

Usos de las tecnologías de microondas y su asimilación potencial en la industria del aceite de palma*

Applications of microwave technologies and their potential assimilation in the palm oil industry

ONG THEAN HUAT; AB. GAPOR MD. TOP¹

RESUMEN

Las capacidades de penetración y de procesamiento selectivo de las microondas forman las bases de las tecnologías de microondas. El calentamiento por microondas es más benévolo para el medio ambiente que la mayoría de los métodos, y las aplicaciones han sido comercializadas en el mercado de hornos y en ciertas operaciones de procesamiento de alimentos. En el campo de la tecnología de extracción, la extracción por solvente por microondas [MSE] debe ser vigorizante justificadamente, teniendo el potencial considerable de convertirse en la tecnología para materiales que son difíciles de analizar o procesar convencionalmente. Se han reportado algunos estudios sobre las aplicaciones de tecnologías de microondas en ciertas actividades relacionadas con la industria del aceite de palma y es necesario que se lleve a cabo más trabajo para establecer estas aplicaciones. Áreas en las cuales las tecnologías de microondas se pueden adoptar o adaptar en una forma u otra, incluyen análisis del contenido de aceite, tecnologías de extracción, la producción de compuestos de alto valor agregado (por ejemplo, vitamina E, carotenos y fitoesteroles) y el procesamiento de oleoquímicos.

SUMMARY

The penetrative and selective processing abilities of microwaves form the bases of microwave technologies. Microwave heating is more environment-friendly than most methods and applications have been well commercialised in the consumer oven and in certain food processing operations. In the field of extraction technology, MSE should be justifiably invigorating; having the considerable potential conventionally. Some studies on the applications of microwave technologies in certain activities related to the palm oil industry have been reported and more works need to be done to establish these applications. Areas in which microwave technologies may be adopted or adapted in one way or another include the analysis of oil content, milling technology, the production of high value-added compounds (eg. vitamin E, carotenes and phytosterols) and the processing of oleochemicals.

Palabras claves: Microondas, Cocinado por microondas, Tratamiento térmico, Extracción, Aceite de palma.

Tomado de: PORIM Bulletin (Malasia) no.35, p. 12-26. 1997.

¹ Palm Oil Research Institute of Malaysia - PORIM. P. O. Box 10620, 50720 Kuala Lumpur, Malaysia.

INTRODUCCIÓN

Las microondas son un tipo de energía radiante que forman parte del espectro electromagnético entre las ondas de radio y el infrarrojo con el fin de aumentar la frecuencia (Copson 1975; Giese 1992) (Fig. 1 adaptada de Bueche 1965; Krieger et al. (s.f.); *La Nueva Enciclopedia Británica* 1989). Las frecuencias fluctúan entre 300 y 30.000 MHz (Copson 1975; Crossy Fung 1982). No se tiene información de que sean producidas por algún cuerpo celeste (Donahue et al. 1996). James Clark Maxwell, quien formuló un juego de ecuaciones que apoyaban todos los fenómenos electromagnéticos que luego fueron conocidos como las Ecuaciones de Maxwell, las descubrió en 1864 (Donahue et al. 1996).

Las microondas se utilizaron por primera vez para el radar en la II Guerra Mundial (1939-1945) (Donahue et al. 1996). El potencial de calentar alimentos con microondas fue desarrollado originalmente por Percy Spencer de la Corporación Raytheon poco después de la II Guerra Mundial (Schiffman 1992a). El primer horno para servicio de alimentación, Radarange™, pasó a ser disponible en 1947 (Schiffman 1992a), mientras que Tappan, en 1955, introdujo el primer horno para consumidores, bajo licencia de Raytheon (Cross y Fung 1982). El calentamiento industrial por microondas tuvo su origen cuando se le otorgó la primera patente para un microondas transportable a Percy Spencer en 1952 (Spencer 1952). Sin embargo, el primer adelanto importante fue el desarrollo de grandes aperturas de cavidad y sistemas de reducción realizado por Cryodry en 1962 (Schiffman 1992a).

La investigación y el desarrollo de las microondas está creciendo y las microondas encuentran aplicaciones en comunicaciones, percepción y el uso de la energía. Este artículo revisa el progreso de las tecnologías de microondas en un intento por adaptar aplicaciones apropiadas e identificar aplicaciones potenciales para la industria del aceite de palma.

PRINCIPIOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE MICROONDAS APROPIADAS

Las microondas irradian hacia fuera desde una fuente (Giese 1992) e igual que las ondas de luz visibles, se mueven a $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ en el espacio vacío (Copson 1975; Donahue y et al. 1996). Se pueden reflejar, absorber, transmitir, refractar, enfocar y proyectar a lo largo de tubos huecos (guías de ondas) (Copson 1975; Singh y Heldman 1991; Giese 1992) o conducirlos de un lugar a otro por cables coaxiales (Copson 1975).

La capacidad de penetrar materiales sin dañarlos o ionizarlos (Cross y Fung 1982; Singh y Heldman 1991) hace que las microondas sean especialmente útiles en composición y estructura de percepción y en el transporte de energía (Anónimo 1 (s.f.)).

Percepción por microondas

La percepción por microondas depende del hecho de que las microondas son alteradas y/o reflejadas según las características de los materiales que golpean, y estos cambios se pueden detectar y analizar utilizando

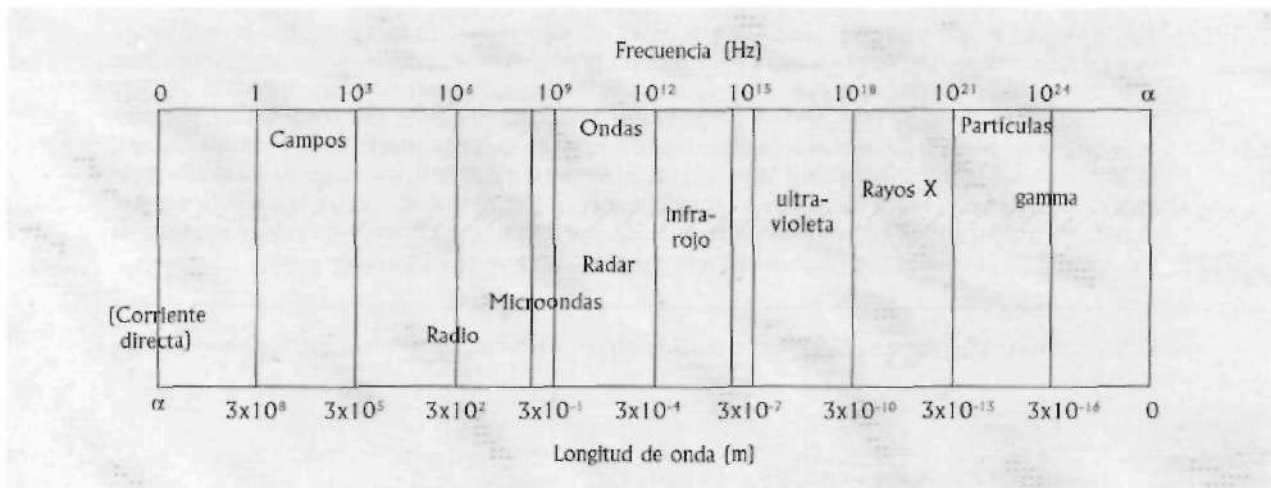


Figura 1. Posición de las microondas en el espectro electromagnético.

programas de computador especiales para proporcionar información útil sobre los materiales (Anónimo 1 (s.f.)).

