

REVISIÓN

Daños mecánicos en patata y evaluación mediante productos electrónicos

Mechanical damages in potato and evaluation by means of electronic products

Melquíades Ramos Escalona¹, Pilar Barreiro Elorza² e Idalberto Macías Socarrás¹

RESUMEN. En este artículo se presenta la evolución del cultivo de la patata en España y se exponen las principales causas de daño, así como los dispositivos electrónicos disponibles para el control de las cargas a las que se ven sometidos. Finalmente se realizan unas consideraciones relativas al tipo de modelos matemáticos que mejor se ajustan a la estimación de daños.

Palabras clave: dispositivo, carga, modelo matemático.

ABSTRACT. This article presents the evolution of potato cultivation in Spain and set out the main causes of damage as well as electronic devices available to control the loads to which they are subjected. Finally some considerations are made regarding the type of mathematical models that best fit the estimated damage.

Keywords: device, load, mathematical model.

INTRODUCCIÓN

Evolución del cultivo de la patata en España

Según datos del Anuario de Estadística Agroalimentaria de 2006 (Tabla 1), la superficie dedicada al cultivo de la patata en España se ha reducido desde 271 000 ha en 1990, hasta 86 900 ha en 2006, aunque el rendimiento ha aumentado de 19,6 t/ha hasta 28,8 t/ha en ese mismo periodo.

Según datos del Anuario de Estadística Agroalimentaria de 2006, el precio percibido por los agricultores ha evolucionado de 0,14 Euro/kg a 0,27 Euro/kg en el periodo de 1990

a 2008 (Figura 1), aunque estos datos no están calculados en euros constantes, es decir, no detraen el efecto de la inflación.

En la actualidad existe una denominación de origen reconocida por el MAPA y la Unión Europea, denominada Pataca de Galicia que se define como los tubérculos de la especie *Solanum tuberosum L.*, de la variedad cultivada 'KENNEBEC', destinados al consumo humano. Existen asimismo denominaciones de calidad como la Patata de Alava en un intento de mejorar la calidad al consumidor e incrementar el valor añadido del producto.

Recibido 14/02/09, aprobado 29/01/10, trabajo 04/10, revisión.

¹ Dr.C., Ing., Prof., Universidad de Granma (UDG) Facultad de Ingeniería, Bayamo, Granma, Cuba, E-✉: mramose@udg.co.cu.

² Dra. C., Prof. Tit., Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Dpto. Ingeniería Rural, ETSI, Agrónomos, Avda. Complutense s/n 28.040 Madrid.

TABLA 1. Serie histórica de superficie, rendimiento y producción de patata en España en el período 1990-2006 (Anuario Estadístico de la FAO, 2006)

Año	Superficie (miles de hectáreas)	Producción (miles de toneladas)	Rendimiento t/ha
1990	271,3	5,331	19,65
1991	266,2	5,182	19,47
1992	257,2	5,180	20,14
1993	208,0	3,821	18,37
1994	200,7	3,860	19,23
1995	206,0	3,914	19,00
1996	180,1	3,856	21,41
1997	150,1	3,254	21,68
1998	133,5	3,129	23,44
1999	133,5	3,369	25,23
2000	118,8	3,078	25,92
2001	115,1	2,992	25,99
2002	110,1	3,078	27,95
2003	101,1	2,665	27,95
2004	102,1	2,774	27,16
2005	95,0	2,563	26,98
2006	86,9	2,502	28,79



FIGURA 1. Evolución del precio percibido por el agricultor productor de patata: precio anual en rojo, y línea de tendencia trienal en azul. Fuente: Elaboración propia con datos de Anuario de Estadística Agroalimentaria de 2006.

DESARROLLO

Pérdidas de cosecha por daños al producto

Los daños a los tubérculos durante la recolección y el tratamiento, es una de las causas más importantes de la pérdida de calidad y de valor de la patata, aumentando la incidencia de las enfermedades y las pérdidas durante el almacenamiento. Según un estudio norteamericano, del total de los daños el 70% es causados por la cosecha, el 30% se produce durante el transporte y el almacenamiento, hasta el 30% de todo el producto puede ser dañada durante la cosecha (Peters, 1996).

