

Clasificación de racimos de fruta fresca en la planta de beneficio de aceite de palma utilizando técnicas y tecnologías avanzadas*

Fresh Fruit Bunches Classification at the Palm Oil Mill Using Advanced Techniques and Technology

CITACIÓN: Rashid, A. (2016). Clasificación de racimos de fruta fresca en la planta de beneficio de palma utilizando técnicas y tecnologías avanzadas. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 11-18.

PALABRAS CLAVE: racimos de fruta fresca, planta de beneficio, materia prima, procesamiento de datos.

KEYWORDS: Fresh fruit bunches, mill, raw material, data processing.

* Artículo original recibido en inglés y traducido por Sofía Lemaitre Cepeda.



**ABDUL RASHID BIN
MOHAMMED SHARIFF**

Profesor Adjunto, Departamento de
Ingeniería Biológica y Agrícola – Uni-
versidad de Putra en Malasia
Associate Professor, Department of
Biological and Agricultural Engineering
- Universiti Putra Malaysia
rashidpls@upm.edu.my

Resumen

Este estudio aborda la clasificación de los racimos de fruta fresca (RFF) de la palma de aceite en la planta de beneficio de aceite de palma. Los RFF son la única materia prima que da cuenta de la calidad y la cantidad de aceite, producto de las operaciones de molienda del fruto de la palma de aceite. Este estudio presenta el estado del arte sobre técnicas avanzadas y de vanguardia de los laboratorios de la Universidad de Putra en Malasia respecto de la clasificación de RFF. Se enfoca específicamente en las técnicas que utilizan color visible, hiperespectral e infrarrojo cercano, fluorescencia e imágenes térmicas. Brinda distintos métodos de procesamiento de datos, como redes neuronales, lógica difusa y algoritmos genéricos. Se incluye una discusión acerca de la comparación entre las precisiones logradas y las ventajas de los distintos enfoques. Se discuten dos prototipos de máquinas construidas con base en el color visible y las técnicas hiperespectrales. Este trabajo es de interés para ingenieros de plantas extractoras, empresas de palma de aceite, investigadores y la comunidad empresarial.

Abstract

This paper is about classifying the oil palm fresh fruit bunches (FFB) at the oil palm mill. FFB are the sole raw materials that account for the oil quantity and quality from the oil palm milling operations. This paper presents the state of the art techniques from the Universiti Putra Malaysia laboratories on the classifications of the FFBs. It focuses specifically on the techniques using visible color, near infra-red, fluorescence and thermal imaging. It provides different data processing methods such as neural networks, fuzzy logic, and generic algorithms. A comparison of accuracies achieved and the advantages of the different approaches are discussed. Two prototype machines built on the visible color and hyperspectral techniques are discussed. This work is of interest to mill engineers, oil palm companies, researchers and the business community.

Introducción

La palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) es originaria de África Occidental, en donde crecía silvestre y, posteriormente, se desarrolló en un cultivo agrícola. El cultivo de palma de aceite en Malasia aumentó a comienzos de la década de 1960 bajo el programa de diversificación agrícola del gobierno, que se introdujo para reducir la dependencia económica del caucho y el estaño. En Malasia las plantas de beneficio de aceite de palma se deben adaptar a retos como la escasez de mano de obra, la normativa ambiental y la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO, por sus siglas en inglés). Antes de emprender cualquier proyecto de planta de beneficio se requiere hacer una adecuada planificación de las inversiones para garantizar el éxito del desarrollo del proyecto.

Planteamiento del problema

Los métodos actuales de clasificación de los RFF en las plantas de beneficio se basan en la inspección visual de una muestra por carga de camión. Hay una debilidad obvia en este enfoque, como lo demuestran las disputas entre los compradores y vendedores. Este sistema de clasificación hace que los RFF inmaduros y duros entren al sistema de extracción, lo que provoca

un mayor desgaste que aumenta el costo de mantenimiento. Debido a la no separación de los RFF maduros y sobremaduros, la calidad del aceite también se ve afectada y esto tiene efectos perjudiciales tanto para la salud como para los márgenes de ganancia.

