

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 611**

51 Int. Cl.:

**G01N 21/3586** (2014.01)

**G01N 21/3563** (2014.01)

**G01N 33/00** (2006.01)

**B07C 5/342** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.12.2014 PCT/DE2014/000644**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015 WO15096827**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2014 E 14838912 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2020 EP 3087371**

54 Título: **Método para clasificar semillas**

30 Prioridad:

**24.12.2013 DE 102013021898**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**23.02.2021**

73 Titular/es:

**KWS SAAT SE & CO. KGAA (100.0%)  
Grimsehlstraße 31  
37574 Einbeck, DE**

72 Inventor/es:

**HILSCHER, ELKE;  
FRIEDHOFF, FRANK y  
HIRSCHMANN, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 807 611 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método para clasificar semillas

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a métodos para clasificar semillas y para separar semillas. La invención se refiere, en particular, a métodos para clasificar y/o separar semillas usando radiación en el rango de terahercios, por ejemplo, por medio de espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo.

10 En agricultura, los agricultores han necesitado siempre semillas de alta calidad. Las semillas de alta calidad se caracterizan por una alta capacidad de germinación, una alta fuerza motriz y un comportamiento de emergencia homogénea, entre otras cosas. Para ser capaz de proporcionar semillas de alta calidad, los productores de semillas deben clasificar y separar sus semillas con el fin de ser capaces de diferenciar y separar las semillas de alta calidad de las semillas de más baja calidad. Las diferencias físicas fácilmente determinadas en fenotipo, por ejemplo, diferencias de tamaño y/o diferencias de peso entre granos de semillas conteniendo un embrión y granos de semillas no conteniendo embrión, son generalmente usadas para esta clasificación y/o separación.

15 Para proporcionar semillas de la más alta calidad, sin embargo, una diferenciación más fina de la semilla es necesaria. Por ejemplo, las semillas de remolacha (*Beta vulgaris*) pueden ser divididas en seis clases diferentes:

clase 1 – granos vacíos (ningún embrión)

clase 2 – granos llenos (con un embrión completamente desarrollado)

clase 3 – levemente encogida o arrugada (con un embrión levemente encogido)

clase 4 – severamente encogida o arrugada (con un embrión severamente encogido)

20 clase 5 – melliza (con dos embriones en una testa)

clave 6 – bigermen (con dos embriones en dos testas)

25 En la separación de las semillas, el objetivo es obtener si es posible solamente grano con un embrión completamente desarrollado en la clasificación de "buena semilla". Con respecto al ejemplo anteriormente mencionado de la semilla de remolacha azucarera, esto significa que ambos granos de la clase 1 y granos de las clases 3 a 6 deberían ser separados. Por otra parte, es importante asegurar que la cantidad de granos de clase 2 falsamente separada como "semilla mala" preferentemente no sea demasiado grande.

30 Puesto que los granos de semilla difieren grandemente en sus propiedades, el objetivo anteriormente mencionado es logrado solamente cuando los límites de selección para separar las semillas se ajustan dentro de clases individuales muy estrechamente y con una baja tolerancia. Para ajustar los límites de selección, las muestras son tomadas regularmente para chequeo de la calidad de preparación y son enviadas para pruebas de diagnóstico de rayos X con evaluación manual de la imagen. La automatización o evaluación independiente de personal de este control de calidad todavía no ha sido posible. Por otra parte, la radiación ionizante que es usada en control de calidad por los diagnósticos de rayos X y que es dañino para la salud requiere medidas de seguridad amplias para el personal. Por otra parte, la posibilidad de efectos dañinos de la radiación ionizante de rayos X en las semillas, tampoco puede ser descartada. Por lo tanto, los diagnósticos de rayos X ni siquiera son usados para en la preparación y separación de las semillas, pero en su lugar los diagnósticos de rayos X son usados solamente para testear la calidad de las muestras de las semillas que han sido separadas en las clases correspondientes.

40 Se sabe que la tomografía computarizada es una alternativa para el control de calidad de las semillas por medio de los diagnósticos de rayos X (M. Maisl y otros, "Automatic CT System with Integrated Analysis," Convención Anual DACH 2012 en Graz – Mi.1.B.1, páginas 1-7). Sin embargo, el sistema CT (Computer Tomography: tomografía computarizada) propuesto allí con un intercambiador de muestras automático y procesamiento de imágenes automático es altamente complejo y puede ser automatizado solamente a una forma limitada, de tal modo que este método es también usado solamente en el control de proceso para verificar la calidad de preparación como parte de la producción de la semilla de remolacha, pero no en el procesamiento mismo de la semilla.

45 Otros métodos tales como termografía de pulso, un método de prueba no destructivo conocido, son superiores en relevancia informacional a las técnicas tradicionales tales como rayos X, ultrasonido y corriente de Foucault, pero no han sido exitosas en la separación y clasificación de semillas.

50 Además, US 2013/0229647 A1 divulga un método para clasificar semillas, en particular, semillas de remolacha, el cual permite la clasificación de las semillas sobre la base de las diferencias en el desarrollo del embrión contenido en la semilla, basado en la información del espectro grabado en el rango de frecuencia IR (infrarroja). Sin embargo, la relevancia de información del espectro IR es limitado, de modo que una asignación confiable de una semilla a una clase definida es a menudo imposible.

El documento "Evaluation of wheat seeds by terahertz imaging", Tiantian Guo et al., in "Millimeter Waves and THz Technology Workshop, 9-11 de septiembre de 2013, Roma, Italia, divulga el uso de la espectroscopia THz para clasificación de los cereales.

5 El objeto era, por lo tanto, proporcionar un método que permitiría la clasificación automática y/o la separación de semillas sobre la base de los diversos parámetros que definen las clases de la respectiva semilla y podrían ser usados los mismos, no solamente en el control de proceso sino también en el procesamiento de semillas con el fin de lograr una precisión de separación mayor con un rendimiento mayor allí.

Este objeto es logrado mediante un método para clasificar y/o separar semillas usando radiación en el rango de terahercios, por ejemplo, por medio de espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo.

10 La espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo (THz-TDS: Terahertz time-domain spectroscopy) usa radiación de terahercios para investigar muestras. Esta técnica es apropiada para la determinación cuantitativa y cualitativa apropiada de parámetros de una amplia variedad de materiales (L. Duvillearet, F. Garet & J. L. Coutaz (1996): Un método confiable para la extracción de los parámetros de material en espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo. *Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of*, 2(3), 739-746; T. D. Dorney, R. G. Baraniuk & D. M. Mittleman (2001): Estimación de parámetros de material con espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo. *JOSA A*, 18(7), 1562-1571). La radiación de terahercios consiste de ondas electromagnéticas con frecuencias entre 100 gigahercios (GHz) y 10 terahercios (THz).

20 En la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo, una muestra que será examinada es expuesta a un pulso muy corto de radiación electromagnética con una frecuencia en el rango de terahercios. Para hacerlo así, un pulso muy corto de radiación de terahercios es creado con un láser pulsado muy corto porque en semiconductores o materiales ópticos no lineales, los pulsos de láser ultra cortos con una duración de unos pocos femtosegundos ( $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ) pueden generar pulsos de terahercios en el rango de picosegundos ( $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ ) consistiendo de solamente uno o dos ciclos de oscilación electromagnética. Ellos pueden también ser medidos coherentemente, es decir, con una resolución de tiempo usando los métodos electro-ópticos.

25 En la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo, el pulso de THz es dividido en dos partes, una de las cuales es usada para la generación y la otra para la detección. El pulso de THz puede ser escaneado debido al retardo de tiempo relativo. El campo eléctrico de un pulso de THz es detectado por medio de detección coherente, es decir, la onda de THz es detectada en amplitud y fase. La información espectral de banda ancha acerca de la muestra que será examinada puede ser hecha con la ayuda de un análisis de Fourier de las señales de THz registradas y esta información entonces permite inferencias en cuanto a los parámetros del material.

30 La señal del pulso de THz así generada puede contener componentes de frecuencia con los cuales el rango de THz entero puede ser cubierto y usualmente se mide después de ser reflectada sobre una muestra o después de ser transmitida a través de la muestra y comparada con un pulso de entrada como una referencia. Para el análisis de la señal, las amplitudes de señal, el retardo de tiempo, la fase y/o espectro pueden ser utilizados. El cambio en amplitud, por ejemplo proporciona información acerca de las propiedades de la muestra, tales como su porosidad, absorción, grosor y homogeneidad. El retardo en el pulso de THz en su paso a través de la muestra podría ser debido al grosor óptico de la muestra (el índice de refracción  $n$  veces el grosor geométrico  $d$ ). Los pulsos de eco adicionales que son más o menos sobrepuestos, dependiendo del grosor de la muestra, podrían ocurrir debido a múltiples reflexiones dentro de la muestra. Las oscilaciones de campo siguiendo al pulso principal contienen información espectral de la muestra, la cual es accesible a través de la transformación de Fourier de la forma de onda a lo largo del tiempo.

35 Se sabe que la radiación terahercios puede ser usada para determinar el contenido de agua de las plantas, en particular, el contenido de agua de las hojas (Jördens y otros: *J. Biol. Phys.* 35: 255-264 (2009); Gente y otros: *J. Infrared Milli Terahertz Waves* 34: 316-323 (2013); JP 2009/042207 A). Además con la ayuda de la espectroscopía de terahercios la densidad de la madera puede ser determinada (Koch y otros.: *Wood Sc. y Techn.* 32: 421-427 (1998)) o la infestación de la madera con nematodos (Liang y otros: *PIERS Proceedings, Taipei, Marzo 25-28, 2013*: 430-433).

40 La presente invención está basada en el uso de la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo para caracterizar las semillas. La caracterización se refiere a los parámetros, los cuales permiten que las semillas sean asignadas a las diferentes clases de calidad. Tales parámetros incluyen, en particular, estructuras morfológicas de las semillas, tales como la presencia de ciertos elementos estructurales en el interior del grano de semilla (por ej., la presencia de un embrión) o la disposición de elementos estructurales en el interior de la semilla (por ej., dos embriones en una en una testa o en dos testas).

45 En un primer aspecto de la invención, un método para la clasificación y/o separación de las semillas se proporciona, donde las semillas son clasificadas y/o separadas usando radiación en el rango de terahercios, por ejemplo, por medio de espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo.

55 Un segundo aspecto de la invención es el uso de espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo para la clasificación y/o separación de las semillas.

Un tercer aspecto de la invención se refiere a las semillas que han sido clasificadas y/o separadas por medio de espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo.