El tubérculo de patata es un tejido parenquimatoso, que carece de engrosamiento secundario propio de los tejidos especializados (Peterson *et al.*, 1985). Como resultado de ello, los

tubérculos son susceptibles a diversas formas de daño durante la producción comercial incluyendo defectos externos (añicos, corte, pelado, grietas) y lesiones internas (principalmente blackspot o magulladura), (Baritelle *et al.*, 2000 y Bentini *et al.*, 2006).

Los factores que intervienen en el deterioro mecánico del producto puede ser las características de las máquinas utilizadas para la recolección (Figura 2), el transporte y la manipulación del producto, además de las características mecánicas, fisicoquímicas y biológicas de los tubérculos que afectan a la respuesta a los impactos. El nivel de hidratación de los tubérculos, el cultivar y las condiciones ambientales en período de crecimiento, recolección y almacenamiento influyen en la susceptibilidad de los tubérculos a los daños, aunque no suelen ser inmediatamente cuantificables (Mathew y Hyde, 1997; Bajema *et al.*, 1998; Baritelle y Hyde, 2003).

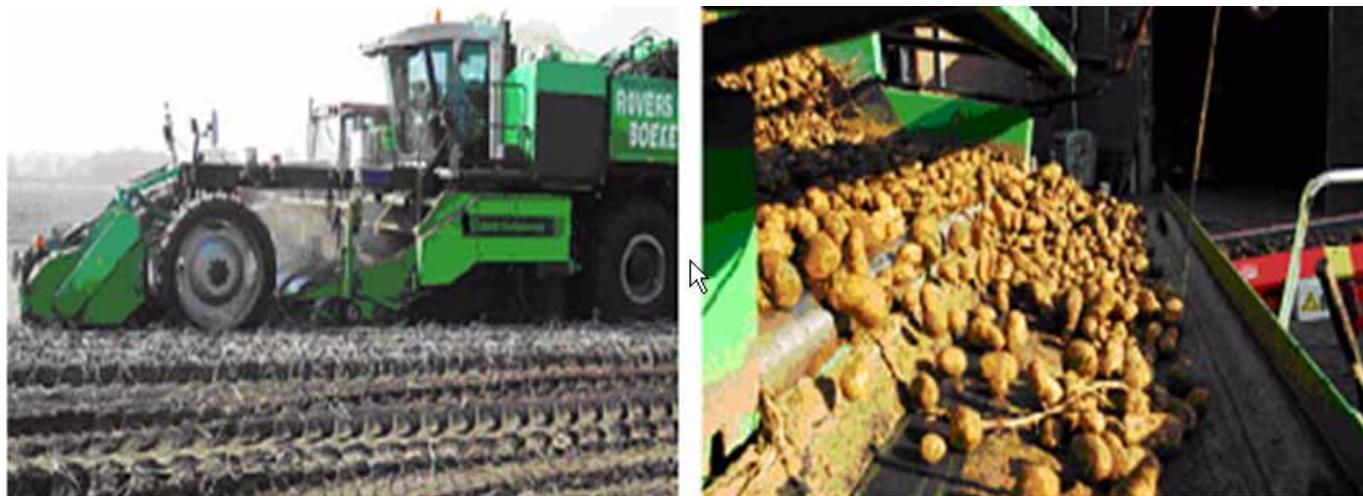


FIGURA 2. Maquinaria automotriz para la recolección de patata.