Esta técnica utiliza energía más baja y puede determinar:

- contenido de humedad, densidad y concentraciones del componente (por ejemplo, grasa o proteína)
- densidad y homogeneidad de los materiales (por ejemplo, nudos en los postes de madera)
- profundidad de capas e información estructural para materiales en capas
- penetración y concentración de preservativos en la madera
- diferentes tipos de materiales no conductivos (por ejemplo, plásticos) (Anónimo 1 (s.f.)).

Calentamiento por microondas

Los materiales responden a las microondas mediante la polarización de la rotación de dipolo (o absorción) (Copson 1975), calentamiento resistivo (u óhmico) y calentamiento electromagnético (o inducción); ya sea un mecanismo exclusivamente o en una combinación) (Anónimo 2 (s.f.)). El calentamiento dieléctrico es una función de rotación de dipolo y el calentamiento resistivo (Anónimo (s.f.)).

En la rotación de dipolo, las moléculas polares oscilan en respuesta al campo eléctrico (Copson 1975). En el caso del agua, esto resulta en la rotura de los enlaces de hidrógeno entre moléculas vecinas (Mudgett 1989) y genera calor por la "fricción molecular" (Stein 1972; Harlfinger 1992).

Materiales que experimentan calentamiento resistivo (o I^2R) incluyen aquellos que tienen electrones libres o pares de huecos electrones (por ejemplo, carbono, carburo de silicio, silicio de grado semiconductor y arsenido de galio), iones con suficiente libertad de movimiento (Mudgett 1989; Giese 1992) y radicales en soluciones electrolíticas o matrices sólidas (Anónimo 2 (s.f.))-

El calentamiento electromagnético ocurre cuando polos magnéticos en materiales con significativa susceptibilidad magnética (por ejemplo, minerales tales

como níquel, cobalto e hierro (Mudgett 1989) u óxidos rotan similarmente a moléculas polares cuando se exponen a energía de microondas (Anónimo 2 (s.f.)).

Los principios de la termodinámica del calentamiento por microondas han sido discutidos (Copson 1975; Mudgett 1986a; Schiffman 1986; Singh y Heldman 1991).

EQUIPO DE CALENTAMIENTO POR MICROONDAS

La proliferación del horno para el consumidor en los Estados Unidos, donde más del 90% de los hogares tienen por lo menos uno (Baum 1992; Barringer et al. 1994), ha hecho de la energía de microondas para el procesamiento de alimentos un concepto aceptado (Edgar 1981). No existen diferencias nutricionales significativas entre alimentos preparados por métodos convencionales y por microondas (Cross y Fung 1982). Este método de procesamiento se considera el más rápido para recalentar productos alimenticios (Tsuyuki 1982).

Un horno de microondas tiene cinco componentes básicos: suministro de energía, magnetron, guía de ondas, mezclador y cavidad (o aplicador) (Copson 1975; Singh y Heldman 1991). El suministro de energía convierte la potencia eléctrica de la línea en alto voltaje de varios miles de voltios de corriente directa requerida por el magnetron (Copson 1975; Singh y Heldman 1991).

El magnetron, clistrón u otro tubo oscilador de este tipo, dependiendo de la aplicación, se emplea para generar energía de microondas (Copson 1975). El modo del campo es el patrón en el cual los componentes eléctricos y magnéticos del campo están ordenados en la guía de ondas (Swift et al. 1980). La longitud de la guía de ondas es decisiva para determinar el envío eficaz de la energía de microondas (Giese 1992). La energía se irradia desde una antena o director hacia la carga (Copson 1975) en aplicaciones de percepción.

El mezclador es un dispositivo rotatorio que dispersa energía transmitida dentro de una cavidad de horno (Singh y Heldman 1991; Donahue et al. 1996). Múltiples

La investigación y el desarrollo de las microondas está creciendo encuentra aplicaciones en comunicaciones, percepción y el uso de la energía.

entradas de guía de ondas también pueden distribuir energía más equitativamente, mientras que mesas giratorias pueden mover los productos a través de regiones de intensidad de campo no uniforme (Mudgett 1989; Anónimo 2 (s.f.)).

La cavidad encierra el material que se va a calentar dentro de paredes metálicas que reflejan la energía en muchas direcciones (Singh y Heldman 1991; Giese 1992; Donahue et al. 1996). Las cavidades se pueden colocar en categorías entre la cavidad de múltiples modos y la cavidad resonante (Anónimo 2 (s.f.)). En la primera, normalmente utilizada en hornos para el hogar y hornos industriales por tandas o continuos, muchos modos de propagación proporcionan buena uniformidad de calentamiento. Una cavidad resonante se fabrica específicamente para un producto en particular, ya que su geometría sólo aguantará microondas de una cierta frecuencia generadas por una fuente de energía baja en ondas (Anónimo 2 (s.f.)). La longitud de onda tiene influencia en el tamaño de una cavidad con la longitud de la pared de la cavidad en la dirección de la propagación de ondas, siendo mayor que la mitad de una longitud de onda y cualquier múltiplo de una mitad de onda (Singh y Heldman 1991).

Los medios de percepción infrarroja pueden vigilar la temperatura del producto (superficie) con el fin de regular la entrada de energía (Decareau 1986; Guise 1992). Ensamblajes térmicos pueden determinar si un producto ha logrado una dispersión uniforme de la temperatura en todas las partes (Guise 1990).

Productos grandes (Schiffman 1986) se procesarían mejor en sistemas con transportadores que tienen la ventaja adicional de proporcionar mayor calentamiento uniformemente (Giese 1992). Enfocar la energía directamente en una área pequeña por vía de guías de ondas extendidas, garantiza una eficiencia óptima y una larga vida para el magnetron (Schlegel 1992).

Los componentes de las microondas se están volviendo menos costosos (Giese 1992) debido a los diseños modulares que utilizan magnetrones de alta confiabilidad, fabricados en cantidades voluminosas (Mudgett 1989).

CARACTERÍSTICAS DEL CALENTAMIENTO POR MICROONDAS

El calentamiento por microondas/volumétrico (Decareau 1986) depende de muchos factores, incluidos la frecuencia e intensidad del campo, la temperatura, las propiedades dieléctricas, la homogeneidad y la consistencia, el calor específico, la forma, el tamaño y la estructura (Swift et al. 1980; Cross y Fung 1982; Mudgett 1986a; Rosenberg y Bogl 1987a; Schiffman 1987; Mudgett 1989; Decareau 1991; Harlfinger 1992). Las propiedades dieléctricas a su vez son afectadas por la frecuencia, la temperatura (Schiffman 1987), el contenido de sales, de humedad (Giese 1992) y de sólidos (Mudgett 1986a) y la densidad (Schiffman 1986).

