

## **Informe sobre la Evaluación No Destructiva de la Madurez del Mango**

### **El Marco General:**

El suministro de un mango maduro y succulento a los consumidores es un proceso con muchas etapas, pero la parte más importante tal vez empieza con la cosecha de una fruta madura. Juzgar la madurez de un mango sin dañar a la fruta puede ser un verdadero reto. Aunque existe una diversidad de métodos disponibles para la evaluación de la madurez, algunas de estas técnicas son destructivas y causan lesiones a la fruta en el proceso.

Para optimizar las eficiencias y reducir la merma, la National Mango Board comisionó un proyecto de investigación con el propósito de determinar con qué opciones cuenta la industria para la realización de pruebas no destructivas – evaluando la madurez de un mango sin causarle ningún daño. El objetivo de evaluar la madurez del mango al momento de la cosecha es determinar qué fruta se encuentra en estado de madurez y lista para cosecharse, y qué fruta debe permanecer en el árbol por más tiempo. Asimismo, un sensor de madurez no destructivo permitiría a los procesadores separar la fruta parcialmente madura de la fruta que ha madurado a plenitud, resultando en el embarque de lotes más uniformes a su destino final. Por añadidura, la creación de lotes con madurez uniforme permitiría un manejo más correcto y una comercialización óptima para cada cargamento.

El Dr. David Slaughter de la Universidad de California en Davis realizó una consulta de diversos métodos de prueba no destructivos y determinó las opciones que la industria del mango podría explorar a fin de incrementar su producción de fruta de alta calidad. Aunque los resultados de Slaughter muestran varias opciones viables, se requiere la realización de más pruebas en las cinco variedades comunes exportadas a los E.U.A. para asegurar que los resultados publicados son los correctos. Además, se debe tomar en cuenta que en la actualidad no se ha adoptado ningún método objetivo estándar para la evaluación de la madurez del mango. La formulación e implantación de estas pautas servirían como marco de referencia que todos los procesadores podrían utilizar para realizar sus operaciones, señaló Slaughter.

### **Resultados Generales:**

- **El desarrollo de una norma objetiva para el color de la pulpa del mango sería el primer paso para determinar la madurez del mango. La definición de un dado lugar y profundidad en el mango donde se podrá medir el color con precisión será clave.**

En un principio, dice Slaughter, la implantación de esta norma requerirá de la realización de pruebas destructivas. Él recomienda el uso de un colorímetro (mismo que requiere que se corte la piel para exponer una pequeña cantidad de pulpa) para realizar pruebas en mangos en los huertos. Por ejemplo, un supervisor en el campo puede muestrear algunas secciones de la fruta valiéndose del colorímetro.

Al usar un mango con color de pulpa deseable, determinaría las cualidades externas de la fruta que con toda probabilidad sean indicios de madurez (la forma de los hombros, el color de la piel, en cierto lado del árbol, etc.). Posteriormente, el personal a cargo de la cosecha podría ser capacitado para buscar estos indicios a fin de identificar la fruta madura, de modo que un colorímetro no tendría que utilizarse todo el tiempo.

Debido a que el color amarillo interno del mango aparece en primeras instancias en el centro de la fruta y se expande conforme va madurando, los investigadores señalan que la industria necesita determinar en qué sitio específico en el mango, y a qué profundidad, se puede medir la pulpa para proveer resultados uniformes en las cinco variedades de mango que se comercializan en E.U.A.

- **El desarrollo de un método no destructivo para medir el color de la pulpa mediante el uso de mediciones ópticas puede brindar pistas adicionales acerca de la madurez de un mango.**

En términos científicos, las pruebas no destructivas para medir el color de la pulpa de un mango deben ser posibles mediante el uso de instrumentos tales como un espectrofotómetro (mide la luz visible por el ojo humano).

Los investigadores aseveran que es posible desarrollar un método para ayudar a determinar la presencia de compuestos como contenido de carotenoides (una fuente de vitamina A) en mango al evaluarse el color de su pulpa. En la actualidad, el único método no destructivo desarrollado para medir el color de la pulpa utiliza tecnología de infrarojo cercano (que mide la luz justo fuera del rango visible por la vista humana).

Este método indirecto mide el contenido de sólidos solubles, almidones y agua de la fruta. Los investigadores dicen que un número de sistemas comerciales automatizados de selección en línea por visión mecanizada están disponibles para la medición no destructiva del color de la piel, pero ninguno está disponible actualmente para la medición no destructiva del color de la pulpa.

- **Otra solución podría ser el desarrollo de una forma no destructiva de evaluar la composición interna del mango, como el uso de métodos de infrarojo cercano (NIR por sus siglas en inglés) para analizar el contenido de almidones y azúcares de fruta tanto inmadura como madura.**

Tanto los sistemas NIR como los de imágenes por resonancia magnética ofrecen maneras en que el mango se puede someter a prueba en forma no destructiva para evaluar su composición interna. La industria necesitaría determinar cómo la variedad, el área de producción, la temporada, y la temperatura de la fruta, podría afectar las calibraciones del sistema NIR. Asimismo, el método tendría que evaluarse para su aplicabilidad en las seis principales variedades de mango del mercado de E.U.A.

- **La Espectroscopía de Infrarojo Cercano (NIR) utiliza medidas de luz que no es visible por el ojo humano (luz que está justo fuera del rango de color visible para seres humanos) para evaluar la composición interna de la fruta.**

Dos tipos de método NIR han sido sometidos a prueba con el mango para evaluar su madurez.