La recolección afecta a la calidad de los productos a través de un contacto directo entre los componentes mecánicos de máquinas y los tubérculos. Los daños pueden ocurrir cuando el tubérculo choca con una parte fija o móvil de la máquina, piedras, tierra, o con otros tubérculos. Estas interacciones pueden estudiarse utilizando una esfera Instrumentada para la adquisición y el registro de los parámetros dinámicos de impacto (Klug *et al.*, 1989). Este tipo de instrumento ha sido utilizado con frecuencia para evaluar los efectos en el procesamiento posterior a la cosecha (Hyde *et al.*, 1992). Para la recolección de cultivos industriales, Brook (1993) utilizó una esfera instrumentada en máquinas para cosecha de patatas identificando impactos y Bentini *et al.* (2002) utilizaron una ‘remolacha electrónica’ para estudiar la Influencia de los efectos sobre la dinámica de la calidad de los productos. Van Canneyt *et al.* (2003, 2004) desarrollaron una patata electrónica para evaluar el riesgo de magulladuras en el manejo de las patatas.

Bentini *et al.* (2006) utilizaron una esfera electrónica instalada en la máquina cosechadora para estudiar los daños causados por impactos en tubérculos de patatas en diferentes suelos y condiciones de trabajo.

Los daños internos resultantes de los impactos en tubérculos por sí solos puede causar pérdidas de más del 20% (Storey y Davies, 1992). Si bien es una simple cuestión el grado de daño externo que muestran los tubérculos, las lesiones internas no son visibles hasta después de retirar la piel.

Literatura sobre este tema ha sido examinada por Hiller *et al.* (1985), Burton (1989), así como Storey y Davies (1992), como parte de un examen de los trastornos fisiológicos, brevemente en un capítulo sobre fisiología poscosecha, en una síntesis en el contexto de la calidad del tubérculo.

Los síntomas de las lesiones internas puede incluir o no fracturas visibles del tejido (Ilker *et al.*, 1977; Reeve, 1968). Y el desarrollo subsiguiente de color pardo en las zonas dañadas puede implicar la formación de amarillo, rojo, marrón, azul, gris y negra pigmentación en diversos grados (Burton, 1989; Gray y Hughes, 1978; Storey y Davies, 1992).

La experiencia ha demostrado que los daños por golpes, debido a la altura desde donde se dejan caer las patatas sobre superficies duras, varían con el tamaño de estas, siendo mayor para las grandes que para las pequeñas; debido a la mayor energía potencial de los tubérculos grandes, como regla general, es inadmisibles dejarlas caer de más de 30 cm, de lo contrario el daño es casi seguro (Mc Garry *et al.*, 1995).

La mancha o ennegrecimiento interno de los tubérculos se produce a consecuencia de golpes. Estos golpes en la mayoría de los casos se producen en la superficie del tubérculo, pero las reacciones a ese golpe, en vez de ser superficiales, se sitúan en el anillo vascular. Las zonas de choque son transmitidas a partir del punto del impacto hacia la región vascular con una intensidad decreciente. Las células lesionadas de esa región se rompen después de cierto número de días, en el curso de los cuales por una serie de reacciones en cadena se liberan las sustancias fenólicas (tiroxina, ácido clorogénico) y se transforman bajo la acción de la enzima polifenol oxidasa (PPO) en melamina dándoles el color gris azulado (Matheis, 1987a, b).

Según datos reportados por Martínez (2006), los rangos admisibles de los diferentes indicadores de calidad para el almacenamiento de la patata son los siguientes (Tabla 2):

TABLA 2. Rangos permisibles de los diferentes indicadores de calidad para el almacenamiento de la patata

Indicadores	Incidencia (%)
Pudrición húmeda	0,1
Pudrición seca	1
Daños mecánicos y tubérculos mal formados	4

Sensores de carga para la evaluación de la manipulación

En los últimos años se han desarrollado diferentes frutos electrónicos capaces de registrar las cargas a que se ven sometidos los frutos en los procesos de recolección, manipulación, clasificación y transporte. La mayoría de estos instrumentos se basan en la captación de cargas dinámicas (impactos).