El método para la clasificación y/o separación de las semillas de acuerdo al primer aspecto de la invención podría incluir los siguientes pasos:

- 5 - Aplicar un pulso de terahercios al grano de semilla
  - Medir la señal generada por el pulso de terahercios después de la transmisión y/o reflexión mediante el grano de semilla
  - Determinar la amplitud, retardo de tiempo, fase y/o espectro de la señal debido a la transmisión y/o reflexión, y
  - Asignar el grano de semilla a una clase de semilla predeterminada
- 10 Además, el método para clasificar y/o separar las semillas de acuerdo al primer aspecto de la invención podría también incluir un paso previo de introducir un grano de semilla dentro del rango de medición de la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo y/o un paso posterior de remover el grano de semilla del rango de medición de la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo.
- 15 En una modalidad del método, el grano de semilla es asignado a una clase de semilla predeterminada sobre la base de una calibración de la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo sobre la base de valores de referencia y/o granos de referencia para, por lo menos, una de las clases de semilla, preferentemente para la clase de semilla deseada, es decir, la clase de semilla con la semilla de alta calidad. En otra modalidad, la calibración de la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo es realizada sobre la base de valores de referencia y/o granos de referencia para cada una de las clases de semilla provistas.
- 20 Mediante la clasificación de una pluralidad de granos de semilla de una muestra, la calidad de la muestra puede ser determinada verificando cuán grande es la cantidad de granos de semillas de cada clase de semilla en la muestra. La clasificación de los granos de semillas individuales es hecha sobre la base de una pluralidad de granos de semillas en una espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo una después de otra.
- 25 En una modalidad adicional y/o alternativa, el grano de semilla es separado de acuerdo a su clasificación después de ser removido del rango de medición del espectrómetro de terahercios. Esta modalidad hace posible separar los granos de semilla que no pertenecen a la clase de semilla deseada. De esta manera, es posible también mejorar la calidad de la semilla con este método ya que solamente los granos de semilla de la clase deseada pueden ser usados para procesamiento o producción de semilla adicional. Los granos de semilla que no pertenecen a la clase de semilla deseada pueden ser separados antes del procesamiento adicional de las semillas.
- 30 De acuerdo al primer aspecto de la invención, el método para la clasificación y/o separación de semillas tiene una precisión de separación de preferentemente, por lo menos, 75%, 76%, 77%, 78%, 79% u 80%, especialmente preferentemente, por lo menos, 81%, 82%, 83%, 84%, 85%, 86%, 87%, 88%, 89% ó 90% y mayormente especialmente preferentemente, por lo menos, 90%, 91%, 92%, 93%, 94%, 95%, 96%, 97%, 97,5%, 98%, 98,5%, 99%, 99,5% ó 100%.
- 35 En una modalidad adicional o alternativa del método la semilla será clasificada y/o separada con la ayuda de la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo, por ejemplo, de acuerdo al tamaño de los granos de semilla. Es posible de esta manera proporcionar solamente los granos de semilla del mismo o aproximadamente el mismo calibre al método para la clasificación y/o separación de las semillas. En esta modalidad, las semillas son así calibradas antes de ser clasificadas. Esta modalidad puede además aumentar la precisión de la clasificación y/o separación de
- 40 la semilla según sea necesario.
- En una modalidad del método de acuerdo al primer aspecto de la invención, la radiación de THz del pulso de THz tiene una frecuencia de, por lo menos 0,1 THz, preferentemente, por lo menos, 0,5 THz, especialmente preferentemente, por lo menos 1 THz y mayormente especialmente preferentemente, por lo menos, 5 THz.
- 45 En una modalidad alternativa y/o adicional, la radiación de THz del pulso de THz tiene una frecuencia de no más de 10 THz, preferentemente no más de 6 THz, especialmente preferentemente no más de 4 THz y mayormente especialmente preferentemente no más de 3 THz.
- En una modalidad alternativa y/o adicional, el pulso de THz tiene una duración en el rango de aprox. 3ps a aprox. 25 ps, preferentemente aprox. 5 ps a aprox. 20 ps y especialmente aprox. 15 ps. En particular, esto es preferentemente un láser de femtosegundo, el cual está linealmente polarizado, que emite a 1560 nm u opera a una potencia de salida de láser promedio de >60 mW con una frecuencia de repetición de 100 MHz. Una longitud de pulso de <90 fs después
- 50 de 2,5 metros de fibra óptica es especialmente preferida.
- En una modalidad adicional o alternativa, el espectrómetro de terahercios tiene uno o más de los siguientes componentes: una fuente láser, preferentemente con fibra óptica, una zona de retardo con un rango de exploración de preferentemente 0-300 ps, una antena emisora de terahercios y una antena receptora de terahercios, óptica

compatible con los terahercios, un amplificador sincrónico y/o una unidad computacional con un programa de medición para la adquisición y análisis de datos. El espectrómetro especialmente preferentemente ofrece un rango dinámico de >70 dB y un rango espectral de >3,5 THz.

- 5 En una modalidad particularmente preferida, una medición de terahercios es realizada con las siguientes configuraciones: un rango de medición espectral de 0,01–10 THz y un retardo de 0-104 ps con un intervalo de 0,05 ps. El tiempo de integración por ajuste de retardo es 30 ms, el cual arroja un tiempo de medición total de aprox. 1 minuto por grano de semilla.

Puesto que la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo es un método no destructivo sin contacto, cualquier semilla puede ser clasificada y/o separada en principio con la ayuda de este método.

- 10 En una modalidad del método de acuerdo al primer aspecto de la invención, la semilla es seleccionada del grupo de frutos en las cuales el pericarpio o una porción del pericarpio, es decir, el endocarpio, el mesocarpio y/o el exocarpio, está lignificado.

- 15 En una modalidad adicional o alternativa, las semillas son seleccionadas del grupo comprendiendo semillas de verduras, semillas de cereales, granos de frutos con cuesco, granos de bayas, nueces y granos de cola de zorro (amaranto).

En una modalidad adicional o alternativa, las semillas de verduras son seleccionadas de un grupo comprendiendo semillas de lechuga, semillas de verduras crucíferas (*Brassica*), semillas de verduras de florecimiento, verduras de frutos, verduras de tuberosas, verduras de bulbo, legumbres y otras verduras.

- 20 - Lechuga de huerta (*Lactuca sativa* L.), por ejemplo, lechuga de cabeza (*Lactuca sativa* L. var. *capitata* L.), lechuga de hoja (*Lactuca sativa* L. var. *crispa* L.), lechuga romana (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia* L.), lechuga espárrago (*Lactuca sativa* var. *angustana*) y lechuga iceberg,  
 - Achicoria común (*Cichorium intybus* L.), por ejemplo, achicoria radicchio (head chicory) (*Cichorium intybus* var. *foliosum*) y endibia (*Cichorium endivia* L.),  
 25 - Rúcula, arúgula (*Diplotaxis tenuifolia* or *Eruca sativa*), acelga (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*), espinaca (*Spinacia oleracea* L.), espinaca de China (*Ipomoea aquatica* FORSSK.), espinaca de orzaga (*Atriplex hortensis* L.), berros (*Nasturtium officinale* R.BR.), verdolaga (*Portulaca* ssp. *sativa* (HAW.) ČEL.), verdolaga de invierno (= espinaca de Cuba, portulaca de invierno, lechuga de minero *Claytonia perfoliata* DONN. EX WILLD), espinaca de Malabar, espinaca de India (*Basella alba*), espinaca de Nueva Zelanda, espinaca de Nueva Zelanda (*Tetragonia tetragonioides*), planta para el dolor de muelas (Jambú, *Acmella oleracea* (L.) R.K.JANSEN), hojas de yute (*Corchorus olitorius* L.), escaracha (*Mesembryanthemum crystallinum*), lirio del día, por ej., lirio amarillo-rojo (*Hemerocallis fulva* L.), bledo de fresa (*Chenopodium capitatum* (L.) ASCH.), hierba del buen Rey Henry (*Chenopodium bonus-henricus* L.), y bardana (*Rumex*).

- 35 Las plantas crucíferas se refieren a verduras del tipo *Brassica*, incluyendo repollo mediterráneo (*B. fruticulosa*), repollo rojo, también llamado mostaza de India o mostaza de Sarepta, (*B. juncea*), colza y rutabaga (*B. napus*), por ejemplo, rutabaga, nabo sueco, colza (*B. napus* subsp. *rapifera* MTZG.), nabo (*B. napus* subsp. *napus* L.) y col de nabo (*B. napus* subsp. *pabularia*), mostaza negra (*B. nigra* (L.) KOCH), colinano (*B. oleracea* L.), por ejemplo, coliflor (*B. oleracea* var. *botrytis* L.) tal como coliflor Romanesco (*B. oleracea* convar. *botrytis* var. *botrytis* L.), brócoli (*B. oleracea* var. *italica* Plenck), colinabo (*B. oleracea* var. *gongylodes* L.), repollo de cabeza (*B. oleracea* convar. *capitata* L.), repollo rojo (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *rubra* L.), repollo blanco (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *alba* L.) tal como el mencionado repollo y col rizada (*B. oleracea* convar. *capitata* var. *sabauda* L.), col de Bruselas (*B. oleracea* var. *gemmifera* DC.); col rizada (*B. oleracea* var. *sabauda* L.); col de Jersey (palm kale) (*Brassica oleracea* var. *palmifolia* DC.); col de meollo (marrow-stem kale) (*B. oleracea* var. *medullosa* Thell.); *Brassica* (*B. rapa* L.) tal como canola (*B. rapa* subsp. *oleifera*); (*B. rapa* subsp. *pekinensis*); pak choi (*B. rapa* subsp. *chinensis*) and nabo de Mayo, nabo de otoño, nabo blanco, nabo de Teltow, nabo de Bavaria (*B. rapa* subsp. *rapa*), por ejemplo, rapini.

- 45 Los verduras de frutos incluyen alcachofa *Cynara scolymus*), zapallo (*Curcubita pepo* subsp. *pepo* convar. *giromontiina*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.), brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck), coliflor Romanesco (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *botrytis*), lirios (*Lilium* L.) (familia de lirios) y dalias (*Dahlia* CAV.).

Los verduras de frutos deben entenderse según lo siguiente en el sentido de la invención:

- Sandía (*Citrullus lanatus* (THUNB.) MATSUM. & NAKAI.),  
 50 - Pepino (*Cucumis* L.), por ejemplo, melón amarillo (*Cucumis melo* L.), kiwano (*Cucumis metuliferus* E.MEY. EX NAUDIN) y pepino (*Cucumis sativus* L.),  
 - Calabacitas, calabazas y zapallo (*Cucurbita*), por ejemplo, calabacín vegetal, zapallo, calabaza espagueti (*C. pepo* L.), calabaza de invierno o calabacín vegetal (*C. maxima*), calabacita de campo (*C. moschata*) y calabaza Figleaf o calabacita de Asia (*C. ficifolia*),

- Melón amargo (*Momordica L.*), jícaros (*Lagenaria siceraria (MOLINA) STANDL.*), esponja verdura (*Luffa MILL.*), sechium, por ejemplo, chayote = cristofina, (*Sechium edule (JACQ.) SW.*), tomate (*Solanum lycopersicum L.*), pimientos (*Capsicum L.*), amaranto (*Amaranthus L.*), berenjenas (*Solanum melongena*), palta (*Persea americana MILL.*), oca (*Abelmoschus esculentus (L.) MOENCH.*), y árbol de pan (*Artocarpus altitis (PARKINS. EX DU ROI) FOSB. CORR. ST. JOHN.*)

5

Las verduras de raíz incluyen verduras de tubérculos y bulbo. Los tubérculos incluyen zanahoria, zanahoria púrpura (*Daucus carota L. ssp. sativus*), remolacha, remolacha roja (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*), nabo sueco, nabo sueco (*Brassica napus* subsp. *rapifera*), nabo de Mayo (*Brassica rapa* subsp. *rapa* var. *majalis*) y nabo de Teltow (*Brassica rapa* subsp. *rapa* var. *pygmaea*), rábano picante (*A Armoracia rusticana GAERTN.MEY. & SCHERB.*), rabanito (*Raphanus sativus L. subsp. sativus*), rábano daikon (*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*), rábano negro de invierno (*Raphanus sativus* subsp. *niger* var. *niger*), rábano japonés (wasabi) (*Wasabia japonica MATSUM.*), papa (*Solanum tuberosum L.*), salsifí negro (*Scorzonera hispanica L.*), chirivía (*Pastinaca sativa*), hierba de avena bulbosa (*Petroselinum crispum* subsp. *tuberosum*), apio (*Apium graveolens*), perifollo de nabo de raíz o perifollo bulboso (*Chaerophyllum bulbosum L.*), vaina de loto (*Nelumbo*) y ñame chino (*Dioscorea L.*).