La constante dieléctrica refleja la capacidad de un material de absorber energía electromagnética (Mudgett 1986a, 1989; Singh y Heldman 1991; Giese 1992). Ella da una indicación de la separación espacial del dipolo molecular (Swift et al. 1980; Giese 1992). La conversión de una energía electromagnética externamente aplicada en calor, en un dieléctrico, se denomina la pérdida dieléctrica o factor de pérdida (Copson 1975; Mudgett 1986a, 1989; Singh y Heldman 1991; Giese 1992). La razón entre la pérdida dieléctrica y la constante dieléctrica, definida como la tangente de pérdida, está relacionada con la capacidad de un material de ser penetrado por un campo eléctrico y de disipar energía eléctrica como calor (Mudgett 1986a; Singh y Heldman 1991). Esta razón es una medida del cambio angular de una molécula polar cuando un campo eléctrico cambia de dirección (Cross y Fung 1982).

La conversión de energía de microondas a calor se puede aproximar con la ecuación:

$$P_D = 55,61 \times 10^{-14} E^2 \epsilon' \tan \delta$$

en donde: P_D es el poder de disipación en vatios/cm³; E es la fuerza del campo eléctrico en voltios/cm; f es la frecuencia en Hz; ϵ' es la constante dieléctrica relativa (al espacio libre) y $\tan \delta$ es la tangente de pérdida (Singh y Heldman 1991).

No existen
diferencias
nutricionales
significativas
entre alimentos
preparados por
métodos
convencionales y
por microondas.

Debido a que las frecuencias de microondas están cercanas a las frecuencias de radio y pueden traslapar el alcance del radar (Giese 1992), la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) reglamenta su uso en los Estados Unidos (Copson 1975; Cross y Fung 1982; Singh y Heldman 1991). La Comisión Federal de Comunicaciones ha asignado cuatro frecuencias industriales, científicas y médicas (ISM) que se conforman con los Reglamentos Internacionales de Radio adoptados en Ginebra en 1959. Las frecuencias son:

915	±	25 MHz,
2.450	±	50 MHz,
5.800	±	75 MHz,
22.125	±	125 MHz



Las primeras dos han sido diseñadas para uso en equipos de calentamiento industrial y la preparación de alimentos domésticos (Cross y Fung 1982; Giese 1992).

La profundidad de la penetración es inversamente proporcional a la frecuencia (Schiffman 1986) y a la constante dieléctrica (Rosenberg y Bogl 1987a). A temperaturas más bajas, la penetración de la energía es aproximadamente dos a tres veces mayor a 915 MHz que a 2.450 MHz (Rosenberg y Bogl 1987a; Mudgett 1989; Guise 1990). Para obtener mejores resultados en el procesamiento de alimentos, las longitudes de onda deben ser del mismo tamaño que el objeto que se está calentando (Copson 1975; Swift et al. 1980). Para materiales más grandes que la orden de dimensiones de las ondas se obtiene un calentamiento más uniforme en profundidad en la longitud de onda más larga debido a la mayor penetración (Copson 1975; Decareau 1986; Schiffman 1986; Rosenberg y Bogl 1987a; Mudgett 1989; Singh y Heldman 1991). Por lo general, materiales muy grandes, tales como bloques de pescado congelado de 60 libras, para ser descongelados quizás sería mejor procesarlos a 915 MHz (Rosenberg y Bogl 1987a), ya que a 2.450 MHz a menudo ocurre recalentamiento de la superficie (Decareau 1986; Mudgett 1989; Giese 1992).

Además de una penetración más profunda, el costo por kW de energía de las microondas a 915 MHz es alrededor del 70% de su costo a 2.450 MHz (Guise 1990). La geometría a 915 MHz favorece en enfriamiento del

magnetron, haciendo más fácil diseñar la alta energía (Copson 1975). La eficacia a 75 a 80% también es muy alta y el costo de reemplazar magnetrones es menor porque son refabricables (Guise 1990).

Al inyectar microondas, tanto desde arriba como desde abajo de las correas transportadoras, se puede lograr más penetración y uniformidad en el calentamiento (Hulls 1982; Decareau 1986; Guise 1990; Harlfinger 1992; Schleger 1992), ya que la distribución resultante es aditiva en materiales gruesos (Copson 1975). La inconsistencia o la reducción en el calentamiento causado por productos alimenticios en contacto (Giese 1992) también se debe reducir.


Mientras mayor sea el contenido de humedad y de sales, más superficial será la profundidad de la penetración y por consiguiente menos uniforme será el calentamiento


A medida que las temperaturas dentro de un producto aumentan, las áreas cerca de las superficies del producto absorben más energía ("efecto de piel") a 2.450 MHz que a 915 MHz (Mudgett 1986a), debido a cambios en las características dieléctricas. La constante dieléctrica de un material es proporcional a su densidad (Schiffman 1986). Materiales con densidades o capacidades de calor más bajas pueden inducir tasas más altas de elevación de temperatura para un nivel dado de absorción de energía, que materiales con contenidos de humedad más altos (Mudgett 1986a), a excepción de muestras de agua (debido a las ondas reflejadas internamente Barringer et al. 1994) con radios inferiores a 2,4 cm. Sin embargo, un calor específico más alto

puede resultar en un calentamiento uniforme mediante el retraso de la tasa de calentamiento (Schiffman 1986).

Por lo general, mientras mayor sea el contenido de humedad y de sales (o iones), más superficial será la profundidad de la penetración (Giese 1992) y por consiguiente menos uniforme será el calentamiento (Swami y Mudgett 1981). Productos con bajos contenidos de sales o humedad y altos en sólidos sostienen penetraciones más profundas y por lo tanto se pueden procesar en porciones más grandes (Mudgett 1989).

A medida que un producto se vuelve más seco, las áreas más húmedas, muy a menudo, absorben energía de microondas preferencialmente y se ve un efecto de nivelación de la humedad. Este efecto puede ser muy útil en operaciones de secado (Anónimo 1986; Schiffman

1986). El secado por microondas es más efectivo con contenidos de humedad del producto por debajo del 20% (Mudgett 1989). Usualmente, (a) a un más alto contenido de humedad, más alta será la constante dieléctrica, (b) la pérdida dieléctrica por lo general aumenta al aumentar el contenido de humedad, pero se nivela a un valor en el rango de 20 ~ 30% y puede disminuir a niveles aún más altos, y (c) la constante dieléctrica de una mezcla yace entre aquellas de sus componentes (Tinga 1970).

La esfera es la forma ideal para el calentamiento por microondas, y el cilindro es la forma que le sigue como mejor para dicho calentamiento (Decareau 1992). Keenan (1983) ha demostrado que los efectos del calentamiento central dependen no sólo de la frecuencia de procesamiento, sino también del diámetro y conductividad del producto.