Objetivo

El principal objetivo de este trabajo es proponer un diseño para una planta de beneficio de aceite de palma que ofrezca soluciones al problema mencionado. Este diseño incluye un escáner automático que cumple la función de un calificador, un sistema de clasificación que hace la separación entre las diferentes calidades de RFF, y otras modificaciones y adiciones.

Tecnologías de escaneo de RFF de palma de aceite

Un componente importante de este nuevo diseño es la tecnología de escaneo automático de palma de aceite. A continuación describimos algunas tecnologías desarrolladas en el laboratorio de la Universidad de Putra en Malasia.

Tecnología de color visible

Meftah *et al.*, (2008) desarrollaron un sistema de clasificación automatizado para los racimos de palma de aceite con el modelo de colores rojo, verde y azul (RGB, por sus siglas en inglés). El sistema distingue entre las tres categorías diferentes de racimos de fruta de palma de aceite. El índice de madurez según el color se basa en las diferentes intensidades del color. Este sistema de clasificación emplea un computador y una cámara para analizar e interpretar imágenes en forma equivalente al ojo y el cerebro humanos. Se investigaron los colores, concretamente rojo, verde y azul (RGB), de los racimos de fruta de palma de aceite mediante este sis-

tema. El programa de computador desarrollado utilizó la intensidad media del color para diferenciar entre los distintos colores y grados de madurez de las frutas, como los RFF de palma de aceite. Los resultados del programa mostraron que la madurez de los racimos de fruta se podía distinguir entre diferentes categorías de racimos de fruta con base en la intensidad de RGB (Meftah *et al.*, 2008).

Tras investigaciones posteriores, se desarrolló un sistema de clasificación de las frutas y se presentó una solicitud de patente (PI 2010700069). La Figura 1 muestra la configuración física de un sistema de clasificación de madurez de fruta, mientras en la Figura 2 se aprecia los pasos de adquisición de imágenes del sistema.



Figura 1. Sistema de clasificación de madurez de la fruta.

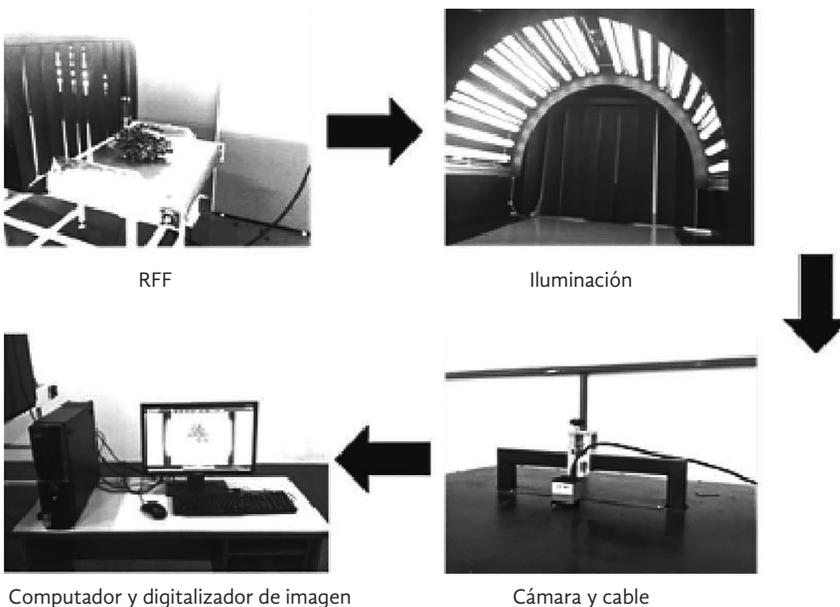


Figura 2. Pasos de adquisición de imágenes del sistema de clasificación de madurez de la fruta.