10

15

Las verduras de bulbo incluyen la familia de puerros (*Allium*), por ejemplo, cebolla puerro *Allium (A. cepa L.)*, cebollín, cebolla de primavera (*A. fistulosum L.*), ajo (*A. sativum L.*), chalota (*A. ascalonicum STRAND.*), puerros (*A. porrum L.*), cebolla perla (*Allium porrum* var. *sectivum*) y ajo silvestre (*Allium ursinum*).

Las legumbres incluyen:

- *Phaseolus*

20

- Haba de Lima (*Phaseolus lunatus L.*), haba de Lima
- Poroto tepari (*Phaseolus acutifolius A.GRAY*)
- Ayocote (*Phaseolus coccineus L.*), alubia blanca
- Poroto común, poroto enano, poroto trepador (*Phaseolus vulgaris L.*)

- Variedades:

25

- Porotos de riñón
- Grano caracol (Peaberry)
- Porotos Pinto
- Porotos negros, porotos de Brasil
- Porotos blancos

30

- Soya (*Glycine max (L.) Merrill*)
- Arvejas (*Pisum*)

- Guisantes (Shelling peas) (*Pisum sativum L. convar. sativum*), también conocidos como porotos de Pahlis
- Guisante "Marrow peas" (*Pisum sativum L. convar. medullare Alef. emend. C.O. Lehm*)

35

- Guisantes de azúcar (*Pisum sativum L. convar. axiphium Alef emend. C.O. Lehm*), también conocidos como arvejas de nieve o arvejas de (azúcar) "sugar snap"
- Vaina de arvejas gigantes (*Pisum granda sneida L. convar. sneidulo p. shneiderium*)

- Corte de hoja de alfalfa (*Medicago L.*)

- Alfalfa común, alfalfa (*M. sativa L.*)

- Garbanzo (*Cicer arietinum L.*)

40

- Lentejas (*Lens*), (*Lens culinaris Medik.*)
- Lupinos (*Lupinus L.*)
- Alverjanas (*Vicia L.*)

- Habas (Field bean), haba gruesa (broad bean), haba inglesa (English bean) (*Vicia faba* L.)
- Guisantes dulces (*Lathyrus* L.)
- Guisante de hierba (*Lathyrus sativus* L.)
- Cacahuete (Earthnut pea) (*Lathyrus tuberosus* L.)
- 5 ● *Vigna*
- Poroto seco (Mat bean), gramo de Turquía (*Vigna aconitifolia* (Jacq.) Maréchal)
- Poroto Adzuki (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & H. Ohashi)
- Lenteja negra, gramo negro (*Vigna mungo* (L.) Hepper)
- Frijol verde (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek), "brotes de soya"
- 10 ○ Cacahuete de Bambara (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.)
- Poroto de arroz (Rice bean) (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & H. Ohashi)
- Poroto Zombi (*Vigna vexillata* (L.) A. Rich.) (ningún nombre alemán)
- Arveja de vaca (Cowpea) (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), en las tres subespecies:
  - Poroto espárrago (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*)
  - 15 ▪ Arveja de vaca (Cowpea) (*Vigna unguiculata* subsp. *unguiculata*)
  - Poroto Catjang (*Vigna unguiculata* subsp. *cylindrica*)
- Arveja verde tropical (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)
- *Macrotyloma*
- Cacahuete (*Macrotyloma geocarpum* (Harms) Maréchal & Baudet)
- 20 ○ Gramo de caballo (*Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc.)
- Poroto de Goa (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC.)
- Poroto de ñame africano (*Sphenostylis stenocarpa* (Hochst. ex A. Rich.) Harms)
- Poroto jacinto (Hyacinth bean), poroto bonavist, poroto de Egipto (lablab bean) (*Lablab purpureus* (L.) Sweet)
- Poroto Guar, algarrobilla, algarroba (*Cyamopsis tetragonolobus* (L.) Taub.)
- 25 ● *Canavalia*
- Poroto sable (Jack bean) (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.)
- Poroto espada (Sword bean) (*Canavalia gladiata* (Jacq.) DC.)

De las otras verduras, las siguientes serán entendidas de acuerdo a la invención, por ejemplo: hierba tortuga (turtleweed) (*Batis* L.), castaña de agua china (*Eleocharis dulcis*), malvaviscos (*Althaea officinalis* L.), hinojo (*Foeniculum vulgare* (L.) Mill.), espárrago (*Asparagus officinalis* L.), ruibarbo común (*Rheum rhabarbarum*), ruibarbo japonés (*Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.), cilantro (*Coriandrum sativum* L.), camote (*Ipomoea batatas* L.), quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), colza sueca (*Brassica napus*), mimosa de agua (*Neptunia oleracea* Lour.), yuca "maniok", mandioca, cassava, cassava o yuca en América Latina (*Manihot esculenta* Crantz), ñame de Nueva Zelanda u oca (*Oxalis tuberosa*), olluco, melloco o ullucus (*Ullucus tuberosus*), mashua, también capuchina tuberosa (tuberous nasturtium) (*Tropaeolum tuberosum*), raíz de yacón (*Smallanthus sonchifolius*), alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus*) y girasol (*Helianthus annuus*).

En una modalidad adicional y/o alternativa, la semilla de cereal es seleccionada del grupo compuesto de semillas de trigo (*Triticum spec.*), centeno (*Secale spec.*), cebada (*Hordeum spec.*), triticale, avena (*Avena spec.*), maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza spec.*), triticale y mijo (*Sorghum spec.*, *Panicum spec.*, *Pennisetum spec.* y otros). El trigo también incluye trigo de un grano o escanda pequeña (*T. monococcum*), centeno blanco (ameliacorn) (*T. dicoccum*), trigo duro (*T. durum*), kamut (*T. durum x polonicum*), escanda (*T. spelta*) y trigo blando (*T. aestivum*). Por otra parte, el mijo también incluye mijo "broomtail millet" o mijo común (*Panicum miliaceum*), mijo chino (*Setaria italica*), sorgo (*Sorghum bicolor* y otros),

mijo perla (*Pennisetum glaucum*), mijo dedo o pasto de cangrejo (crabgrass) (*Eleusine coracana*), tef o hierba de mata anual (*Eragrostis tef*) y fonio (*Digitaria exilis*).

5 El grupo de nueces en el sentido de la botánica, tales como hayuco (beechnut), avellana, nuez de nogal (*Juglans regia*), castaña española (Maroni), bellota, semilla de cáñamo, nuez de macadamia, nuez sicómoro, nuez tagua o castaña de agua. Estas también incluyen los así llamados frutos agregados tales como frutilla. Sin embargo, este grupo también incluye nueces que no son nueces en el sentido de la botánica. Éstas incluyen, por ejemplo, la nuez de marañón, las chufas (tigernuts) o cacahuete (*Arachis hypogaea*), coco, almendra, nuez moscada, nuez de Brasil, nuez pecana, pistacho o nuez de karité.

10 De los frutos con cuesco, solamente el pericarpio interior está lignificado. Los frutos con cuesco incluyen, por ejemplo, mango, ciruela Mirabel, nectarino, durazno, ciruela, damasco, oliva, cereza.

Agregación de drupas = frambuesa, zarzamora.

Las bayas incluyen bananas, fruto cítrico, dátiles, melones, papayas kiwis, y la familia de hierba mora tal como pimientas, tomates, tomate de árbol, manzana "horseapple", berenjena.

15 En el sentido de la presente invención, la familia de amaranto incluye, por ejemplo, remolacha (*Beta vulgaris vulgaris*), espinaca, remolacha forrajera, acelga y quínoa.

20 Las ventajas del método de acuerdo a la invención incluyen el hecho que no es necesario usar ninguna radiación ionizante, la cual es dañina para la salud y podría dañar las semillas, para el análisis no destructivo de los granos de semillas. Este método permite una clasificación de las semillas con una alta precisión. Por otra parte, el método es rápido y puede ser automatizado, de tal modo que puede ser usado no solamente en el control de proceso sino también en el proceso actual de clasificación y separación de la semilla. La presente invención, por lo tanto, también incluye el método para la clasificación y/o separación de las semillas, en el cual la clasificación y/o separación es/son realizadas automáticamente.

25 Con el segundo aspecto de la invención, se extiende también al uso de la espectroscopía de terahercios en el dominio de tiempo para clasificar y/o separar la semilla, especialmente para clasificar y/o separar las semillas enumeradas en conexión con el método de acuerdo al primer aspecto de la invención.

Los diseños y modalidades de la presente invención son descritos en una forma de ejemplo con respecto a las figuras adjuntas en donde:

Figura 1: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de remolacha. Esta figura muestra el espectro promedio de las respectivas clases.

30 Figura 2: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de remolacha. Detalle de la Figura 1 en el rango de 12–24 ps. Esta figura muestra el espectro promedio de las respectivas clases.

Figura 3: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de remolacha. Detalle de la Figura 1 en el rango de 45–70 ps. Esta figura muestra el espectro promedio de las respectivas clases.

35 Figura 4: muestra el espectro de fase de las semillas de remolacha. Esta figura muestra el espectro promedio de las respectivas clases.

Figura 5: muestra el espectro de fase de las semillas de remolacha. Detalle de la Figura 4 en el rango de 0,2–2 THz. Esta figura muestra el espectro promedio de las respectivas clases.

Figura 6: muestra el espectro de coeficiente de absorción de las semillas de remolacha. Esta figura muestra el espectro promedio de las respectivas clases.

40 Figura 7: muestra el espectro de coeficiente de absorción de las semillas de remolacha. Detalle de la Figura 6 en el rango de 0,1–0,6 THz. Esta figura muestra el espectro promedio de las respectivas clases.

Figura 8: muestra el espectro de índice de refracción de las semillas de remolacha. Esta figura muestra el espectro promedio de las respectivas clases

45 Figura 9: muestra el espectro de índice de refracción de las semillas de remolacha. Detalle de la Figura 8 en el rango de 0,1–2 THz. Esta figura muestra el espectro promedio de las respectivas clases.

Figura 10: análisis de componentes principales de las semillas de remolacha: diagrama de puntuación de los componentes principales 1 y 2.

Figura 11: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de cebolla. Esta figura muestra el espectro promedio de las dos clases.