Halderson (1986) y Zapp *et al.* (1989) desarrollaron un modelo de fruto electrónico denominado esfera instrumentada IS-100 (Figura 3), consiste en un acelerómetro triaxial, un reloj, una batería y una memoria contenidos en un receptáculo de forma esférica y tamaño aproximado de una naranja (9 cm de diámetro y 300 g de peso). Este aparato registra cargas dinámicas (impactos) a través de la aceleración máxima y la duración del impacto. Mediante la integración de la curva de la aceleración respecto al tiempo se calcula la variable denominada “cambio de velocidad”. Los impactos quedan grabados en la memoria por encima de un cierto valor umbral regulable. Timm *et al.* (1989), muestran un coeficiente de correlación entre 0,82 y 0,91 entre la aceleración máxima registrada con el IS-100 y la altura de caída del fruto electrónico. En la misma línea, Brown *et al.* (1990) afirman que el coeficiente de variación obtenido en el valor de la aceleración máximo para una altura de caída determinada está comprendido entre el 4,3% y el 5,5%, y que el parámetro “cambio de velocidad” permite determinar la dureza del material contra el que impacta el IS-100 al emplearlo en combinación con la aceleración máxima.

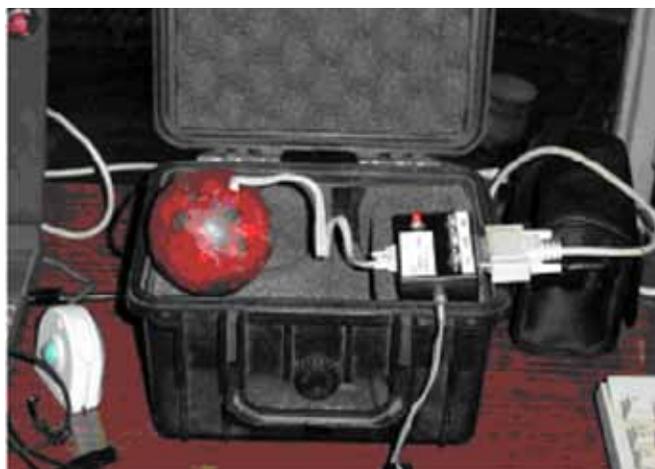


FIGURA 3. IS-100 o esfera instrumentada para el análisis de impactos en la recolección y manipulación de los productos agrícolas.

El mayor reto es conseguir productos que se parezcan físicamente a tubérculo de manera que su comportamiento dinámico (la manera de rodar) sea similar.

Sobre la base de un acelerómetro triaxial, otro fruto electrónico denominado "patata electrónica" ha sido desarrollado por Parks y Anderson (1987).

Un segundo tipo de fruto electrónico es el denominado SEP. La principal diferencia con el anterior diseño (IS-100) en su capacidad de registrar cargas dinámicas (impactos) estando el SEP tanto en movimiento como reposo. Está constituido por un toroide al que se ha enrollado un cable piezoeléctrico, un reloj, una batería y una pantalla. Cuando se produce un impacto, en el cable piezoeléctrico se induce una corriente eléctrica proporcional al nivel de carga aplicado (Anderson, 1990). Este dispositivo ha sido regulado para ofrecer niveles discretos de cargas de 0 a 7 en función de la corriente inducida en el cable piezoeléctrico. Se han diseñado dos tipos de SEP: para frutos sensibles o blandos y para frutos más firmes y resistentes (Jaren *et al.*, 1990; Ruiz *et al.*, 1990).

Una de las principales diferencias entre el SEP y el IS-100 es que este último es capaz de registrar cualquier impacto superior a un umbral, mientras que el SEP solo registra el impacto máximo, con lo que la información se ve muy reducida.

Existe un tercer tipo de fruto electrónico comercializado denominado PMS-60 (Baganz, 1992). Este dispositivo está basado en la variación de la presión hidrostática que se produce dentro de una esfera deformable, cuando esta se ve sometida a distintas cargas. Este dispositivo permite determinar tanto cargas quasi-estáticas como dinámicas.