Tecnología hiperespectral y de infrarrojo cercano

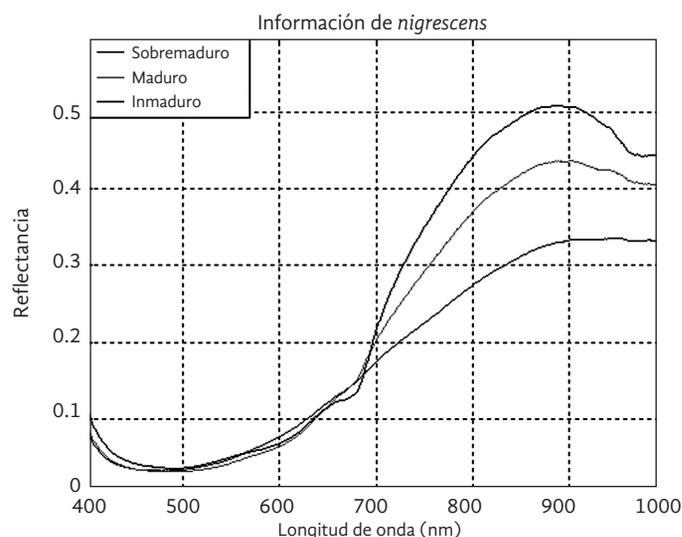
Se introdujo un sistema basado en imágenes hiperespectrales para detectar la madurez de los racimos de fruta fresca (RFF) de palma de aceite. Los RFF se escanearon con un dispositivo hiperespectral (Figura 3), y se registró la reflectancia en diferentes longitudes de onda. Un total de 469 RFF de palma de aceite (*nigrescens*, *virescens*, *oleifera*) se clasificaron como sobremaduros, maduros y verdes. Se midieron los atributos de las frutas en las regiones del intervalo de longitudes de ondas visibles e infrarrojo cercano (400 nm a 1.000 nm). La red

neuronal artificial (ANN, por sus siglas en inglés) clasificó las diferentes regiones de longitudes de onda en las frutas de la palma de aceite mediante el procesamiento *pixel-wise*. El modelo ANN desarrollado clasificó con éxito los RFF de palma de aceite en tres categorías de madurez (maduro, verde y sobremaduro). La precisión lograda por nuestro enfoque se comparó con la del sistema convencional que emplea la clasificación manual basada en las observaciones de un calificador humano. Nuestro enfoque de clasificación tuvo una precisión superior a 95 % para los tres tipos de frutas de palma. Los hallazgos de la investigación serán útiles para incrementar la calidad de la cosecha y la eficiencia en la clasificación de los RFF (O.M. Bensaeed *et al.*, 2014).

Figura 3. Vista esquemática del sistema de imágenes hiperespectrales con un racimo de fruta fresca en la cinta transportadora. (Tomado de O.M. Bensaeed *et al.* Clasificación de fruta de palma mediante un dispositivo hiperespectral y algoritmos de aprendizaje automático. Series de Conferencias IOP: Ciencias de la Tierra y Ambientales 20, 2014, 012017).



Figura 4. Perfil espectral en diferentes etapas de maduración de frutas de palma de aceite *nigrescens*. (Tomado de O.M. Bensaeed *et al.* Clasificación de fruta de palma mediante un dispositivo hiperespectral y algoritmos de aprendizaje automático. Series de Conferencias IOP: Ciencias de la Tierra y Ambientales 20, 2014, 012017).



Como muestra la Figura 4, las categorías de madurez verde, maduro y sobremaduro pueden diferenciarse entre las longitudes de onda de 800 nm y 1.000 nm.

Espectroscopia de fluorescencia

La fluorescencia se produce cuando un material capaz de producir fluorescencia (un fluoróforo) es excitado a un estado electrónico más alto mediante la absorción de un fotón incidente y no puede retornar al estado base, excepto mediante la emisión de un fotón. La emisión generalmente ocurre desde el nivel vibracional base del estado electrónico excitado y va a un estado vibracional excitado del estado electrónico base. Por tanto, las señales de fluorescencia se producen en longitudes de onda más largas que la absorbancia. Las energías y las intensidades relativas de las señales de fluorescencia dan información sobre la estructura y los entornos de los fluoróforos (Warwick, 2015).