Figura 12: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de cebolla. Detalle de la Figura 11 en el rango de 12–24 ps. Esta figura muestra el espectro promedio de las dos clases.

Figura 13: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de cebolla. Detalle de la Figura 11 en el rango de 45–70 ps. Esta figura muestra el espectro promedio de las dos clases.

5 Figura 14: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de pimienta. Esta figura muestra el espectro promedio de las dos clases.

Figura 15: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de pimienta. Detalle de la Figura 14 en el rango de 12–24 ps. Esta figura muestra el espectro promedio de las dos clases.

10 Figura 16: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de pimienta. Detalle de la Figura 14 en el rango de 45–70 ps. Esta figura muestra el espectro promedio de las dos clases.

Figura 17: muestra el análisis de componentes principales de las semillas de cebolla: diagrama de puntuación de los componentes principales 1 y 2.

Figura 18: muestra el análisis de componentes principales de las semillas de pimienta: diagrama de puntuación de los componentes principales 1 y 2.

15 Figura 19: muestra el espectro de dominio de tiempo de las semillas de girasol. Esta figura muestra el espectro promedio de las dos clases.

Figura 20: muestra el análisis de componentes principales de las semillas de girasol: diagrama de puntuación de los componentes principales 1 y 2.

Muestras de semillas:

20 La calidad del método de clasificación y separación de semillas de acuerdo a la invención es demostrada abajo en las semillas de diversos tipos de cultivos, tal como la remolacha (*B. vulgaris*), cebolla (*A. cepa*), pimienta (*Capsicum*) y girasol (*H. annuus*). La evaluación de la idoneidad del método de acuerdo a la invención está basada en el procedimiento de diagnóstico de rayos X realizado previamente en el laboratorio para clasificar las semillas. La clasificación lograda basada en el procedimiento de diagnóstico de rayos X es referida abajo como “clase actual”.

25 Remolachas:

30 Las semillas de remolacha son divididas en 6 calibres basados en la geometría del grano y densidad del grano. Los granos de semilla de cada calibre son sometidos a diagnósticos de rayos X clasificando los granos de semillas individuales dentro de las clases 1 a la 6 descritas arriba. La clase 1 se refiere abajo como “vacía”, clase 2 como “llena”, clase 3 como “– levemente encogida”, clase 4 como “severamente encogida”, clase 5 como “melliza” y clase 6 como “bigermen”.

Cebollas y pimientas:

35 Las semillas de las variedades de cebolla y pimienta son divididas en dos calibres basados en la geometría del grano y densidad del grano para cada variedad. Los granos de semillas son sometidos a un procedimiento de diagnóstico de rayos X. En el caso de la cebolla y pimienta es aconsejable clasificar las semillas dentro de las clases “llena”, y “encogida”, donde la clase “encogida” podría contener granos de las clases “vacía”, “levemente encogida” y “severamente encogida”.

Girasol:

40 En contraste con las dos variedades de verduras descritas arriba, con los girasoles no hay clasificación de las semillas en calibres. Los granos de semillas también fueron sometidos a un procedimiento de diagnóstico de rayos X. Como fue el caso con la cebolla y pimienta, es aconsejable que en el caso del girasol se clasifiquen las semillas en las clases “llena” y “encogida” o “arrugada”.

Especificaciones para el espectrómetro de terahercios:

45 Las mediciones fueron realizadas con el espectrómetro de terahercios en el dominio de tiempo "TERA K15" de *Menlo Systems GmbH*, Martinsried, Alemania. El espectrómetro "TERA K15" compuesto de una fuente láser con fibra óptica, una zona de retardo con un rango de exploración de 0-300 ps, una antena emisora de terahercios TERA15-TX-FC y una antena receptora de terahercios TERA15-RX-FC ajustándose con la anterior, óptica compatible con terahercios, un amplificador sincrónico TERA-C y un computador con un programa de medición para la adquisición y análisis de datos.

El espectrómetro ofrece un rango dinámico de >70 dB y un rango espectral de >3,5 THz. El láser de femtosegundos incorporado está linealmente polarizado, emite a 1560 nm con una frecuencia de repetición de 100 MHz con una potencia de salida de láser promedio de >60 mW. La longitud de pulso después de 2,5 m de fibra óptica es <90 fs.

- 5 Para medir los granos de semillas de todas las variedades de verduras, las siguientes configuraciones y parámetros de medición son seleccionados: un rango de medición espectral de 0.01-10 THz y un retardo de 0-104 ps con un intervalo de 0,05 ps. El tiempo de integración por posición de retardo es 30 mseg, el cual produce un tiempo de medición total de aprox. 1 minuto por grano de semilla.

Realizando las mediciones en terahercios:

- 10 Para la medición, un grano de semilla según lo descrito arriba es ubicado en el punto focal del haz de terahercios. Un pulso de terahercios es luego aplicado al grano de semilla. El pulso de terahercios es generado por la antena transmisora, pasa a través de los lentes, es enfocado e interactúa con el grano de semilla. La antena detectora registra la señal generada por el pulso de terahercios después de la transmisión y/o reflexión mediante el grano de semilla. Los pulsos de terahercios múltiples son aplicados típicamente al grano de semilla, incluso con tiempos de retardo diferentes. La señal de la antena detectora es leída por un computador usando un programa de medición y la amplitud determinada de transmisión y/o determinada de reflexión, el retardo de tiempo, la fase y/o el espectro de la señal es/son determinados. En los pasos adicionales, el coeficiente de absorción y el índice de refracción del grano de semilla pueden ser calculados.

Evaluación y resultados

- 20 En la siguiente modalidad, el método para la clasificación es llevado a cabo usando radiación de terahercios sobre la base de un calibre.

Remolachas:

- 25 Las Figuras 1-3 muestran el espectro en dominio de tiempo de la semilla de un calibre de ejemplo (3,16-3,50 mm), donde un espectro promedio ha sido formado para cada clase. La Figura 1 muestra el espectro completo, pero las Figuras 2 y 3 muestran los detalles para ilustrar las diferencias en el espectro. El espectro de seis clases muestra diferencias definidas, por ejemplo en el rango de 15-22 ps.

Por otra parte, el espectro de la fase, el coeficiente de absorción y el índice de refracción también divulgaron diferencias en una comparación de las clases dentro de un calibre, según lo mostrado en las Figuras 4-9. Las Figuras 4, 6 y 8 cada una muestra el espectro completo y las Figuras 5, 7 y 9 cada una muestra un detalle ampliado de la fase, el coeficiente de absorción y el índice de refracción.

- 30 La información en los dominios de tiempo, la fase, el coeficiente de absorción y el índice de refracción y/o combinaciones de allí pueden ser usados para la clasificación. En la modalidad en el presente caso, por ejemplo, solamente el espectro del dominio de tiempo es usado para la clasificación; la situación es similar con los otros tipos de frutos enumerados abajo.

- 35 Para ilustrar las diferencias en el espectro en dominio de tiempo y para además investigar los datos, el análisis es calculado realizando un análisis de componente principal (PLS Toolbox Version 7.9.1, Eigenvector Research, Inc., Wenatchee, Estados Unidos de Norteamérica basado en Matlab® 2014b, The MathWorks GmbH, Ismaning, Alemania). La Figura 10 muestra el diagrama de puntuación de los componentes principales 1 y 2. Las clases "vacía", "levemente encogida", "severamente encogida", "melliza" y "bigermen" ocupan un espacio de componente principal en los cuadrantes II, III y IV y son así claramente diferenciados de las clases "llena" y otro grupo de la clase "vacía" en el cuadrante I. El límite entre las clases "llena" y "vacía" en el cuadrante I no es alto, es decir, algunas muestras de estas dos clases podrían coincidir en parte.

- 45 Para enfatizar las diferencias en los datos, los datos en bruto son optimizados para procesamiento adicional, por ejemplo, por medio del [método] Savitzky-Golay (A. Savitzky; M. J. E. Golay (1964). "Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures"; Química Analítica 36 (8): 1627-1639) o mover el filtro de alisamiento promedio (Guía del Científico e Ingeniero para el Procesamiento de Señal Digital, capítulo 15 – Moving Average Filters, por Steven W. Smith, 11/17/2001), donde el alisamiento puede ser también complementado con una derivación. En el segundo paso de procesamiento de datos el set de datos entero es dividido en dos sets de datos independientes por medio del algoritmo Kennard-Stone (R. W. Kennard, R. W. y L. A. Stone (1969) Computer aided design of experiments. Technometrics 11(1), 137-148) (también PLS Toolbox Version 7.9.1, Eigenvector Research, Inc. Wenatchee, Estados Unidos de Norteamérica basado en Matlab® 2014b, The MathWorks GmbH, Ismaning, Alemania). Los datos seleccionados usando el algoritmo Kennard-Stone es entonces usado para crear el modelo de clasificación y los datos restantes son validados con este set de datos.

- 55 Diversos algoritmos tales como "Algoritmo vecino más cercano-k" (abreviado KNN (K-Nearest Neighbor)) puede ser usado para la clasificación (N. S. Altman (1992), "An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression," The American Statistician 46 (3): 175–185. doi:10.1080/00031305.1992.10475879) o la máquina de vector de soporte ((abreviada SVM (Support Vector Machine)) (N. Cristianini y J. Shawe-Taylor (2000), An Introduction

to *Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods*, Primera edición (Cambridge: Cambridge University Press)) podría ser usada para la clasificación.

- 5 La evaluación de la clasificación es determinada por medio de los siguientes factores de calidad: verdadero positivo, verdadero falso, falso positivo y falso negativo. Dado que, según lo descrito arriba la separación de las clases "llena" del resto de las clases es de principal preocupación, entonces los factores de calidad son definidos de la siguiente manera: en el caso de verdadero positivo, la semilla asignada a la clase actual "llena" es correctamente asignada a la clase "llena"; en el caso de un verdadero negativo, la semilla de otra clase actual es correctamente no asignada a la clase "llena"; en el caso de un falso negativo, la semilla de la clase actual "llena" es falsamente asignada a otra clase; y con una semilla falso positivo de otra clase actual es falsamente asignada a la clase "llena".
- 10 La tabla 1 muestra la clasificación de los granos de semilla del set de datos de validación. La clasificación logra factores de calidad de 100% con un resultado verdadero positivo, 100% con un verdadero negativo, 0% con un falso positivo y 0% con un falso negativo, basado en la clase "llena". Si todas las clases son incluidas, entonces 89% de todos los granos son clasificados correctamente. Este resultado muestra que los granos de semilla de remolacha dentro de un calibre pueden ser clasificados de acuerdo a la presente invención con una alta calidad.
- 15 Tabla 1: Resultado de la clasificación de semillas de remolacha mediante el método de acuerdo a la invención (= clase prevista).