Baheri (1997) encontró una elevada concordancia entre los datos de la IS-100 (aceleraciones) y el PMS-60 (fuerzas), al evaluar la misma cosechadora, Con la condición de que las esferas fueran utilizadas en piezas de máquinas en movimiento. Entre cargas de corte y compresión del diábolo sólo fueron registrados por el PMS-60.

Estos dispositivos instrumentados fueron aplicados por Baheri (1997); Molema (1999); y Ludemann *et al.* (2002), están suficientemente equipados para localizar zonas en la cadena de procesamiento de la cosecha y que presenten un alto nivel de riesgo para los daños de la patata.

La información aportada por los frutos electrónicos no siempre se corresponde con las cargas sufridas por las patatas cosechadas y manipuladas factores fundamentados en la susceptibilidad biológica a las magulladuras, variación natural como consecuencia de impactos, insuficiencia en el funcionamiento de los dispositivos de predicción del efecto de los daños o la difícil interpretación de los datos que puede causar discrepancia. Leicher (1992), Nerinckx y Verschoore (1993) utilizaron un nuevo dispositivo el PTR-100, encontraron una capacidad de predicción del 53%. Molema (1999) determinó que el IS-100 no puede utilizarse para predecir la decoloración de patatas indicando la señal de salida debería ser más bien cuantificado como altura equivalente de una caída sobre una superficie definida. Zapp *et al.* (1989) afirmaron que los datos de IS-100 en relación al efecto son de muy poco valor a menos que el umbral de magulladuras y la resistencia a ma-

gulladuras de los productos básicos sean conocidas. Mathew y Hyde (1997) desarrollaron un modelo de predicción de daños sobre la base de la aceleración máxima y el cambio de velocidad.

Dado que las técnicas de adquisición de datos son cada vez más sofisticadas y la autonomía de los equipos de medición tiende a ser mejor, si ha desarrollado nuevas generaciones de patatas electrónicas denomina PTR-200 (SM Ingeniería, Dinamarca) en 1999 y la fabricación canadiense de Smart Spud (Wireless Sensor, Canadá) en 2000, ambas soluciones basadas en acelerómetros en miniatura.

El PTR-200 es un sensor inalámbrico desarrollado para localizar magulladuras en la recolección y en las cadenas de confección de patata. Tiene forma de tubérculo y zonas con diferente sensibilidad al impacto. Por tanto la salida de la señal no sólo depende de la energía aplicada sino también del punto de impacto.

Van Canneyt *et al.* (2003) utilizaron al sensor PTR-200 para caracterizar el dispositivo mediante ensayos controlados con un péndulo investigando cuatro factores característicos importantes: (1) la sensibilidad en diferentes zonas del equipo; (2) la linealidad de la respuesta, (3) la coherencia y la reproducibilidad de los resultados; y (4) el rango de la transmisión de señales. Un aspecto importante es la diversa sensibilidad según el punto de Impacto, la falta de linealidad (mayor sensibilidad a mayor carga) y la pérdida de transmisión a 20 m.

¿Cómo relacionar los datos de los frutos electrónicos con las pérdidas?

Uno de los aspectos más difíciles y controvertidos del uso de los productos electrónicos reside en cómo relacionar los valores registrados por él en términos de aceleración máxima (nivel de agresividad) o cambio de velocidad (dureza de la superficie de impacto) con los daños reales que se producen en los tubérculos. Como ya se ha mencionado, este punto es especialmente complejo teniendo en cuenta que en muchos casos y para un mismo nivel de energía aplicada hay tubérculos que no se dañan en absoluto. Este tipo de respuesta se denomina genéricamente estocástica e indica que para realizar una estimación de daños hay que recurrir a ensayos en condiciones reproducibles (Figura 4) y a modelos probabilísticos.

La formulación matemática que más se adapta a ello es la regresión logística que permite relacionar variables continuas como el peso del tubérculo, la carga máxima registrada por una patata electrónica en condiciones equivalentes, el nivel de hidratación, la resistencia de la piel (García Ramos *et al.*, 2003).