La espectroscopia de fluorescencia se utilizó para clasificar el grado de maduración de los RFF de palma de aceite. Se recolectaron 188 muestras de RFF de una plantación privada en Malasia, según tres categorías de madurez: maduro, verde, sobremaduro. Cada muestra se escaneó al azar diez veces, por el frente y la parte posterior mediante un sensor de fluorescencia multiparamétrico Multiplex®3 de mano. El análisis estadístico mediante el análisis de varianza (ANOVA) y las pruebas por pares demostraron que ambos indicadores arrojaron diferencias significativas entre las categorías de madurez verde, maduro y sobremaduro.

Los resultados muestran que la espectroscopia de fluorescencia es un buen método para clasificar los RFF de palma de aceite. La más alta precisión general en la clasificación fue de 87 %, utilizando un modelo *Stochastic Gradient Boosting Trees* (Mohd Hafiz *et al.*, 2012).

Tecnología de imágenes térmicas

La teledetección térmica terrestre introdujo la técnica de detección térmica infrarroja en la utilización de imágenes térmicas. La radiación emitida desde el objetivo se convierte en imágenes con datos de la temperatura. Hay muchas investigaciones que utilizan imágenes térmicas en las aplicaciones agrícolas. Por ejemplo, Vadivambal, Chelladurai, Jayas y White (2011) detectaron las cebadas con brotes dañados mediante imágenes térmicas y encontraron que la temperatura promedio superficial de los granos de cebada sanos era menor que la de los granos con brotes dañados. Stajnko, Lakota y Hocevar (2004) llevaron a cabo otros experimentos con imágenes térmicas para predecir la producción de manzanas en un huerto durante la temporada de cultivo. En este estudio, las imágenes térmicas resolvieron el problema de utilizar imágenes en color para estimar el número de manzanas, ya que el color de las manzanas y el de las hojas es similar. Por otra parte, Varith, Hyde, Baritelle, Fellman y Sattabongkot (2003) determinaron con éxito las magulladuras en las manzanas bajo diferentes tratamientos mediante imágenes térmicas que, al detectar la temperatura, diferenciaron entre los tejidos magullados y los sanos.

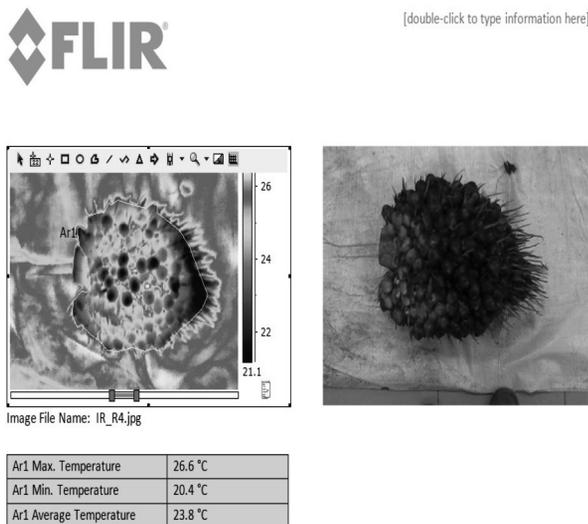
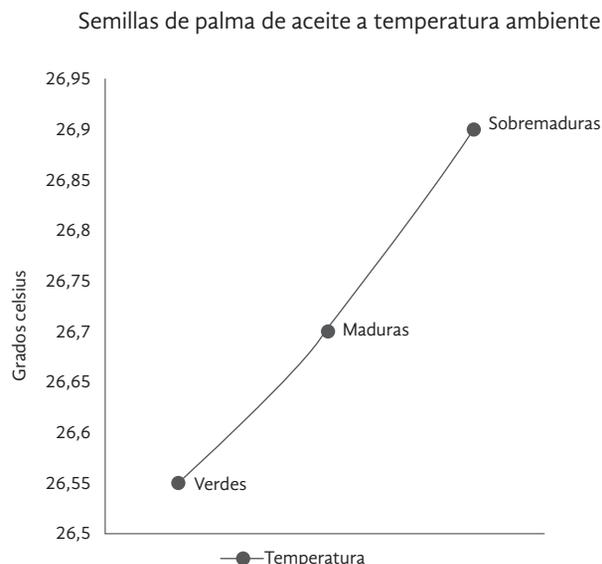


Figura 5. Temperatura media de imagen térmica de racimo de fruta fresca determinada por polígono dibujado en el informe creado por *FLIR Reporter* con la imagen térmica a la izquierda y la imagen digital correspondiente, a la derecha. (Tomado de Zolfagharnassab *et al.*, VII Conferencia Internacional sobre Agricultura Sostenible para los Alimentos, la Energía y la Industria en Contexto Regional y Global, ICSAFEI 2015, en prensa).