		Clase Actual					
		Vacía	Levemente encogida	Muy encogidas	llena	Melliza	Bigermen
Total		4	11	10	32	37	6
Clase Prevista	Vacía	4	0	0	0	0	0
	Levemente encogida	0	9	3	0	0	0
	Muy encogidas	0	1	7	0	0	0
	llena	0	0	0	32	0	0
	Melliza	0	1	0	0	37	3
	Bigermen	0	0	0	0	0	3

Cebolla y pimienta:

- 20 Según lo ya descrito, solamente la información sobre los dominios de tiempo serán discutidos aquí como un ejemplo. El espectro de dominio de tiempo de las semillas de cebolla y pimienta, cada una de un calibre ejemplar, se muestra en las Figuras 11-16, donde un espectro promedio ha sido formado para cada clase. Las Figures 11 y 14 cada una muestra el espectro completo de las semillas de cebolla y/o semillas de pimienta. Sin embargo, las Figures 12 y 13 para las semillas de cebolla y las Figures 15 y 16 para las semillas de pimienta representan detalles del espectro completo ilustrando las diferencias en el espectro.
- 25 El preprocesamiento y análisis de datos de las semillas de cebolla y pimienta fueron realizados según lo hecho con la remolacha. Primero, un análisis de componente principal fue realizado, luego los datos fueron optimizados usando un filtro de alisamiento y posiblemente una derivación según lo descrito arriba y el set de datos respectivos fue dividido en dos sets de datos independientes por medio del algoritmo Kennard-Stone. Sin embargo, el análisis de componente principal de las semillas de pimienta no fue calculado con los datos en bruto sino que en cambio fue calculado con los
- 30 datos que habían sido ya optimizados.
- El diagrama para la puntuación del análisis de componente principal de las semillas de cebolla es mostrado en la Figura 17. Hay una separación reconocible entre las dos clases "llena" y "encogida", pero los puntos de datos para los dos grupos están situados cerca uno del otro. La situación parece similar en el análisis de componente principal de la pimienta, representado en la Figura 18. Aquí nuevamente, hay una diferenciación reconocible en las dos clases "llena" y "encogida", pero los dos grupos de puntos de datos también están cerca uno del otro.
- 35 El hecho que las diferencias de señal en medio de las semillas de cebolla y pimienta resultan más pequeñas que aquellas con las remolachas pueden ser probablemente atribuidas al tamaño/geometría de las semillas y sus embriones. Las semillas de cebolla son mucho más pequeñas que las semillas de remolacha, mientras las semillas de pimienta son definitivamente más aplanadas.

Una clasificación de las semillas de cebolla y pimienta es posible por medio del método de acuerdo a la invención. La Tabla 2 muestra la clasificación del set de datos de validación de las semillas de cebolla. La calidad de la clasificación es 87,5% verdadero positivo, 12,5% falso negativo, 14,3% falso positivo y 85,7% verdadero negativo. En suma, 86,7% de los granos de semilla de cebolla son clasificados correctamente. La clasificación del set de datos de validación de las semillas de pimienta se muestra en tabla 3. Todos los granos de semilla fueron clasificados correctamente, con 100% de factores de calidad verdadero positivo, 0% falso negativo, 0% falso positivo y 100% verdadero negativo. En suma 100% de los granos de semilla de pimienta fueron clasificados correctamente.

Tabla 2: Resultados de la clasificación de semillas de cebolla mediante el método de acuerdo a la invención (= clase prevista).

		Clase Actual	
		Encogida	Llena
Total		7	8
Clase Prevista	Encogida	6	1
	Llena	1	7

Tabla 3: Resultados de la clasificación de semillas de pimienta con el método de acuerdo a la invención (= clase prevista).

		Clase Actual	
		Encogida	Llena
Total		5	8
Clase Prevista	Encogida	5	0
	Llena	0	8

Girasol:

El espectro de dominio de tiempo de las semillas de girasol se muestra en la Figura 19. Puesto que las semillas no fueron subdivididas de acuerdo al calibre en el caso de las semillas de girasol, la Figura 19 muestra el espectro promedio de las dos clases.

El preprocesamiento y análisis de datos fueron realizados de la misma manera que para las semillas de remolacha, pimienta y cebolla. Sin embargo, el análisis de componente principal de las semillas de girasol no fue calculado usando los datos en bruto, pero en cambio usando los datos que ya habían sido optimizados. La Figura 20 muestra el diagrama de puntuación de ambos componentes principales 1 y 2. Aquí nuevamente, vemos fundamentalmente una separación en las dos clases "llena" y "vacía", pero los puntos de datos adyacentes se solapan.

La clasificación del set de datos de validación de las semillas de girasol se muestra en la tabla 4. La calidad de la clasificación es 98,9% verdadero positivo, 1,1% falso negativo, 0% falso positivo y 100% verdadero negativo. Un total de 99,1% de los granos de semilla de girasol fueron clasificados correctamente.

Tabla 4: Resultados de la clasificación de semillas de girasol utilizando el método según la invención.  
(= Clase pronosticada).

		Clase Actual	
		Encogida	Llena
Total		23	91
Clase Prevista	Encogida	23	1
	Llena	0	90

Estos resultados muestran que el método puede ser usado no solamente para las semillas de remolacha sino también para las semillas de otros tipos de frutos, tal como aquellos mostrados aquí. Además, se ha demostrado que dependiendo de las propiedades de los granos, una clasificación sin una división previa de acuerdo al calibre es también posible.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para caracterizar las estructuras morfológicas de las semillas de remolacha azucarera utilizando la espectroscopía de dominio de tiempo de terahercios, que comprende los pasos:

- 5 - aplicar un pulso de terahercios al grano de semilla de remolacha azucarera,  
- medir la señal generada por el pulso de terahercios después de la transmisión a través del grano de la semilla,  
- determinar la amplitud, el retraso de tiempo, la fase y / o el espectro de la señal debido a la transmisión, y  
- asignar el grano de semilla a una clase de semilla predeterminada con base en la amplitud, retraso de tiempo, fase y/o espectro de la señal y división de la semilla en seis clases diferentes:
- 10 clase 1 – granos vacíos (ningún embrión)  
clase 2 – granos llenos (con un embrión completamente desarrollado)  
clase 3 – levemente encogida o arrugada (con un embrión levemente encogido)  
clase 4 – severamente encogida o arrugada (con un embrión severamente encogido)  
clase 5 – melliza (con dos embriones en una testa)
- 15 clave 6 – bigermen (con dos embriones en dos testas)

2. El método de la reivindicación 1, en donde las estructuras morfológicas se seleccionan a partir de la presencia de ciertos elementos estructurales en el interior del grano de semilla, preferiblemente la presencia de un embrión, o la disposición de elementos estructurales en el interior de la semilla, preferiblemente dos embriones en una testa o en dos testas.

