evaluación manual de la madurez del aguacate, disponiendo por un lado de un actuador enlazado con un sensor emulando la acción de un dedo, y por otro una superficie con un sensor que emula a la palma de la mano. Ver [Fig. 6](#).



**Fig. 6.** Emulación de la evaluación manual de la madurez del aguacate

### **El proceso de medida**

El proceso de medida es muy similar al anterior, simplificado por el hecho de disponer de un sensor y dos motores menos. El actuador elongará su vástago hasta que ambos sensores registren el threshold de fuerza previamente determinado durante la calibración, y a partir de ahí se irán realizando empujes sucesivos tras los cuales los datos se transmitirán vía MQTT al servidor de análisis para su procesamiento y almacenamiento.

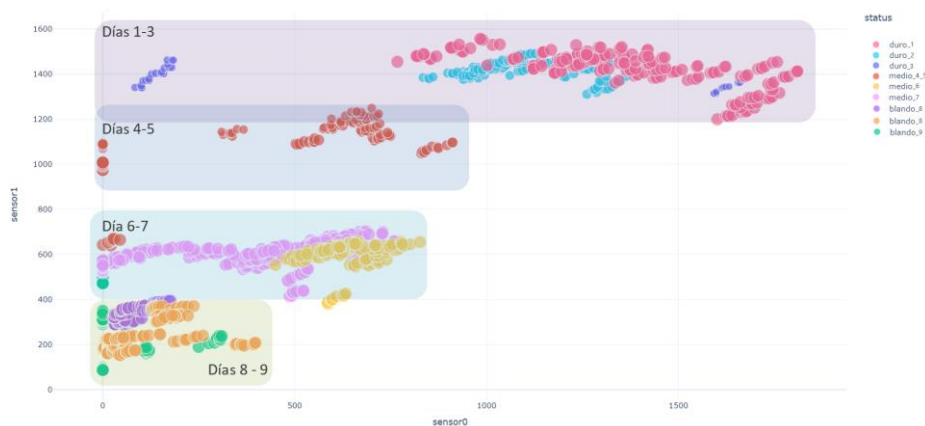
### **Diseño del experimento**

Para evaluar los modelos de detección de la maduración se llevó a cabo una serie de tests sobre una población de aguacates dentro de la cámara. A partir de los resultados de dichos individuos se evaluó el buen funcionamiento de los modelos.

Se midieron 10 aguacates distintos en un estado de maduración muy temprano, muy verdes, durante un periodo de 9 días en condiciones ambientales normales, en torno a 20-25 grados centígrados, con la idea de observar la evolución de las medidas durante el proceso de maduración.

Los datos se almacenaron y se graficaron. En este caso, las gráficas tendrán dos dimensiones, una para cada sensor, y el tiempo desde el primer día de medición quedará reflejado en las ventanas transparentes y especificados en la leyenda.

### Resultados del experimento



**Fig. 7.** Datos extraídos de la segunda versión del detector de madurez.

En los datos representados en la *Fig. 7*, se observan cuatro grupos evidentemente diferenciados:

- Duro: Desde que el dispositivo atrapa el fruto y comienza a apretar, se detecta una resistencia muy alta en ambos sensores exceptuando un grupo de medidas del sensor 0, que posiblemente se deban a la geometría de ese aguacate en concreto.
- Casi Maduro: Se ve como poco a poco los datos se desplazan hacia el eje de coordenadas, es decir, la corteza ofrece menor resistencia al apriete de los motores. De nuevo se observa un grupo de medidas del sensor 0 con un valor demasiado bajo, que de nuevo puede ser debido a la geometría del aguacate. Siguen, sin embargo, siendo valores altos. Queda claro que el sensor más fiable es el 1, sin embargo, el 0 puede aportar información ya que las medidas no crecen linealmente y por lo tanto no son necesariamente proporcionales.
- Maduro: En este caso, se comienza y acaba detectando una resistencia menor que la de los aguacates casi maduros y mayor que la de los óptimos. La velocidad de maduración comienza a ser mayor, como se puede observar viendo que existe una mayor dispersión en las medidas.