- Las **Medidas de Interactancia** usan una sonda de fibra óptica que se oprime contra la fruta para ver la cantidad de luz absorbida a través de una porción de la pulpa, por lo general, a profundidades de aproximadamente 1 cm.
- Las **Medidas Reflectivas** usan luz reflejada sobre una superficie de la fruta sin tocarla, de tal manera que las medidas por lo general son más someras que las medidas de interactancia. Para que las medidas de reflectancia puedan predecir con precisión la madurez de la fruta, la pulpa debajo de la piel tendría que estar bien correlacionada con la composición de toda la fruta.

Ambos métodos han sido utilizados por investigadores para rastrear la calidad interna del mango mediante el análisis de la composición interna, como la cantidad de contenido de sólidos solubles y materia seca en un mango. Estas medidas no sólo evalúan la madurez de un mango, sino que a través de diversos modelos de calibración se pueden utilizar para predecir el contenido de sólidos solubles que una fruta tendrá cuando esté en estado de madurez. Sin embargo, los estudios demuestran que las calibraciones para materia seca, por ejemplo, no son las mismas para todos los cultivares.

- **La Resonancia Magnética (MR por sus siglas en inglés) y la Toma de Imágenes por Resonancia Magnética (MRI por sus siglas en inglés) utilizan irradiación electromagnética para evaluar la composición interna de la fruta.**

La MR y la MRI pueden “ver adentro” de un pedazo de fruta mediante la detección de áreas con un incrementado contenido de agua en los tejidos internos. Los investigadores determinaron que estas discrepancias en el tejido interno realzan los defectos como magulladuras, lesiones por congelamiento, y daños causados por insectos. Por ejemplo, según los estudios, los daños derivados del tratamiento térmico pueden aparecer como “cavidades llenas de aire”, en tanto un incremento de agua dentro de la fruta desde el centro hasta la superficie de la piel indicó una maduración gradual.

El MRI ha sido utilizado para evaluar el daño y la madurez en frutas como manzana y piña, pero se requiere más trabajo para determinar cómo la tecnología MRI podría rastrear la maduración en mango.

- **El desarrollo de una nariz electrónica o una e-nariz, podría utilizarse para determinar la madurez del mango por su aroma en el árbol antes de la cosecha.**

Al colocar fruta en un recipiente sellado durante varios minutos, los investigadores pueden identificar volátiles en la fruta en base al aroma que emite. Estas técnicas de e-nariz ya han sido utilizadas con diversas frutas como manzana, plátano, arándano azul, uva, durazno, naranja mandarina, y tomate.

Los investigadores determinaron que, además de realizar pruebas de madurez, la e-nariz también puede detectar defectos en la fruta, como daño por congelamiento o mecánico. Algunos estudios anteriores demuestran que la e-nariz ha sido eficaz en distinguir una variedad de mango de otra, y además ha podido diferenciar entre mangos verdes de calibres diferentes. Sería necesario realizar investigación adicional con respecto a la medición de madurez en cultvares comunes para E.U.A., pero este método no destructivo de prueba tiene potencial.

- **El desarrollo de un equipo portátil para evaluar la firmeza ofrecería una manera para monitorear la maduración del mango.**

Las pruebas destructivas de firmeza (como la realización de una prueba de presión mediante el uso de un penetrómetro, o una prueba de compresión exprimiendo una fruta hasta resquebrajarse o deshacerse) por mucho tiempo han sido la norma para medir la firmeza de las frutas. Sin embargo, varios métodos no destructivos que miden la elasticidad de la fruta están disponibles. Aunque estos métodos tienen potencial, no existen versiones portátiles de este equipo disponibles en el mercado comercial.

- Una medida de la firmeza involucra la **respuesta de aceleración**, misma en la que a la fruta se le dan golpecitos ligeros cuando se mueve por la línea de empaque para determinar su grado de firmeza (medido en base a la rapidez con la que un instrumento rebota de la fruta). La investigación ha determinado que una calificación promedio de la firmeza de impacto usando la respuesta de aceleración tiene una fuerte correlación con las calificaciones de una prueba de compresión.
- Otra medida de la firmeza involucra la **atenuación de ondas acústicas de ultrasonido** para determinar la firmeza. La investigación ha determinado que la habilidad que tienen los tejidos de la fruta de transmitir ultrasonido se ve afectada con la firmeza de la fruta. Una investigación sobre este método en mango Tommy Adkins determinó que la firmeza de la fruta está correlacionada con la medida promedio del tradicional penetrómetro destructivo.

#### **Mirando hacia el futuro:**

Las pruebas no destructivas del mango ciertamente justifican una evaluación más detallada debido a que dichos métodos de prueba ayudarían a asegurar que sólo el mango maduro se corta durante la cosecha, lo cual es elemento indispensable para proveer a los consumidores con fruta de alta calidad. La parte más significativa de esta investigación es el desarrollo de una norma objetivo para el color de la pulpa del mango a fin de utilizarla en la evaluación de la madurez del mango. Las pruebas no destructivas sin esta norma serían contraproducentes.

Una vez que se logre instrumentar una norma, la investigación demuestra que la tecnología actual ofrece una diversidad de métodos de prueba que podrían ayudar a racionalizar el proceso de cosechar y madurar el mango. La cosecha del mango a una madurez correcta (a criterio de los métodos de prueba no destructivos) ayudaría a reducir la merma, habilitaría a los procesadores para seleccionar y madurar los cargamentos correctamente, y apoyaría los esfuerzos de comercialización a lo largo del proceso. La NMB evaluará las tecnologías disponibles para la selección del mango de acorde con sus diferentes niveles de madurez para definir los siguientes pasos para esta área.