El aspecto de los modelos logísticos se presenta en la Figura 5 y como puede apreciarse se trata de un función a cotada entre 0 y 100 dado que la probabilidad de daños también está restringida a este conjunto de valores posible.

Este tipo de formulación matemática presenta la enorme ventaja de no tener que recurrir a diseños experimentales con un elevadísimo número de muestras, ya que permite ajustar el número de individuos allí donde la precisión del modelo ha de ser mayor, es decir, en las áreas cercanas al límite máximo de daños admisible (García *et al.*, 2002).



FIGURA 4. Ensayo de susceptibilidad a daños de las patata empleando tambores rotativo con distinto niveles de agresividad (altura de los obstáculos interiores). Fuente: Washington State University.

Este tipo de formulación se ha empleado con mucho éxito para evaluar la capacidad amortiguadora de distintos tipos de materiales de recubrimiento en líneas de manipulación en una amplia variedad de productos agrícolas susceptibles de sufrir daños de forma aparentemente errática, es decir, difícil de predecir y cuantificar.

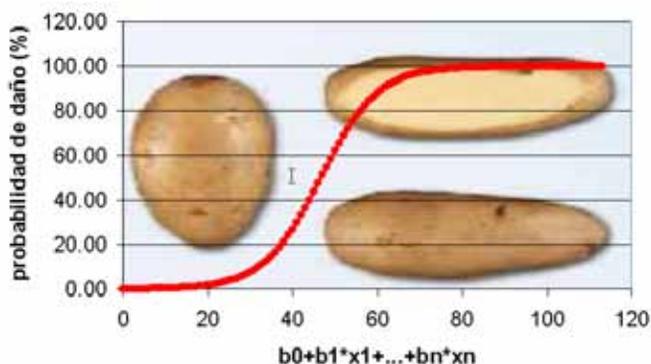


FIGURA 5. Aspecto de una función logística basada en un conjunto de variables continuas como por ejemplo el peso del tubérculo, la carga máxima registrada por una patata electrónica en condiciones equivalentes, el nivel de hidratación, la resistencia de la piel.

CONCLUSIONES

- La recolección afecta a la calidad de los productos a través de un contacto directo entre los componentes mecánicos de máquinas y los tubérculos. Los daños pueden ocurrir cuando el tubérculo choca con una parte fija o móvil de la máquina, piedras, tierra, o con otros tubérculos.
- Los síntomas de las lesiones internas puede incluir o no fracturas visibles del tejido y el desarrollo subsiguiente de color pardo en las zonas dañadas puede implicar la formación de amarillo, rojo, marrón, azul, gris y negra pigmentación

en diversos grados.

- La experiencia ha demostrado que los daños por golpes, debido a la altura desde donde se dejan caer las patatas sobre superficies duras, varían con el tamaño de estas, siendo mayor para las grandes que para las pequeñas; debido a la mayor energía potencial de los tubérculos grandes, como regla general, es inadmisibles dejarlas caer de más de 30 cm, de lo contrario el daño es casi seguro.
- La mancha o ennegrecimiento interno de los tubérculos se produce a consecuencia de golpes.
- La información aportada por los frutos electrónicos no siempre se corresponde con las cargas sufridas por las patatas cosechadas y manipuladas factores fundamentados en la susceptibilidad biológica a las magulladuras, variación natural como consecuencia de impactos, insuficiencia en el funcionamiento de los dispositivos de predicción del efecto de los daños o la difícil interpretación de los datos que puede causar discrepancia.
- Uno de los aspectos más difíciles y controvertidos del uso de los productos electrónicos reside en cómo relacionar los valores registrados por él en términos de aceleración máxima (nivel de agresividad) o cambio de velocidad (dureza de la superficie de impacto) con los daños reales que se producen en lo tubérculos. La formulación matemática que más se adapta a ello es la regresión logística que permite relacionar variables continuas como el peso del tubérculo, la carga máxima registrada por una patata electrónica en condiciones equivalentes, el nivel de hidratación, la resistencia de la piel