Figura 6. Tendencia de la temperatura para espiguillas de palma de aceite analizadas a temperatura ambiente. Nuestras investigaciones sobre la temperatura de RFF de palma de aceite (Figura 5) y de espiguillas de palma de aceite (Figura 6) muestran una relación entre el grado de maduración de la palma de aceite y su temperatura.



Integración de la tecnología de clasificación de RFF en las operaciones de la planta de beneficio de aceite de palma

Para obtener una mayor eficiencia y mejores resultados de las operaciones de extracción, la tecnología debe ser parte integral de la planta de beneficio. Esto puede lograrse mediante las modificaciones que se describen a continuación (Mohd Nazrul Azlan, 2013).

Rampa de carga

Los RFF que llegan a la planta de beneficio pasan por la rampa de carga. Estos RFF serán cargados mediante una banda transportadora al escaneador para su clasificación. Los RFF clasificados luego serán separados según la categoría determinada: inmaduro, verde, maduro y sobremaduro. Los RFF clasificados como maduros, verdes y sobremaduros serán cargados en otra rampa de carga para el siguiente proceso, en tanto que los RFF clasificados como inmaduros serán devueltos al proveedor.

La eficiencia del escáner fue de aproximadamente 20 racimos por minuto y el nivel de eficiencia, de alrededor de 95 %. En cuanto al cálculo para una planta de beneficio con capacidad de 40 toneladas por hora, la cantidad necesaria de RFF es alrededor de 15 tone-

ladas, con un máximo de 750 racimos y un peso promedio de aproximadamente 20 kg cada uno.

Esterilización

Planta de beneficio de aceite de palma vieja

Las plantas de beneficio viejas generalmente implementan un sistema esterilizador horizontal compuesto por una o dos puertas y requieren vagonetas para transportar los RFF al esterilizador. Para los RFF clasificados como maduros, la duración en el esterilizador es mayor en comparación con los RFF sobremaduros. La modificación efectuada en esta parte consiste en llevar a cabo el proceso de esterilización por separado para la categoría sobremaduros. La separación indirectamente ahorrará tiempo valioso para el proceso de esterilización en el que los RFF sobremaduros requieren menos tiempo en comparación con los RFF maduros.

Planta de beneficio de aceite de palma nueva

Las plantas de beneficio nuevas generalmente no utilizan vagonetas para cargar los RFF en el esterilizador, puesto que en el uso de esterilizadores más nuevos los continuos, oblicuos y de inclinación utilizan bandas transportadoras para ello.

Las ventajas del esterilizador oblicuo son: un ciclo de tiempo más rápido, la pérdida de aceite en el condensador es recuperable, menor consumo de vapor, menor producción de aguas residuales, mayor eficiencia, el uso de un sistema automatizado, reduciendo así el consumo de trabajo manual. El proceso de esterilización por separado para los RFF sobremaduros requiere un solo esterilizador.

Discusión

Aunque el diseño y la operación de separación de los RFF sobremaduros aún no es una práctica común en las plantas de beneficio de aceite de palma, debido a que el costo de construcción es mayor que el de una planta normal, garantiza la seguridad de los productos alimenticios que se elaboran. Nuestra investigación muestra que también dará lugar a una tasa de extracción de aceite (TEA) más alta. Los ingresos proyectados de la planta de beneficio que llevan a cabo la separación de los sobremaduros son mayores que los de las plantas con procesador normal. Esto se debe a que el aceite de palma crudo (CPO, por sus siglas en inglés) proveniente de los RFF maduros tiene mayor valor económico que el CPO normal, aunque el CPO de racimos sobremaduros separados es de menor calidad. Se estima que una planta de beneficio de 40 toneladas que practica la separación de los RFF sobremaduros podrá generar un ingreso adicional de RM 3.027.400 o USD 756.850 (1 USD = RM 4,00) por año sobre una planta de beneficio de aceite de palma convencional que procesa conjuntamente los RFF maduros y los sobremaduros.