Las investigaciones sobre las características de alimentos de microondas han proporcionado una base para modelar patrones de calentamiento por microondas (Decareau 1986; Mudgett 1989). En la práctica, la selección de frecuencia y la reducción de la tasa de calentamiento (para permitir que la conductividad termal ayude a la distribución de la temperatura) se utilizan para manejar el calentamiento no uniforme (Schiffman 1986). La pulsación debe promover un calentamiento más uniforme para un producto (Copson 1975; Edgar 1981; Thomas et al. 1992), aunque también puede producir temperaturas más altas en el centro de las bandejas de alimentos (Schlegel 1992). Cargar la cavidad con un volumen suficiente del producto puede perfeccionar la eficacia de la transferencia de energía (Mudgett 1986a). Los mecanismos de transferencia de calor convencionales y por microondas han sido discutidos (Holman 1976; Metaxas y Meredith 1983; Mudgett 1985a, 1985b, 1986a, 1986b).

El calentamiento por microondas se puede llevar a cabo bajo una atmósfera de nitrógeno (Sale et al. 1970) o una atmósfera modificada (Giese 1992; Harlfinger 1992). Algunos usos, donde el producto es sensible al calor, han probado ser efectivos cuando se utilizan con vacío (Hulls 1982; Mudgett 1989). Para evitar el sobrecalentamiento y para completar el proceso, los productos se pueden mantener unos pocos grados más

altos (para evitar pérdida de calor) utilizando calentamiento convencional (Guise 1990).

La energía de microondas para el calentamiento central interno usualmente se combina con vapor, aire caliente u otras fuentes convencionales de calentamiento para calentamiento periférico (Copson 1975), ya sea en varios pasos, como en el secado de pasta, o simultáneamente (Mudgett 1985b, 1989; Decareau 1986; Giese 1992; Harlfinger 1992; Schiffman 1992a). Tales combinaciones, por lo general, reducirán los costos, ya que estos otros medios usualmente son menos costosos y las combinaciones a menudo son sinérgicas (Schiffman 1992a). Dependiendo del material alimenticio, el calentamiento convencional se utiliza para producir el dorado, fácil secado, reducir bacterias de la superficie (Mudgett 1989), o precalentar el producto (Giese 1992). Para cocinar previamente el tocino con microondas se utiliza aire caliente para ayudar a retirar la humedad (Mudgett 1989). El procesamiento con microondas también puede reducir el endurecimiento superficial (o "endurecimiento de la cubierta"), como en el secado de pasta (Mudgett 1989).

*En vista de que
las microondas
solamente
calientan el
producto y no
el aire adentro,
menos energía
se desplaza al
ambiente local.*

El procesamiento por microondas ofrece varias ventajas sobre el calentamiento convencional, específicamente; calentamiento selectivo, velocidad, comodidad, ahorros en energía y espacio, precisión, calidad y rendimientos más altos, reducción en los requisitos de mano de obra, costos de mantenimiento y problemas de sanidad y contaminación y mejor control del proceso (Cremer 1981; Edgar 1981; Mudgett 1982; Decareau 1985; Schiffman 1986; Rosenberg y Bogl 1987a). Varias fuentes han reportado ahorros de tiempo de 10 ~ 90% (Van Zante 1973; McConnell 1975; Wilson 1976; Annis 1980; Moore et al. 1980). Aumentos en el rendimiento del 50 ~ 100% son razonables (Schiffman 1992a). En vista de que las microondas solamente calientan el producto y no el aire adentro, menos energía se desplaza al ambiente local, ya que las instalaciones permanecen más frescas (Edgar 1986). Si el calentamiento es uniforme, el procesamiento rápido mediante microondas conduce a una degradación termal promedia inferior (Giese 1992) durante el tiempo de elevación (Datta y Hu 1992). Tal exposición termal baja de los alimentos tratados por microondas es ventajosa en la pasteurización y esterilización

Tabla 1. Aplicaciones típicas del procesamiento comercial de alimentos por microondas.

Aplicación	Frecuencia (MHz)	Energía (kW)	Calor Convencional	Productos
Descongelar	915	30 ~ 70	Ninguno	Carne, pescado, aves, frutas, mantequilla
Secar	915 ó 2.450	30 ~ 50	Aire caliente o infrarrojo	Pasta, cebollas, jugos de fruta, refrigerios, granos, semillas
Precocción	915	50 ~ 240	Aire caliente o vapor	Tocino, aves, salchichas, hamburguesas, sardinas
Pasteurización/Esterilización	2.450	10 ~ 30	Aire caliente	pasta fresca, leche, yoghurt, comidas preparadas, comidas empacadas en bolsas, comidas semisólidas, pan tajado

(Rosemberg y Bogl 1987b; Harlfinger 1992; Schlegel 1992).

USOS ACTUALES

La industria de las comunicaciones utiliza microondas en teléfonos celulares, teléfonos, telégrafo, televisores y satélites (Donahue et al. 1996).

Aplicaciones actuales que utilizan ondas reflejadas incluyen alarmas contra robo (Donahue et al. 1996), percepción remota, vigilancia de migraciones de insectos y pájaros, supervisión de la velocidad del flujo de granos (Kraszewski 1994) y sensores anticolidión. Los sistemas de aterrizaje para aviones y satélites de navegación global también pueden utilizar microondas (Donahue et al. 1996).

La característica de calentamiento volumétrico de las microondas las convierte en una fuente atractiva de energía (Barringer et al. 1994) en varias operaciones de procesamiento de alimentos, como ablandar alimentos congelados, secar pasta, refrigerios y productos agrícolas, precocinar carnes y pasteurizar/esterilizar comidas preparadas (Decareau 1986; Mudgett 1989; Giese 1992). Detalles sobre dichas aplicaciones se enumeran en la Tabla 1 (adaptada de Mudgett 1989; Giese 1992; Schiffman 1992a).

En la literatura, el actual uso industrial no alimenticio de energía de microondas aparentemente es bastante limitado, ya que las compañías involucradas no divulgan dicha información al público (Decareau 1986). La aparente baja tasa de adopción ha sido atribuida a los costos (Edgar 1981; Hulls 1982), falta de información (Mudgett 1989) y preocupaciones de seguridad (Schiffman 1992b).

Una operación pertinente se puede encontrar en el curtido de moldes de caucho (Hulls 1982), en donde el calentamiento rápido por todo el producto es ideal para reacciones de polimerización (Lewis et al. 1989).

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE APLICACIONES

Las microondas de alto poder de altitud se pueden desarrollar y utilizar para comunicaciones y dirección de rayos láser (Donahue et al. 1996).

Kent (1987) ha reportado valores de características eléctricas y dieléctricas para las propiedades dieléctricas de microondas de veintitrés frutas y verduras por encima del rango de frecuencia de 0,2 a 20 GHz. Tales propiedades son buenos indicadores del contenido de humedad que posiblemente se pueden percibir rápidamente y en forma no destructiva (Nelson et al. 1994b).