Figura 1

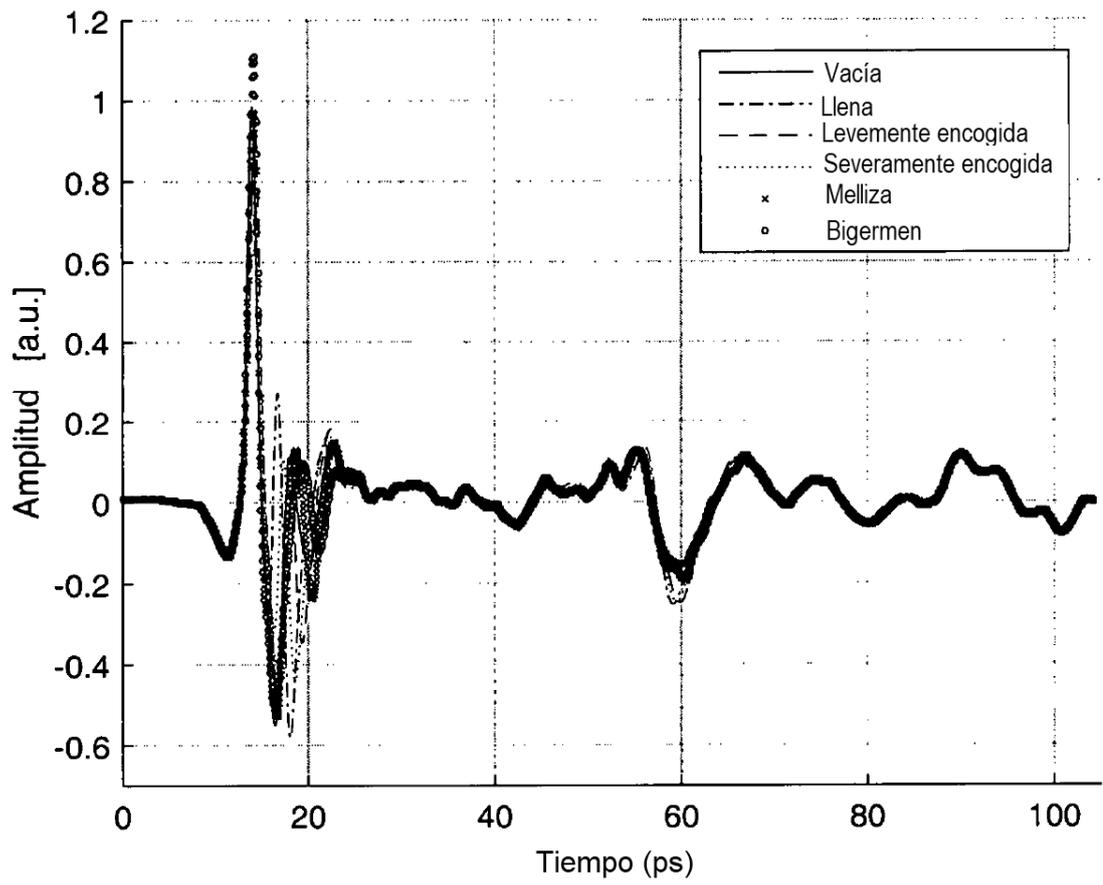


Figura 2

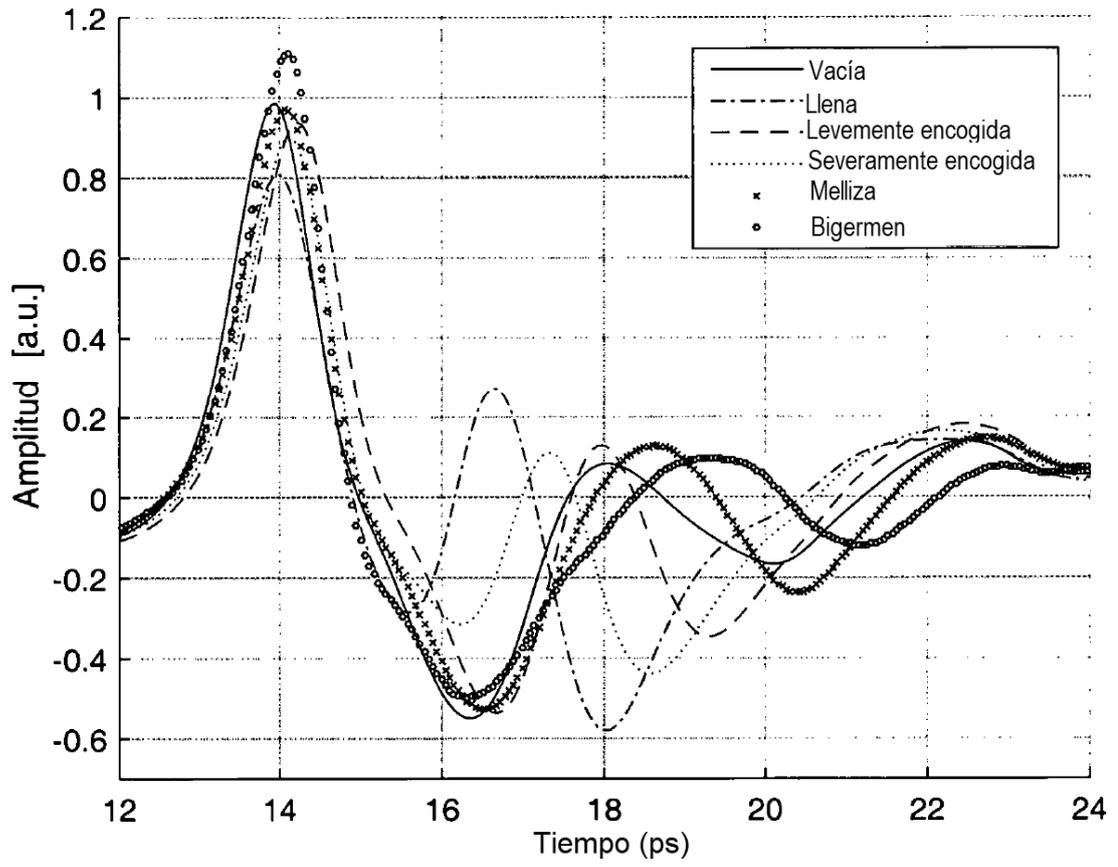


Figura 3

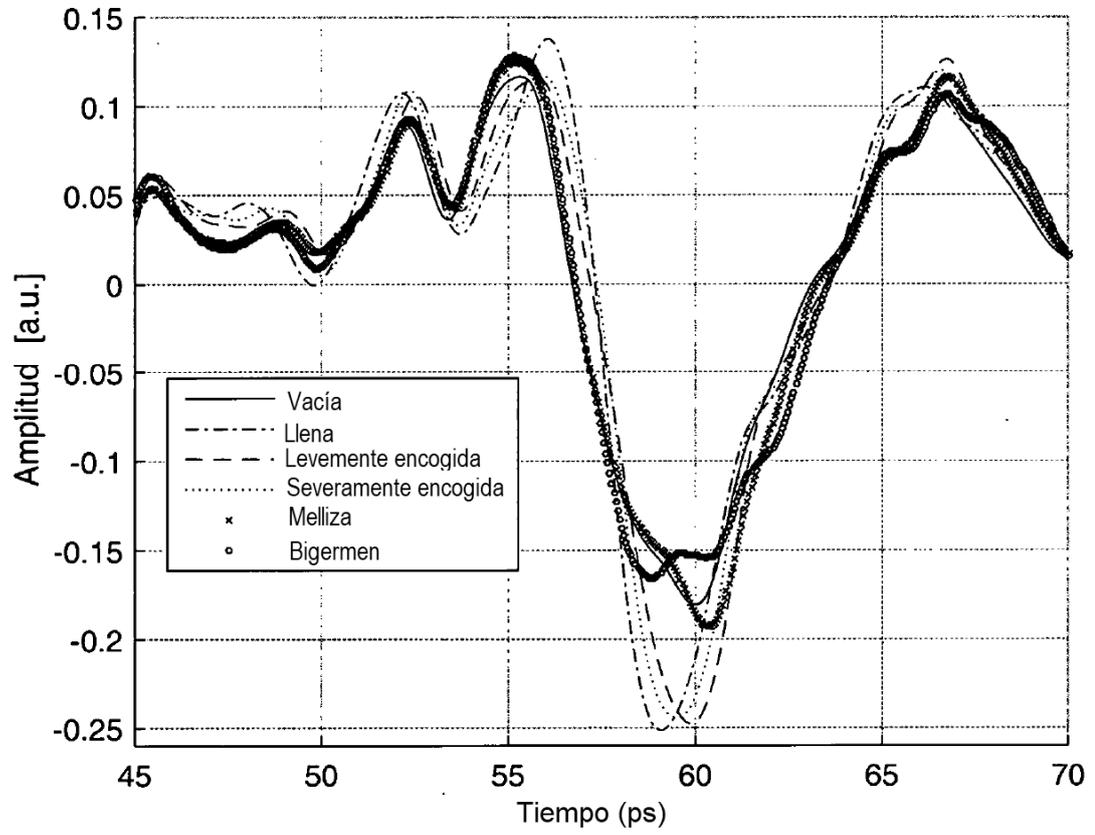


Figura 4

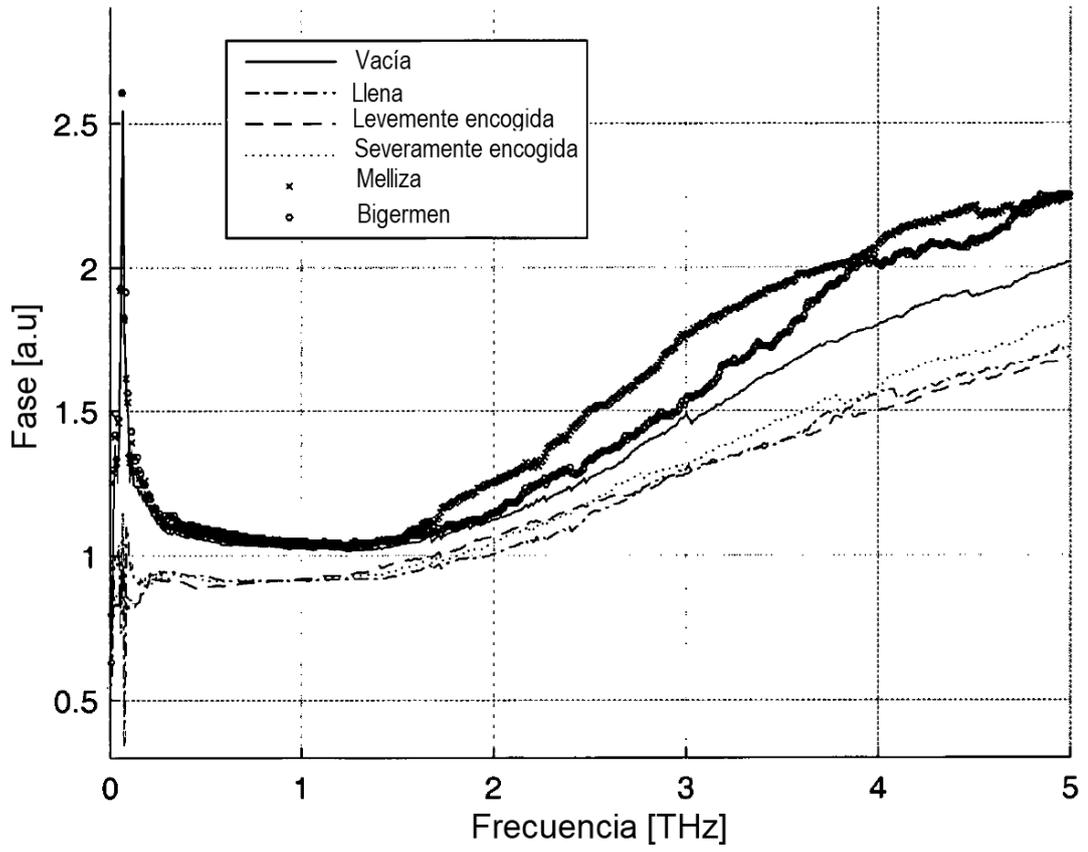


Figura 5