- Óptimo: En este caso, se comienza y acaba detectando una resistencia menor que en los aguacates maduros. La dispersión es alta, está al límite de su madurez, aquí ya es difícil distinguir si el aguacate está comenzando a pasarse.
- Pasado: aquellas medidas que se encuentran por debajo de 150 puntos de presión en el sensor 1 pueden considerarse de un aguacate pasado. Llega un momento en el que la corteza comienza a separarse de la carne del aguacate, permitiendo que el sensor apriete hasta su máxima elongación sin detectar la superficie, en esos casos el dispositivo indica que no hay fruto, de ahí que no se representen medidas. En la práctica, se indicaría una alarma de aguacate ausente o muy pasado.

### 2.3 Test de estrés sobre el fruto

El invento pretende ser un mecanismo de medición no destructivo, de manera que, para asegurarlo, se consideró necesaria la realización de un test de estrés. Estas lesiones son comunes en los aguacates comprados en supermercado, debido a las comprobaciones que suelen realizar los compradores al elegir la fruta. Durante estados de madurez tempranos, dichas lesiones no tienen por qué apreciarse a simple vista, pero a partir de su punto óptimo si puede ser posible observar valles o puntos más blandos en la corteza, lo cual reduce el atractivo del fruto.

#### Diseño del experimento

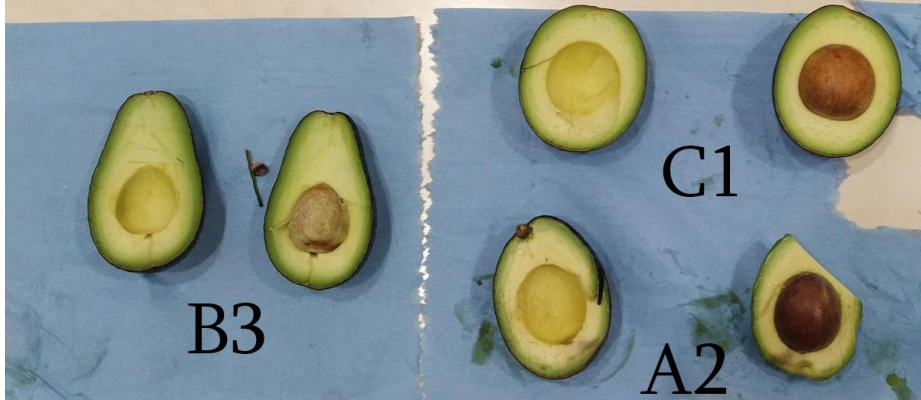
Dado que un aguacate no suele hallarse más de 5 días en cámara de maduración, y no tendría sentido hacer más de 6 mediciones diarias sobre el mismo, se supone que es altamente improbable que un aguacate sea estimulado más de 30 veces por el dispositivo. De manera que, de cara al test de estrés, se decidió que se aplicarían 10 veces dicha cantidad, es decir, 300 mediciones consecutivas sobre el mismo punto de la superficie.

Y, al ser distinta la firmeza del aguacate dependiendo de su madurez, para asegurar que el dispositivo no hace daño ni a la fase más firme, ni a la menos, se testaron 3 aguacates con niveles de maduración distintos. Duro, maduro y blando.

Tras los estímulos, se retiró la piel de los aguacates para comprobar si existían lesiones debidas a las mediciones junto con los expertos en el cultivo.

#### Resultados del experimento

Los resultados fueron buenos. Tras seccionar los aguacates y observar los lugares en los que se habían llevado a cabo las mediciones, no se logró detectar ninguna lesión, como se puede ver en la *Fig. 8*.



**Fig. 8.** Datos extraídos de la segunda versión del detector de madurez, El individuo A2 se encuentra en un punto óptimo de madurez, el C1 en un punto intermedio, y el B3 se encuentra muy duro.

### 3 Conclusiones

Durante la investigación se exploraron diferentes tecnologías para la medición no destructiva del punto de madurez en aguacates, dada la complejidad inherente a este fruto. Se realizó un estudio del estado del arte en el que se detectaron métodos como la Vibrometría Láser Doppler, la Visión Artificial, los sensores de firmeza basados en microdeformaciones, y la Espectrometría utilizando la tecnología de infrarrojo cercano (NIR). Sin embargo, ninguna de estas opciones resultó completamente adecuada para su implementación en entornos de producción debido a diversas limitaciones técnicas y operativas.