Kraszewski (1994) ha revisado las aplicaciones de percepción de bajo poder como el contenido de humedad y densidad de granos, humedad en almendras individuales y determinaciones de masa. Nelson et al. (1994c) han establecido medios potenciales para diferenciar estados de madurez en duraznos en experimentos iniciales que correlacionan las diferencias en características del tejido con mediciones dieléctricas.

Las microondas pueden calentar próstatas agrandadas matando el tejido extra, desinfectar desperdicios de hospitales y mejorar solventes de lavado en seco (Donahue et al. 1996). Mejores técnicas de procesamiento pueden desintegrar contaminantes del aire, destruir el 99,9% de los pentaclorofenoles en la

tierra contaminada y tratar el lodo radioactivo inicialmente mediante el retiro del agua (Anónimo 4 1994). Metales preciosos se pueden recuperar de viejos circuitos eléctricos y los residuos se pueden derretir (Anónimo 4 1994). Otras aplicaciones de calentamiento incluyen la producción de calcopirita, un semiconductor hecho de cobre (Donahue et al. 1996), y la fusión de cerámicas (Hulls 1982).

Se ha reportado que los tiempos de reacción de muchas síntesis orgánicas han sido reducidos considerablemente utilizando microondas (Lewis et al. 1989; Giguere et al. 1992). Hafez et al. (1989) han reportado que la energía de microondas ha inducido varias reacciones químicas. Materiales y químicos se pueden extraer y utilizar para análisis (Donahue et al. 1996) rápidamente, como en las últimas preparaciones de muestras de microondas para mediciones de ICP, AAS y UV.

El calentamiento rápido de frutas y verduras a la temperatura de inactivación (blanqueo) mediante microondas puede controlar y frenar las reacciones enzimáticas sin las pérdidas de lixiviación asociadas con el agua caliente (Proctor y Goldblith 1948) o vapor (Anónimo 31986). Avisse y Varoquaux (1977) han reportado que el blanqueo de duraznos enteros en un horno doméstico de microondas proporcionó suficiente inactivación de las enzimas.

El tratamiento por microondas de semillas de soya para inactivación de la lipoxigenasa requirió menos tiempo y retuvo mayor solubilidad de las proteínas (Wang y Toledo 1987). Tal aplicación de blanqueo relativamente exitosa (Kling(I)er y Decker, 1989) también se ha reportado para tomates enteros (Poretta y Leoni 1989). Se ha hecho una solicitud para obtener la patente que describe la aplicación alterna posible de pulsos de microondas y enfriamiento para realizar reacciones bioquímicas y químicas (incluida la inactivación de microorganismos y enzimas) a tasas de reacción mucho más altas, mientras que se limitan los aumentos de temperatura de los materiales tratados (Boony Kok 1987).

Kaczmarek y Sobiech (1973) reportaron que hongos secados por microondas eran superiores a los secados

convencionalmente en cuanto a su aroma, sabor y absorción de agua. El secado al vacío de semillas de soya por microondas en plantas pilotos se ha intentado en los Estados Unidos (Short 1982).

Tanto los estudios de laboratorio como los de plantas pilotos han demostrado que el calentamiento por microondas es efectivo para preservar la calidad de las semillas de algodón durante el almacenamiento, sin efectos adversos iniciales sobre la semilla con respecto a cualidades del aceite y la torta (Conkerton et al. 1994).

Otros desarrollos relacionados incluyen el calentamiento selectivo para el control de insectos en granos almacenados (Rosenberg y Bogl 1987b) que fue más efectivo bajo condiciones más secas (Nelson 1966; Watters 1976), y determinación de humedad mediante el secado (Kraszewski 1994).

Se ha reportado que tostar los granos de cacao da rendimientos más altos (Faillon et al. 1977) y también reduce la contaminación por humo (Mudgett 1989).

Leskovsek et al. (1994) reportaron que las tasas de reacción en la hidrogenación de traslado catalítico de aceite de soya se elevaron hasta ocho veces más utilizando microondas que el calentamiento convencional a temperaturas para volúmenes comparables.

Se ha reportado que el tratamiento por poco tiempo de la semilla de colza para causar cambios microestructurales, puede facilitar la extracción del aceite (Maheshwari et al. 1981). En la preparación de aceites de oliva aromatizados con ajo, la extracción del disulfuro de dialil, el componente más abundante y característico del aroma del ajo utilizando

una técnica de microondas, resultó ser cinco veces más rápido que con los métodos tradicionales en los primeros cinco minutos de tratamiento (Di Cesare et al. 1993). Los tiempos de inducción de oxidación también fueron más largos, comparados con aceites no aromatizados.

Los tiempos de extracción empleados por un método de solvente de microondas fueron casi 100 veces menores que aquellos realizados por métodos tradicionales (Soxhlet ofrasco-de-agitar) en la recuperación de varios

*Las microondas
pueden calentar
próstatas agran-
dadas matando
el tejido extra,
desinfectar
desperdicios de
hospitales y
mejorar solven-
tes de lavado en*

tipos de componentes del suelo, alimentos y forrajes (Ganzler et al. 1986; Ganzler y Salgo 1987). Básicamente, la eficacia de la extracción de un solvente se aumenta elevando rápidamente el punto de ebullición bajo presión. Debido a los tiempos más cortos de extracción, se obtuvieron recuperaciones mucho más altas para moléculas termo-lábil como gossypol (65%), vicina y convicina (de 25 a 40%).

Hasty y Revesz (1995) han reportado que la extracción por microondas en recipiente cerrado de solvente (MSE) de hidrocarburos de petróleo de suelo contaminado es una alternativa segura y comparable a los métodos estándar Soxhlet, pero a tiempos de extracción significativamente reducidos (de 7 horas a 30 minutos) y volúmenes de solvente (100 a 300 ml/muestra). Se ha informado que una modificación de este método de extracción es capaz de revolucionar completamente y mejorar la tecnología de extracción, reduciendo enormemente el uso de solventes, tiempo de extracción, desperdicios y energía (Copps 1995). La extracción de aceites fragantes se puede realizar con una reducción del 90% en el uso de solventes, una reducción del 95% de energía y una reducción del 98% del tiempo (Copps 1995). Se ha instalado una planta piloto para evaluar aplicaciones de protección ambiental a gran escala de esta tecnología, como la limpieza de suelos contaminados.

ESTUDIOS SOBRE APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DEL ACEITE DE PALMA

Se ha reportado la determinación del tiempo de cosecha de los frutos de la palma de aceite mediante un sensor de microbanda que también comprobó ser adecuado para valorar la calidad de los frutos que llegan a la planta de procesamiento (Khalid y Abbas 1992). Un estudio adicional reveló que es posible pronosticar la madurez de los frutos de la palma de aceite mediante sus características dieléctricas. A una frecuencia por encima de 3 GHz, un modelo de mezcla puede calcular adecuadamente la variación de estas propiedades con contenido de humedad de mesocarpio machacado (Khalid et al. 1996).