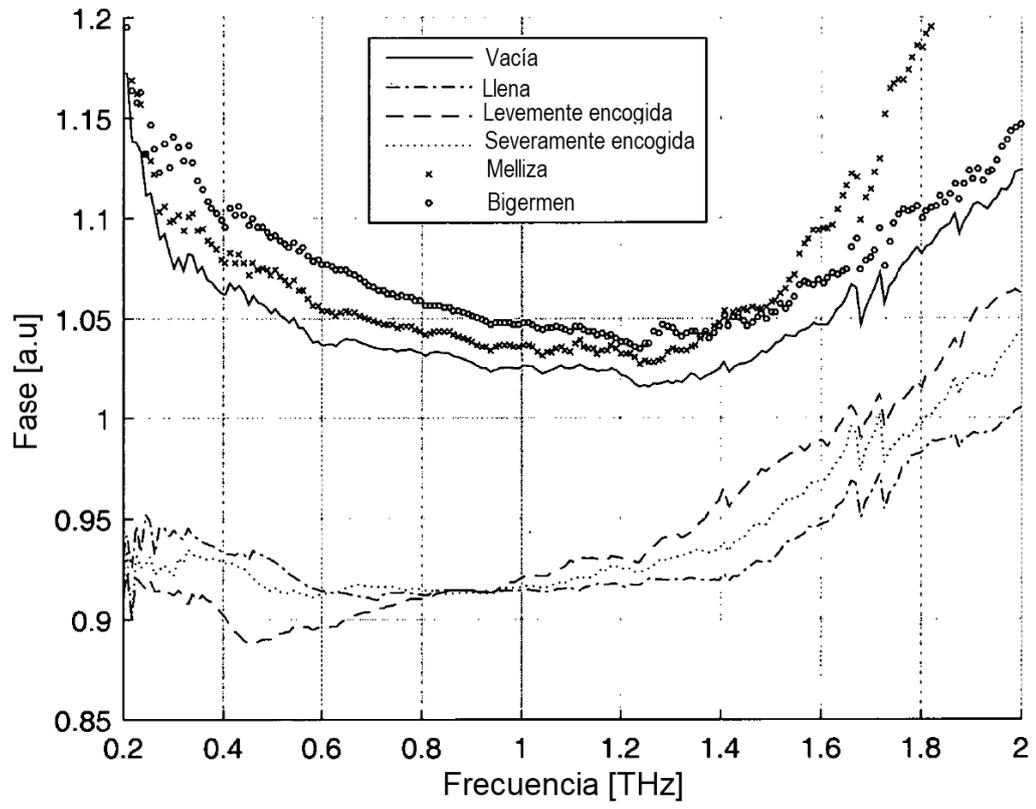


Figura 6

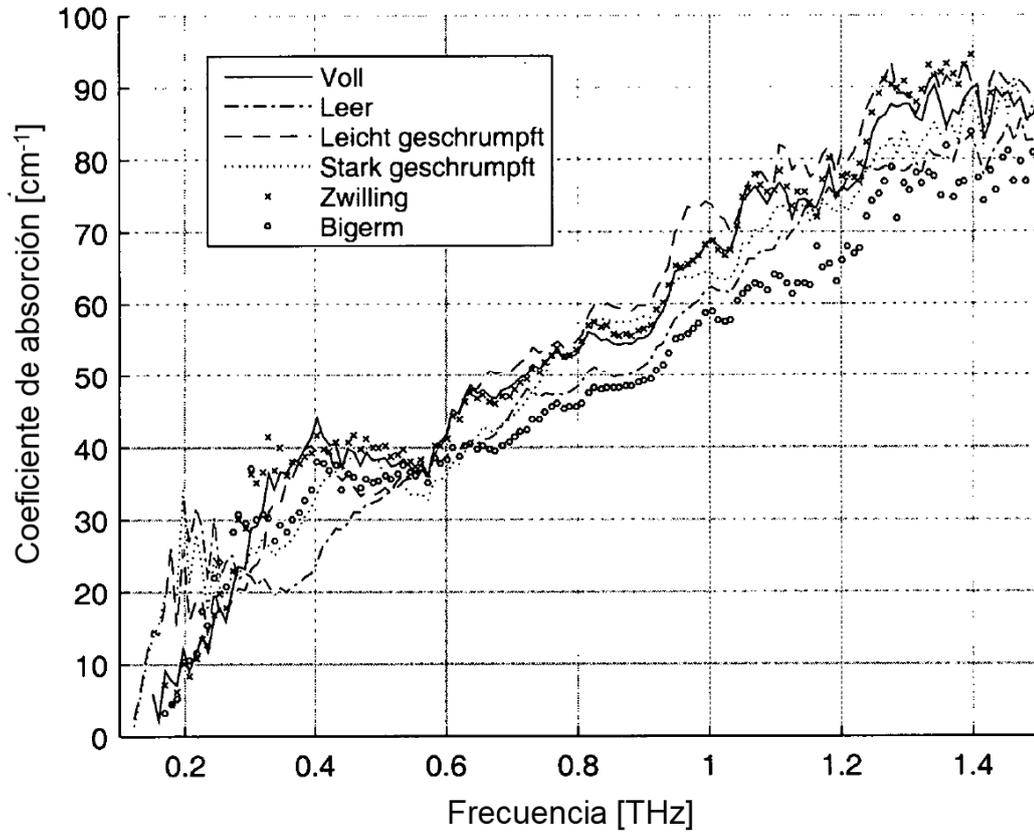


Figura 7

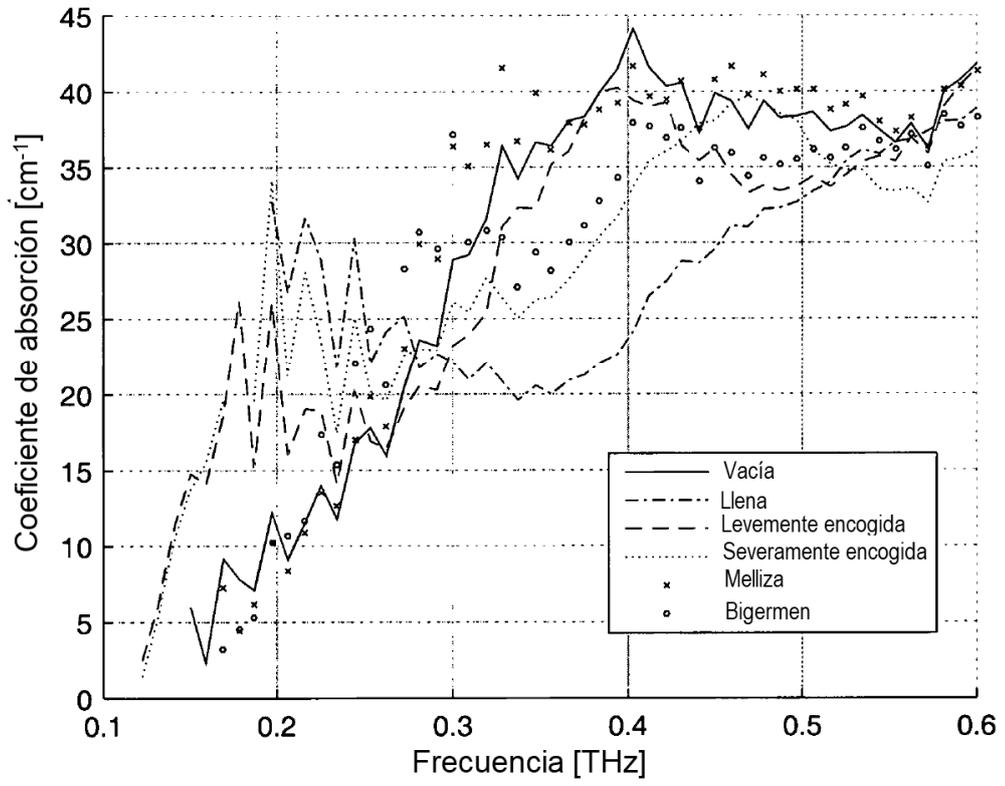


Figura 8

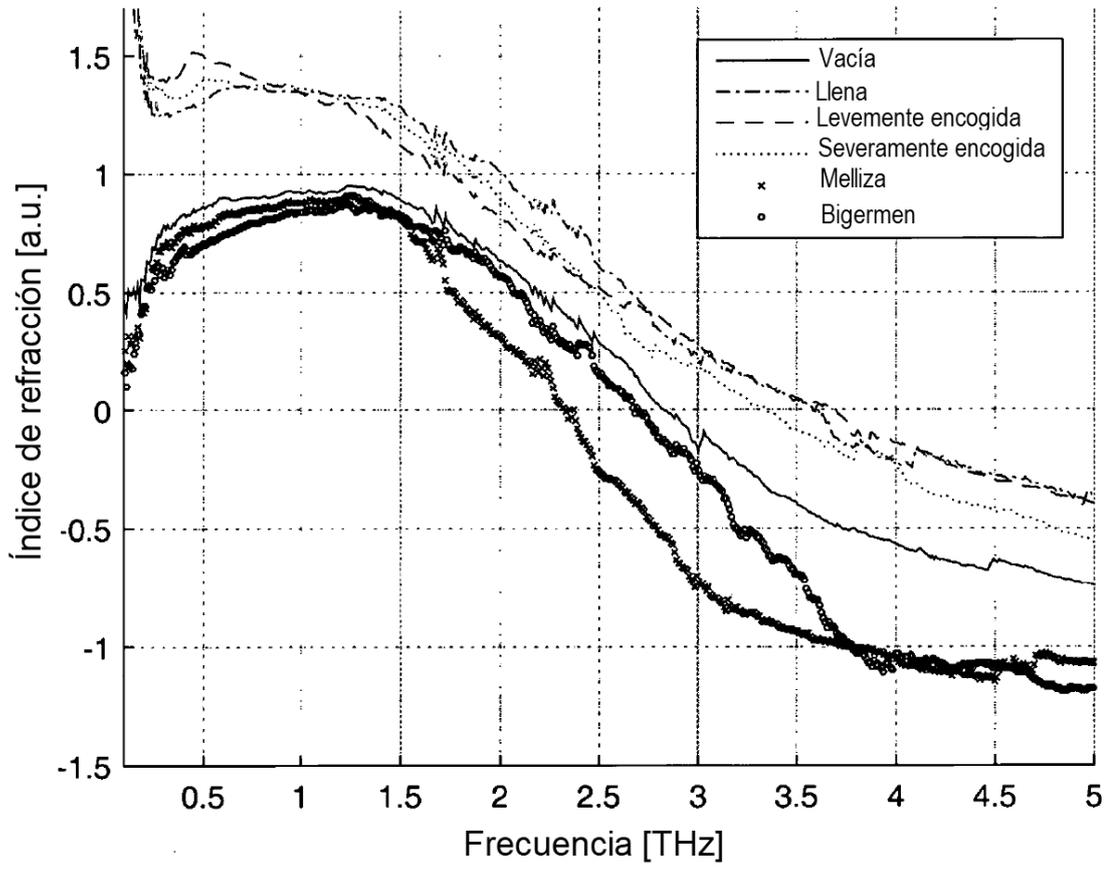


Figura 9

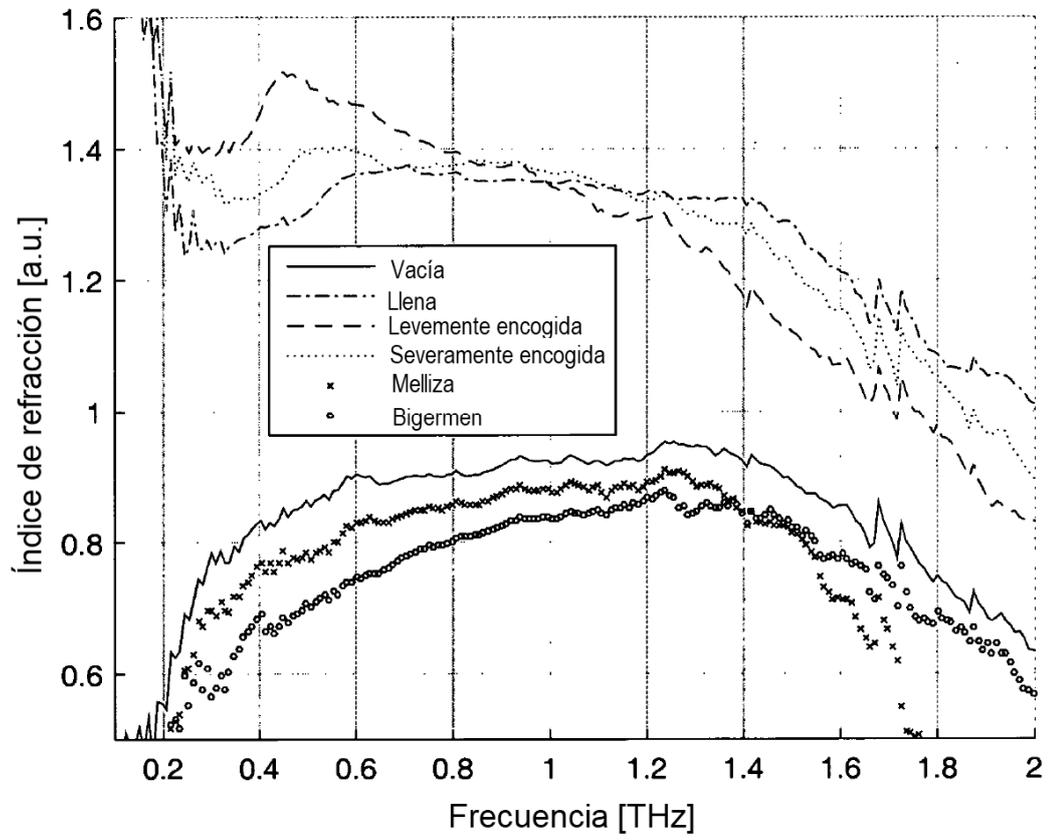