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, G.: The development of artificial fruits and vegetables. In: **Workshop on impact damage of fruits and vegetables. FIMA 90**, Vol. II, pp. 131-133, Zaragoza, España, 1990.
- BAGANZ, K.: 25 year experience with the Bornim instrumented sphere. In: **The 3rd International Symposium on fruit, nut and vegetable harvesting mechanization**, pp: 163-164, Norwal, Swden, Denmark, 1992.
- BAHERI M.: *Development of a method forpr ediction of potato mechanical damage in the chain of mechanized potato production*, 301pp., **PhD Thesis**, University of Leuven, Leuven, Belgium, 1997.

- BARITELLE, A. L.; M. HYDE: "Specific gravity and cultivar effects on potato tuber impact sensitivity", *Postharvest Biology and Technology*, 29: 279–286, 2003.
- BARITELLE, A. L.; M. HYDE; R. THORNTON; R. BAJEMA: "A classification system for impact-related defects in potato tubers", *American Journal of Potato Research*, 77(3): 143–148, 2000.
- BeNTINI M.; C. CAPRARA; V. RONDELLI; M. CALICETI: "The use of an electronic beet to evaluate sugar beet damage at various forward speeds of a mechanical harvester", *Transactions of ASAE*, 45(3): 547–552, 2002.
- BENTINI, M.; C. CAPRARA; R. MARTELLI: *Harvesting Damage to Potato Tubers by Analysis of Impacts recorded with an Instrumented Sphere*, University of Bologna, Agricultural Economics and Engineering Department, via G. Fanin 50, 40127 Bologna, Italy, 2006.
- BROOK, R. G.: "Impact testing of potato harvesting equipment", *American Potato Journal*, 70: 243–256, 1993.
- BROWN, G.K.; L. SCHULETE-PASON; J. TIMM: *Impact classification using the instrumented Sphere*. ASAE paper n° 90- 6001, USA, 1990.
- BURTON, W.G.: *Post-harvest physiology*, pp. 423-431, In: *The Potato*, 3rd Edition. Longman Scientific and Technical, London, England, 1989.
- GARCÍA, R.F. J.; P. BARREIRO; M. RUIZ-ALTISENT; J. ORTIZ-CAÑAVATE; J. GIL-SIERRA; I. HOMER: "A Procedure for Testing Padding Materials in Fruit Parking Lines Using Multiple Logistic Regression", Institute of ASAE, ISSN 0001-2351, *American Society of Agricultural Engineers*, 45(3): 751-757, 2002.
- GRAY, D.; C. HUGHES: *Tuber quality*, pp. 504-544, In: P.M. Harris (Editor), *The Potato Crop. The Scientific Basis for Improvement*. Chapman and Hall, London, England, 1978.
- HALDERSON, J.L.; A. SKROBACKI: *Dynamic performance of an impact telemetry system*, ASAE paper n° 86-3030, USA, 1986.
- ILKER, R. A.; SPUN; H. TIMM: "Ethylene pretreatment and blackspot of potato tubers, *Solanum tuberosum*: histochemistry and histology of wound healing", *Z. Pflanzenphysiol.*, 83s: 55-68, 1977.
- JAREN, C.: Utilización de productos electrónicos (SEP) para la determinación de daños ocasionados en unas líneas de manipulación de cebollas, Volumen II. II pp: 455-463, In: **Workshop on impact damage of fruits and vegetables. FIMA 90**, Zaragoza, España, 1990.
- KLUG, B. A.; R. TENNES; R. ZAPP: "Analysis of impacts recorded with an instrumented sphere", *Transactions of ASAE*, 32(3): 1105–1110, 1989.
- LEICHER, J.: *Mechanical damage to potatoes: a shared responsibility*, 7pp., Report N.D.A.L.T.P., Belgium, 1992.