Cheah et al. (1991) y Thomas et al. (1992) han reportado que la penetración de microondas (a 2.450

MHz) en racimos de fruta fresca en estudios de esterilización fue baja. Los racimos enteros pueden necesitar la capacidad de penetración más honda de microondas a 915 MHz y no un nivel más alto de entrada de energía, según lo sugieren Thomas et al. (1992). Se ha reportado que el procesamiento en múltiples etapas (calor @

banda @ calor @ banda) de una sección de un racimo de fruta fresca, en presencia de agua, reduce el sobrecalentamiento (Cheah et al. 1991). Thomas et al. (1992) descubrieron que las frutas secadas con microondas estaban libres de crecimientos de moho, aun después de tres meses de almacenamiento, y el desarrollo de ácidos grasos libres también fue insignificante.

El aceite obtenido de frutas esterilizadas con microondas estaba dentro de las especificaciones (Cheah et al. 1991; Gopalakrishnan y Thomas 1992) y tiene buena calidad para almacenamiento (Thomas et al. 1992). En el estudio llevado a cabo por Gopalakrishnan y Thomas (1992), la degradación de los carotenoides en el proceso seco posiblemente se debía a

calentamiento intenso durante las operaciones de esterilización y secado. Se ha reportado que el problema del tratamiento del efluente no está presente en el proceso seco (Thomas et al. 1992). Es previsible que estas operaciones, si se escalan hacia arriba, estarán utilizando aire sin calentar (Fanslow y Saul 1971) en combinación con las microondas menos intensas de 915 MHz. Se pueden examinar los estudios sobre el calentamiento por microondas para la hidrogenación de destilado de ácido graso de la palma a ácido esteárico de grado de caucho. Tal uso de energía de microondas se debe ampliar a otras adaptaciones de investigación, incluidos el secado y la síntesis de oleoquímicos.

Se considera que la extracción analítica de solvente por microondas (MSE) puede encontrar extensivas aplicaciones en el análisis del aceite en el mesocarpio de palma y otros análisis de control de calidad relacionados. El potencial de utilizar tecnología de extracción de solvente por microondas (MSE) en la extracción de productos de alto valor agregado tales como carotenos, vitamina E y fitoesteroles de productos/productos secundarios de la industria del aceite de palma es inmensa.

Los tiempos de extracción empleados por un método de solvente de microondas fueron casi 100 veces menores que los realizados por métodos tradicionales.

CONCLUSIÓN

Las capacidades de penetración y de procesamiento selectivo de las microondas forman las bases de las tecnologías de microondas. El calentamiento por microondas es más benévolo para el medio ambiente que la mayoría de los métodos, y las aplicaciones han sido bien comercializadas en el mercado de hornos y en ciertas operaciones de procesamiento de alimentos. En el campo de la tecnología de extracción, la extracción por solvente por microondas (MSE) debe ser vigorizante justificadamente, teniendo el potencial considerable de convertirse en la tecnología para materiales que son difíciles de analizar o procesar convencionalmente. Se han reportado algunos estudios sobre las aplicaciones de tecnologías de microondas en ciertas actividades relacionadas con la industria del aceite de palma y es necesario que se lleve a cabo más trabajo para establecer estas aplicaciones. Áreas en las cuales las tecnologías de microondas se pueden adoptar o adaptar en una forma u otra, incluyen el análisis del contenido de aceite, tecnologías de extracción, la producción de compuestos de alto valor agregado (por ejemplo, vitamina E, carotenos y fitoesteroles) y el procesamiento de oleoquímicos.

RECONOCIMIENTOS

Los autores quisieran agradecer al Dr. Badri Muhammad por su incentivo, Cik Hazura Abdul Hamid y el Dr. Ma Ah Ngan por sus valiosos comentarios, y al Director General de PORIM por su permiso para publicar este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- ANNIS, P.J. 1980. Design and use of domestic microwave ovens. *Journal of Food Protection* (Estados Unidos) v.43. p.629.
- ANÓNIMO 1 (s.f.). Microwave sensing and processing. In: Homepage: (<http://radar.auckland.ac.nz/cricri/>) of Industrial Research Limited. Auckland, NZ.
- _____ 2 (s.f.). In: Homepage: (<http://www.connix.com/~myone/cober/cober.htm>) of Cober Electronics Inc., Norwalk Conn..
- _____ 3. 1986. Industrial Applications listing by the Cryodry Corporation. In: *Food Science*. 4th ed. AVI Publishing, Westport, Conn. p.325-326.
- _____ 4. 1994. Microwave heating. (Tomado de: *Microwaves*. In: Homepage (<http://w2www.li.net/~stmarya/stm/marys.html>) of St. Mary's HS, Manhasset, New York).
- AVISSE, C.; VAROQUAUX, P. 1977. Microwave blanching of peaches. *Journal of Microwave Power* (Estados Unidos) v. 12 no. 1. p.73.
- BARRINGER, S.A.; DAVIS, E.A.; GORDON, J. 1994. Effect of sample size on the microwave heating rate: oil vs. water *AIChE Journal* (Estados Unidos) v.40, p.1433.
- BAUM, H.M. 1992. Opening remarks at Campbell Microwave Inst. seminar, Camden. N.J. Jan 15. (Tomado de: *Food Technology* (Estados Unidos) v.46 no.9, p. 118).
- BOON, M.E.; KOK, L.P. 1987. Werkwijzevoor het laten verlopen van (bio-) chemische of (micro-) biologische reakties. ondergebruikmaking van microgolven, daarvan gebruikmakende werkwijzen en inrichting daarvan. Terinzagelegging 8702338, Octrooiraad Nederland. (Tomado de *Food Technology* (Estados Unidos) v. 46 n.5,p.127).
- BUECHE, F. 1965. In: *Principles of Physics* McGraw-Hill Book Co. (Tomado de: *The New Encyclopedie Britannica* 1989. Tomo 4. p.434).
- CHEAH, K.Y.; MAYCOCK, J.H.; SIEW, W. L.; OH, F.C.H. 1991. Microwave sterilisation of fresh fruit bunches (ffb). PORIM Report PO(201) 91. PORIM, Bangi.
- CONKERTON, E.J.; CHAPITAL, D.C.; WAN, P.J. 1994. Microwave heating of cottonseed: a pilot plant study. *JAOCs* (Estados Unidos) v.71 no.4, p.461-462.
- COPPS, S.P.C. 1995. Speech delivered at the MAP(tm) inauguration and licence signing ceremony in Gloucester, Ont., Can., <http://www.ecgc.ca/minister/speeches/speech2.html>.
- COPSON D.A. 1975. *Microwave Heating*. 2nd ed. AVI Publishing, Westport, Conn.
- CREMER, M.L. 1981. Calentamiento por microondas de huevos revueltos en un sistema de servicio dealimentos de hospital. *Journal of Food Science* (Estados Unidos) v.46, p. 1573.
- CROSS, G.A.; FUNG D.Y.C. 1982. The effect of microwaves on nutrient value of foods. *Critical Review on Food Science Nutrition* v. 16, p.355.
- DATTA, A.K.; Hu, W. 1992. Optimization of quality in microwave heating. *Food Technology* (Estados Unidos) v.46 no. 12, p.57.
- DECAREAU, R.V. 1985. *Microwaves in the Food Industry*. Academic Press, New York. (Tomado de: *Food Technology* (Estados Unidos) v.46 no.9. p.118).
- _____ 1986 *Microwave food processing equipment throughout the world*. *Food Technology* (Estados Unidos) v.40 no.6, p.99.
- _____ 1991. (Tomado de: *Food Technology* (Estados Unidos) v.46 no.9, p. 118. but with no details in references.)
- _____ 1992. *Microwave Foods: New Product Development*. Food and Nutrition Press, Trumbull, Conn. (Tomado de: *Food Technology* (Estados Unidos) v.46 no.9. p.118.)
- DICESARE, L.F.; SANSOVINI, G.; RIVA, M.; SCHIRALDI, A. 1993. Abstract of influence of traditional and microwave technology on garlic sulfur compounds in garlic aromatised oils and on the stability of olive oil to oxidation. *Ind. Aliment.* v.32 no.318. p.825. (In: *CA Selects: Fat & Oils* (Estados Unidos) v.2, p.5).
- DONAHUE, M.; OHANESSIAN, S.; WHEELER, P.; MARCH, C.; BURKE, S.; QUISPE, T.; PUGLISI, S.; LEONARDOPOULOS, C.; LIU, R.; CHRISTOU, C. 1996. *Microwaves*. In: Homepage (<http://www.li.net/~stmarya/stm/marys.html>) of St. Mary's HS, Manhasset, New York.
- EDGAR, R. 1981. Microwave energy applications in food processing. *Microwave World*, v.2 no.5, p. 12.
- _____ 1986 *The economics of microwave processing in the food industry*. *Food Technology* (Estados Unidos) v.40 no.6, p. 106.
- FAILLON, G.; COUASNARD, C.; MALONEY, E.D. 1977. New uses of microwave power in the food industry. *Journal of Microwave Power* (Estados Unidos) v. 12 no.1, p.79.
- FANSLAW, G.E.; SAUL, R.A. 1971. Drying field corn with microwave power and unheated air. *Journal of Microwave Power* (Estados Unidos) v.6 no.3, p.229.
- GANZLER, K.y SALGO, A. 1987. Microwave extraction- a new method superseding traditional Soxhlet extraction. *Zeitschrift fuer Lebensmittel Untersuchung und Forschung* (Estados Unidos) v. 184, p.274-276.

USOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE MICROONDAS

- GANZLER, K.; SALGO, A. y VALKO, K. 1986. Microwave extraction. A novel sample preparation method for chromatography. *Journal of Chromatography (Estados Unidos)* v.371,299-306.
- GIESE, J.H. 1992. Especial report: Advances in microwave food processing. *Food Technology (Estados Unidos)* v.46 no.9, p. 118.
- GIGUERE, R.J.; BRAY, T.L.; DUNCAN, S.M.; MAJETICH, G. 1986. Application of commercial microwave ovens to organic synthesis. *Tetrahedron Letters (Estados Unidos)* v.27, p.4945.
- GOPALAKRISHNAN, N.; THOMAS, P.P. 1992. Study of the oil obtained from the oil palm fruit processed with microwave energy. *Journal of the Oil Technologist Association of India (India)* v.24 no.2, p.45.
- GUISE, B. 1990. Pasteurisation progress. *Food Processing*, May 1990, 51.
- HAFEZ, Y.S.; MOHAMMED, A.; PERERA, P.A.; SINGH, G.; HUSSEIN, A.I. 1989. Effects of microwave heating and gamma irradiation on phytate and phospholipid contents of (the) soybean (*Glycine max L.*), *Journal of Food Science (Estados Unidos)* v.54, p.958.
- HARLFINGER, L. 1992. Microwave sterilisation. *Food Technology (Estados Unidos)* v.46 no.12, p.57.
- HASTY, E.; REVESZ, R. 1995. Total petroleum hydrocarbon determination by microwave solvent extraction. *American Laboratory (Estados Unidos)* v.27 no.4, p.66.
- HOLMAN, J.R. 1976. *Heat Transfer*, 4th ed. McGraw-Hill Co., New York, (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.43 no. 1, p.117).
- HULLS, P.J. 1982. Development of the industrial use of dielectric heating in the United Kingdom. *Journal of Microwave Power (Estados Unidos)* v.17 no.1, p. 29.
- KACZMAREK, R.; SOBIECH, W. 1973. Microwave drying of mushrooms. *Przemysł Spożywczy (Polonia)* v.27 no. 11, p.524. (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.41 no.6, p.85).
- KHALID, K.; ABBAS, Z. 1992. A microstrip sensor for determination of harvesting time for oil palm fruits (*Tenera: Elaeis guineensis*). *Journal of Microwave Power (Estados Unidos)* v.27 no. 1, p.3.
- _____; ZAKARIA, Z.; WAN YUSOF, W.D. 1996. Variation of dielectric properties of oil palm mesocarp with moisture content and fruit maturity at microwave frequencies. *Elaeis (Malasia)* v.8 no.2, p.83-91.
- KEENAN, M.C. 1983. Unpublished data, Univ. of Massachusetts, Amherst. (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.40 no.6, p.84).
- KENT, M. 1987. *Electric and Dielectric Properties of Food Materials*. Science and Technology Publishers, London. (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.43 no.1, p.117).
- KLING(L)ER, R.W.; DECKER, D. 1989. Microwave heating of soybeans on laboratory and pilot scale. *In: Engineering and Food*. Vol. 2. Elsevier Applied Science, London. (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.46 no.9, p. 118).
- KRASZEWSKI, A.W. 1994. Interpretive summary of microwave research in agriculture. ARS Report No.0000055258, USDA, Athens, GA.
- KRIEGER, B.; ALLEN, R.D.; TREDINNICK, D.W. (s.f.). Industrial microwave technology. Joint paper presented by Cober Electronics Inc. and Uniroyal Chemical Co. at the Annual Meeting of the Rubber Division of the American Chemical Society.
- LESKOVSEK, S.; SMIDOVNIK, A.; KOLOINI, T. 1994. Kinetics of catalytic transfer hydrogenation of soybean oil in microwave and thermal field(s). *Journal of Organic Chemistry (Estados Unidos)* v.59, p.7433.
- LEWIS, D.A.; WARD, T.C.; SUMMERS, J.S.; McGRATH, J.E. 1989. *In: First Australian Symposium on Microwave Power Applications*, Wollongong. (Tomado de: *Journal of Organic Chemistry (Estados Unidos)* v.59, p.7433).
- MAHESHWARI, P.N.; STANLEY, D.W. VAN DERVOORT, F.R.; GRAY, J.I. 1981. Effect of microwave treatment on the microstructure of dehulled rapeseed. *Cereal Chemistry (Estados Unidos)* v. 58 no.5, p.381.
- McCONNELL, D.R. 1975. The consumer microwave oven. *Microwave Journal (Estados Unidos)* v.18, p.37. (Tomado de: *Critical Review on Food Science Nutrition* v.16, p.355).
- METAXAS, R.D.; MEREDITH, R.J. 1983. *Industrial Microwave Heating*. Peter Peregrinus Ltd., London. (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.43 no.1, p.117).
- MOORE, L.J.; DAYTON, A.D.; HARRISON, D.L. 1980. Differences among top round steaks cooked by dry or moist heat in a conventional or a microwave oven. *Journal of Food Science (Estados Unidos)* v. 45, p.777.
- MUDGETT, E. 1982. Electrical properties of foods in microwave processing. *Food Technology (Estados Unidos)* v.36, p. 109.
- _____. 1985a. Dielectric properties of food. *In: Microwaves in the Food Processing Industry*. Academic Press, New York. (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.43 no. 1, p. 117).
- _____. 1985b. Modelling microwave heating characteristics. *In: Microwaves in the Food Processing Industry*. Academic Press, New York, Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.43 no. 1, p. 117.
- _____. 1986a. Microwave properties and heating characteristics of foods. *Food Technology (Estados Unidos)* v.40 no.6, p.84.
- _____. 1986b. Electrical properties of foods. *In: Engineering properties of Foods*. Marcel Dekker, New York, (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.43 no. 1, p. 117).
- _____. 1989. Microwave food processing. A Scientific Status Summary by the IFT Expert Panel on Food Safety and Nutrition. *Food Technology (Estados Unidos)* v.43 no. 1, p. 117.
- NELSON, S.O. 1966. Electromagnetic and sonic energy for insect control. *ASAE Transactions (Estados Unidos)* v.9, p.398.
- _____; FORBUS, W.R. y LAWRENCE, K.C. 1994a. Interpretive summary of Microwave permittivities of fresh fruit and vegetables from 0.2 to 20 GHz. ARS Report No.0000055249, USDA, Athens, GA.
- _____; _____. 1994b. Interpretive summary of Microwave permittivities of fresh fruit and vegetables from at 0.2 to 20 GHz. ARS Report No.0000055255, USDA, Athens, GA.
- _____; _____. 1994c. Interpretive summary of Microwave dielectric properties of fruit and vegetables and (their) possible use for maturity sensing. ARS Report No.0000055266, USDA, Athens, GA.
- PORETTA, S.; LEONI, C. 1989. Preparation of high-quality tomato products using enzyme inactivation by microwave heating. *In: Engineering and Food*. Vol. 2. Elsevier Applied Science, London. (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.46 no.9, p.118).
- PROCTOR, B.E.; GOLDBLITH, S.A. 1948. Radar energy for rapid cooking and blanching and its effect on vitamin content. *Food Technology (Estados Unidos)* v.2, p.95.
- ROSENBERG, U.; BOGLW. 1987a. Microwave thawing, drying, and baking in the food industry. *Food Technology (Estados Unidos)* v.41 no.6, p.85.
- _____; _____. 1987b. Microwave pasteurisation, sterilisation, blanching, and pest control in the food industry. *Food Technology (Estados Unidos)* v.41 no.6, p.92.
- SALE, A.J.H.; ASSINDER, I.; RAYNOR, D.; EVANS, G. 1970. Sterilising foodstuffs, British Patent 1,187,766. (Tomado de: *Food Technology (Estados Unidos)* v.41 no.6, p.92).
- SCHIFFMAN, F. 1986. Food product development for microwave processing. *Food Technology (Estados Unidos)* v.40 no.6, p.94.