Conclusiones

La actual tecnología de escaneo permite clasificar los RFF en diferentes categorías de madurez. Esta tecnología puede integrarse en una planta de beneficio de palma de aceite para ayudar no solo a producir aceite de palma crudo de mayor calidad, sino también a reducir sus costos de mantenimiento. Habrá también beneficios para la salud, resultantes de la mejor calidad del aceite de palma crudo. Una implementación bien planificada y sistemática de esta tecnología dará lugar a un aumento de la tasa de extracción de aceite (TEA), que son los objetivos nacionales de los países productores de aceite de palma.

Agradecimientos

Quiero manifestar mi agradecimiento a Cenipalma, el Centro de Investigación en Palma de Aceite de Colombia, por haberme invitado a hacer una presentación en esta conferencia. Estoy en deuda con mis compañeros e investigadores, quienes me han apoyado durante muchos años de esfuerzos de investigación en la planta de beneficio, la plantación y los laboratorios. En particular, deseo dar las gracias a Mohd Nazrul Azlan Bin Johari, Meftah Salem M. Alfatni, Mohd Hafiz Mohd Hazir, Shahrzad Zolfagharnassab, Vong Chin Nee, Mohd Din Amiruddin, Reza Ehsani, H.Jaffar, Ishak Aris, Ahmad Rodzi B. Mahmud, Helmi Shafri y a cada una de las personas que me ayudaron en esta investigación. Un agradecimiento especial a la Junta Malasia de Cultivadores de Palma de Aceite (MPOB, por sus siglas en inglés) y la Universidad de Putra en Malasia, que han apoyado mi investigación.

Referencias

- Meftah, Salem, M. Alfatni, Abdul Rashid, Mohamed Shariff, Helmi Zulhaidi, Mohd Shafri, Osama M. Ben Saaed and Omar M. Eshanta (2008). Oil Palm Fruit Bunch Grading System Using Red, Green and Blue Digital Number. *Journal of Applied Sciences*, 8 (8): 1444-1452.
- Mohd Hafiz, Mohd Hazir, Abdul Rashid, Mohamed Shariff, Mohd Din Amiruddin (2012). Determination of oil palm fresh fruit bunch ripeness—Based on flavonoids and anthocyanin content. *Industrial Crops and Products*, 36, 466-475.

- Mohd Nazrul, Azlan Bin Johari (2013). Final Year Bachelor Project Report. Supervisor: Abdul Rashid Bin Mohamed Shariff. *Oil Palm Mill Modification to Accommodate Sensing Technology*. Department of Biological and Agricultural Engineering. Universiti Putra Malaysia (Unpublished).
- O.M. Bensaeed , A.M. Shariff, A. B. Mahmud , H. Shafri, M. Alfatni (2014). Oil palm fruit grading using a hyperspectral device and machine learning algorithm. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*, 20 012017.
- Zolfagharnassab, S., Chin Nee Vong, A.R. Mohamed Shariff, R. Ehsani, H. Jaffar, I. Aris (2015). Comparison of Mean Temperature taken between Commercial and Prototype Thermal Sensor in Estimating Mean Temperature of Oil Palm Fresh Fruit Bunches. *The 7th International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry in Regional and Global Context, ICSAFEI 2015* (In press).
- Stajanko, D., Lakota, M., & Hocevar, M. (2004). Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31-42.
- Vadivambal, R., Chelladurai, V., Jayas, D., & White, N. (2011). Determination of Sprout-Damaged Barley Using Thermal Imaging. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13(2).
- Varith, J., Hyde, G., Baritelle, A., Fellman, J., & Sattabongkot, T. (2003). Non-contact bruise detection in apples by thermal imaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 211-218.