- LUDEMANN, K.; R. PETERS; B. LEHMANN: "Transport und Einlagerungsverfahren für Speisekartoffeln, [Transport and storage methods for fresh potatoes.]", *Kartoffelbau*, 53(7): 252–259, 2002.
- MARTÍNEZ, H. C. *Papa (Solanum tuberosum Sw), cosecha, beneficio, y almacenamiento*, Caso cubano, Universidad Central de Las Villas (UCLV), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Villa Clara, Cuba, 2006.
- MATHEIS, G.: "Polyphenol oxidase and enzymatic browning of potatoes (*Solanum mberosum*). I. Properties of potato polyphenol oxidase", *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.*, 11: 5-12, 1987a.
- MATHEIS, G.: "Polyphenol oxidase and enzymatic browning of potatoes (*Solanum tuberosum*). II. Enzymatic browning and potato constituents", *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.*, 11: 33-41, 1987b.
- MATHEW, R.; M. HYDE: "Potato impact damage thresholds", *Transactions of the ASAE*, 40(3): 705–709, 1997.
- MCGARRY, A.; C. HOLE.; K. DREW; N. PARSONS: "Internal damage in potato tubers: a critical review", *Horticulture Research International, Wellesbourne, Warwick CV35 9EF: UK*. Accepted 31 December, 1995.
- MOLEMA, G.-J.: *Mechanical force and subcutaneous tissue discoloration in potato*, 93pp., **PhD Thesis**, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 1999.
- NERINCKX G.; R. VERSCHOORE: *Use of the electronic potato as an indicator for the occurrence of mechanical damage to potatoes*, 133pp., **Thesis**, University of Ghent, Belgium, 1993.
- PARKS, R.; G. ANDERSON: Artificial potatoes for damage investigation. In: **EEC Workshop on potato damage**, Kolding, Denmark, 1987.
- PETERS, R.: "Damage of potato tubers, a review", *Potato Research*, 39: 479–484, 1996.
- PETERSON, R.L., G. BARKER; J. HOWARTH: *Development and structure of tubers*, pp. 124-152, In: P.H. Li, (Editor) *Potato Physiology*, Academic Press, Orlando, FL, USA, 1985.
- REEVE, R.M.: "Preliminary histological observation on internal blackspot in potatoes", *Am. Potato J.*, 45: 157-161, 1968.
- RUIZ ALTISENT, M.; C. JARÉN; A. MUIR; G. ANDERSON: Los productos electrónicos (SEP) para la determinación inmediata de las causas por impactos en frutas y hortalizas. In: **Workshop on impact damage of fruits and vegetables. FIMA 90**, Vol. II, pp. 447-454, Zaragoza, España, 1990.
- STOREY, R.M.J. V. DAVIES: *Tuber quality*, pp. 507-569, In: P. Harris (Editor), *The Potato Crop*. Chapman and Hall, London, England, 1992.
- TIMM, E. J. L. SCHULETE.; K. BROWN; L. BURTON: *Apple and impact surface effects on bruise size*, ASAE paper n° 89-6048, 1989.
- VAN CANNEYT, T.; E. TIJSKENS; H. RAMON; R. VERSCHOORE; B. SONCK: "Characterisation of potato-shaped instrumented device", doi:10.1016/bioe.2004.01.005, *Biosystems Engineering*, 86(3): 275–285, 2003.
- VAN CANNEYT, T.; E. TIJSKENS; H. RAMON; R. VERSCHOORE; B. SONCK: "Development of a predictive tissue discoloration model based on electronic potato impacts", doi:10.1016/bioe.2004.04.014, *Biosystems Engineering*, 88(1): 81–93, 2004.
- ZAPP, H.R.; K. BROWN; R. ARMSTRONG; S. SABER: *Instrumented sphere performance: dynamic measurements and demonstration*, ASAE paper n° 89-0008, USA, 1989.