- _____. 1987. (Tomado de: Food Technology (Estados Unidos) v.46 no.9, p. 118), but with no details in references.
- _____. 1992a. Microwave processing in the US food industry. Food Technology (Estados Unidos) v.46 no. 12, p.50.
- _____. 1992b. Microwave food processing: past, present, and future. 52nd IFT Annual Meeting. (Tomado de: Food Technology (Estados Unidos) v.46 no.9, p.118).
- SCHLEGEL W. 1992. Commercial pasteurisation and sterilisation of food product using microwave technology. Food Technology (Estados Unidos) v. 46 no. 12, p.62.
- SHORT, H. 1982. R & D in oilseed routes swings into higher gear. Chemical Engineering (Estados Unidos) v.89 no.26, p.21.
- SINGH, R.P.; HELDMAN, D.R. 1991. Overview: Microwave heating. In: Outline page (<http://www.engr.ucdavis.edu/~rpsingh/FST110B/FST110Boutline.html>) of FST110B, University of California, Davis.
- SPENCER, P. 1952. Means for treating food stuffs. US patent 2,605,383, 1952. (Tomado de: Food Technology (Estados Unidos) v.46 no. 12, p.50).
- STEIN, E.W. 1972. Application of microwaves to bakery production. Baker's Digest (Estados Unidos) v.46, p.53. (Tomado de: Journal of Food Science (Estados Unidos) v.55, p.1412).
- SWAMI, S.; MUDGETT R.E. 1981. Effect of moisture and salts contents on the dielectric behaviour of liquid and semi-solid foods. Proc. IMPI Symposium. 16, 48. (Tomado de: Food Technology (Estados Unidos) v.40 no.6, p.84).
- SWIFT, J.R.; CARSWELL, D.R.; ELSON, C.R. 1980. The continuous processing of foods using microwave heating, part 1. Application Leatherhead Food RA, Research Report No.345.
- THOMAS, P.P.; GOPALAKRISHNAN, N.; DAMODARAN, A.D. 1992. An integrated dry process for palm oil and kernel oil extraction. Journal of the Oil Technologist Association of India (India) v.24 no. 1, p.3.
- TINGA W.R. 1970. Interaction of microwaves with materials. IMPI Short Course for Users of Microwaves Power, Vienna, VA. Proceedings. (Tomado de: Food Technology (Estados Unidos) v.40 no.6, p.94).
- TSUYUKI, H. 1982. Journal of Japanese Society of Food Science and Technology. (Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi) v.29. p.123. (Tomado de: JAOCS (Estados Unidos) v.68, p.566).
- VAN ZANTE, H.J. 1973. The Microwave Oven. Houghton Mifflin, Boston. (Tomado de: Critical Review on Food Science Nutrition v. 16, p.355).
- WANG, S.H.; TOLEDO, M.C.F. 1987. Inactivation of soybean lipoygenase by microwave heating: effect of moisture content and exposure time. Journal of Food Science (Estados Unidos) v.52, p. 1344.
- WATTERS, F.L. 1976. Microwave radiation for control of *Tribolium confusum* in wheat and flour. Journal of Stored Products Research (Estados Unidos) v.12 no.1, p.19.
- WILSON, P. 1976. Household Equipment: Selection and Management. Houghton Mifflin, Boston. (Tomado de: Critical Reviews on Food Science Nutrition v. 16, p.355).