Posteriormente, se diseñó un dispositivo mecatrónico basado en el método manual de medición de madurez, combinado con la idea del prototipo del sensor de firmeza basado en microdeformaciones. Este dispositivo busca emular la acción del operario en las cámaras de maduración, utilizando motores paso a paso lineales y sensores de fuerza para presionar los aguacates y medir su firmeza.

La primera versión del dispositivo demostró una capacidad prometedora para detectar la madurez de los aguacates, sin embargo, presentaba redundancias y elementos mecánicos no óptimos. Tras una iteración, se desarrolló una segunda versión simplificada y optimizada, preparada para una futura industrialización como producto. Esta versión demostró una eficacia mejorada en la detección de la madurez, con una reducción en el número de sensores y actuadores, y una mayor precisión en las mediciones.

Los resultados de los experimentos realizados con la segunda versión del dispositivo mostraron una clara diferenciación entre distintos estados de madurez en los aguacates evaluados. Se observó una correlación entre la resistencia detectada por los sensores y los puntos de madurez estimados por expertos. Además, se realizó un test de estrés sobre los aguacates para evaluar la seguridad del dispositivo, concluyendo que las mediciones no causaron lesiones en la superficie de los frutos.

Los resultados obtenidos indican que la tecnología diseñada es válida para la medición no destructiva del punto de madurez en aguacates. Este avance podría tener un impacto significativo en la industria del aguacate, permitiendo una evaluación precisa y eficiente de la madurez de los frutos durante su proceso de producción y distribución. Esto, llevó a la creación de la patente para el dispositivo diseñado en abril de 2023.

## Referencias

- García, U. (6 de julio de 2021). Tiempo de maduración del aguacate: ¿Cuánto tarda en dar fruto? [www.plantaraices.com](http://www.plantaraices.com)
- Bower, J. (5 de mayo de 2023). Manual de calidad del aguacate: Guía de mejores prácticas. (pp. 48). Ihsmsubtropicals
- Landahl, S., & Terry, L. A. (2020). Non-destructive discrimination of avocado fruit ripeness using laser Doppler vibrometry. *Biosystems Engineering*, 194, 251-2601
- Han, Y., Bai, S. H., Trueman, S. J., Khoshelham, K., & Kämper, W. (2023). Predicting the ripening time of 'Hass' and 'Shepard' avocado fruit by hyperspectral imaging. *Precision Agriculture*, 24(5), 1889-1905
- García-Ramos, F., Valero, C., Homer, I., Ortiz-Cañavate, J., & Ruiz-Altisent, M. (2005). Non-destructive fruit firmness sensors: a review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(1), 61-73. <https://doi.org/10.5424/sjar/2005031-125>
- Melado-Herreros, A., Nieto-Ortega, S., Olabarrieta, I., Gutiérrez, M., Villar, A., Zufía, J., Gorretta, N., & Roger, J.-M. (2021). Postharvest ripeness assessment of 'Hass' avocado based on development of a new ripening index and Vis-NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 181, 111683
- Namesny, A., Conesa, C., Hormaza, I., & Lobo, G. (Eds.). (2020). Cultivo, poscosecha y procesamiento del aguacate. 304-305
- Carvalho, C. P.; Velásquez, M. A.; Van Rooyen, Z. (2014). Determinación del índice mínimo de materia seca para la óptima cosecha del aguacate 'Hass' en Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(3): 399-406.
- Cerdas Araya, M.M.; Montero Calderón, M.; Díaz Cordero, E. (2006). Manual de manejo pre y poscosecha de aguacate (*Persea americana*). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. 100 p.
- Davies, T. (2005). NIR spectroscopy. An introduction to near infrared spectroscopy. *NIR News*, 16: 9-11.
- Díaz, I. (2013). Evaluación de la respuesta de almacenamiento refrigerado de frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) de diferentes razas. Trabajo Final de Carrera de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Universidad de La Laguna, Tenerife, Islas Canarias, España. 141 p.
- Defilippi, B.B.; Robledo, P.M.; Rivera, S.S.; Ferreyra, R.E. (2015). Tecnologías de poscosecha. En: Optimización de la calidad de palta 'Hass' (B.B. Defilippi, R.E. Ferreyra y S.S. Rivera, eds). *Boletín INIA*, 307: 43-67.