Figura 10

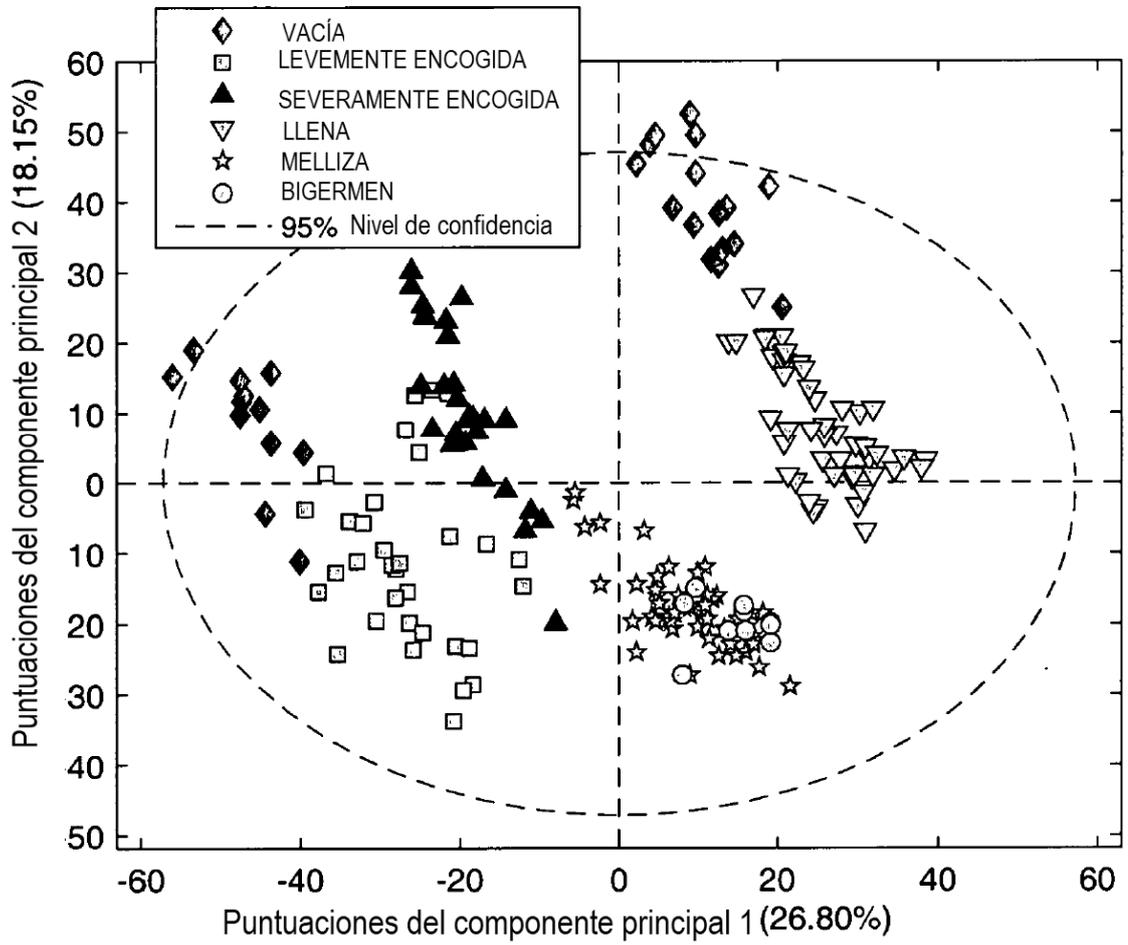


Figura 11

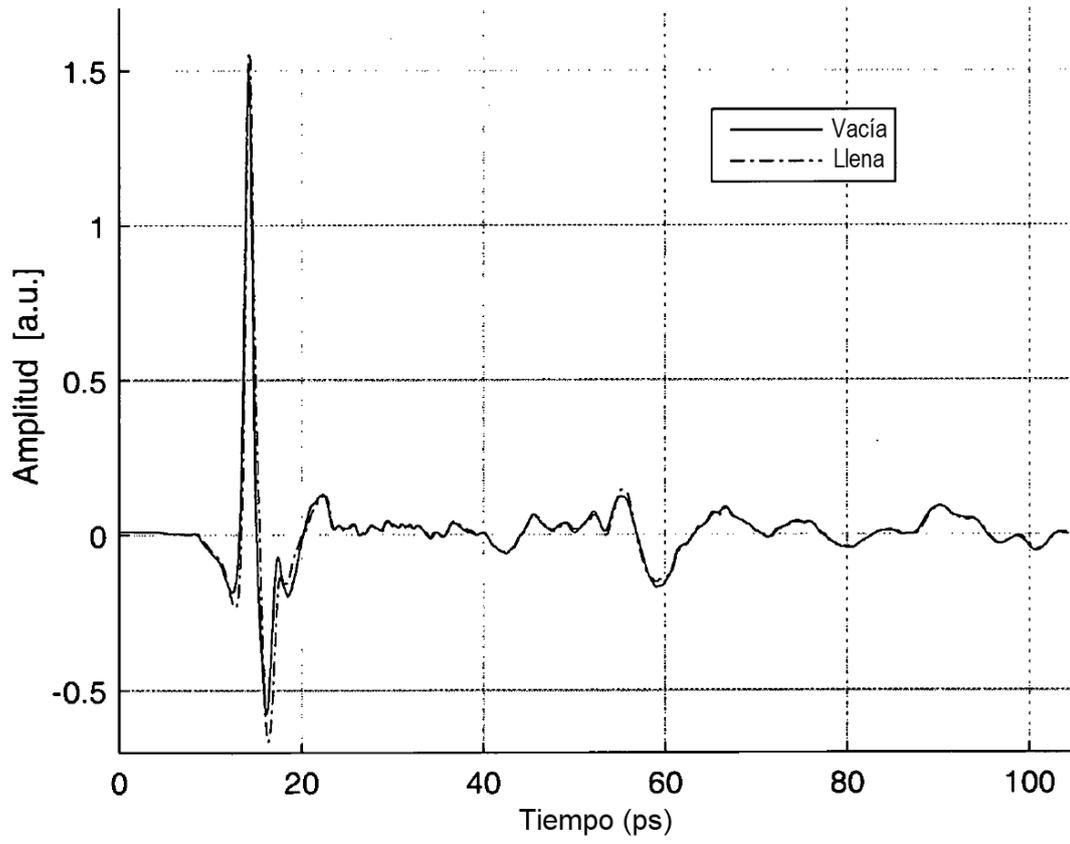


Figura 12

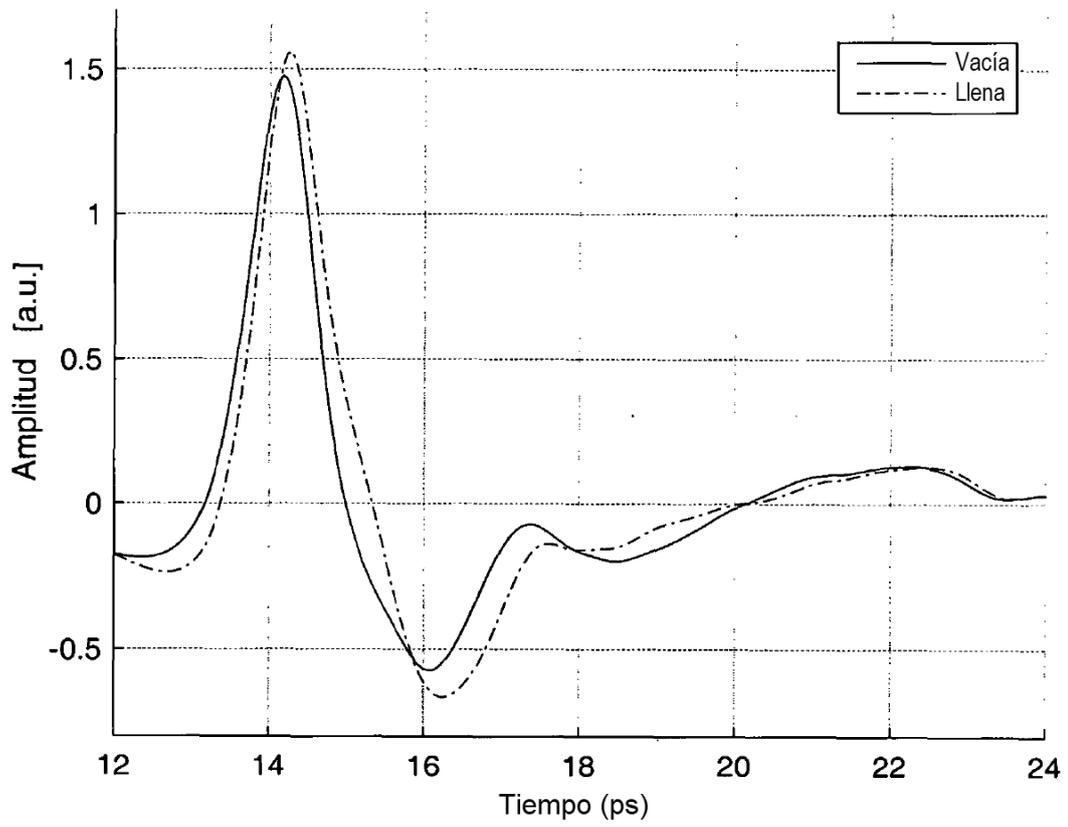


Figura 13

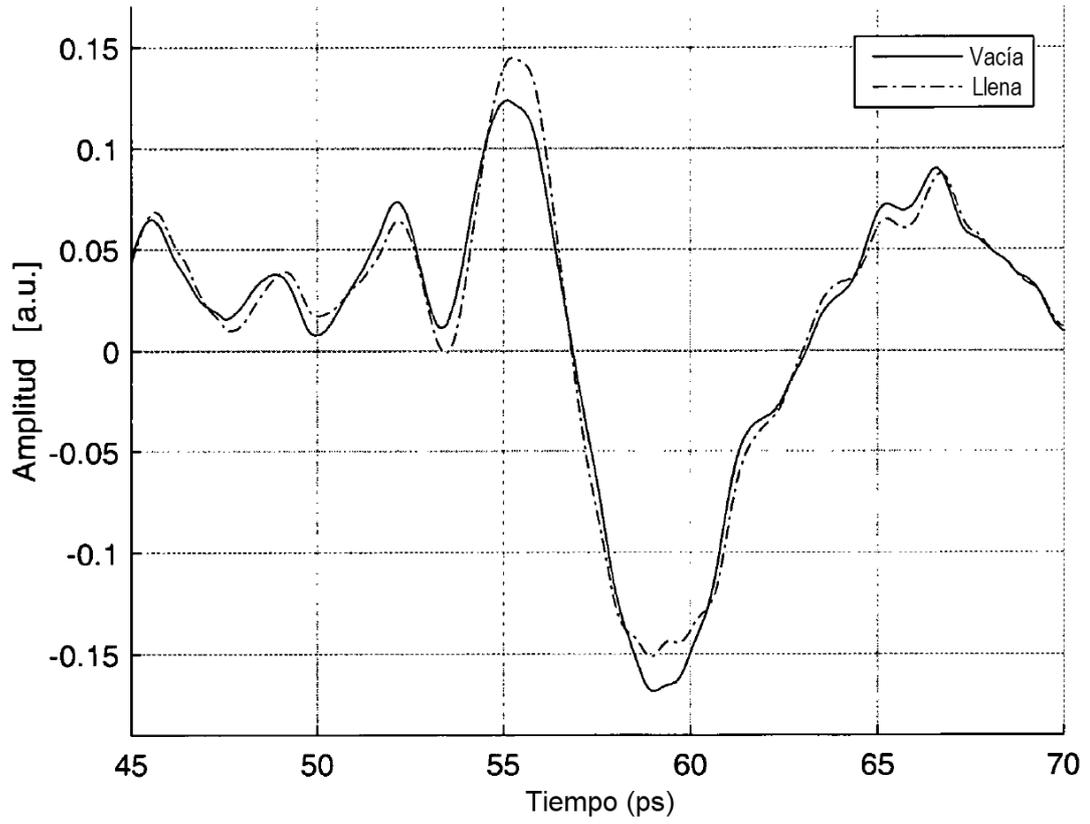


Figura 14

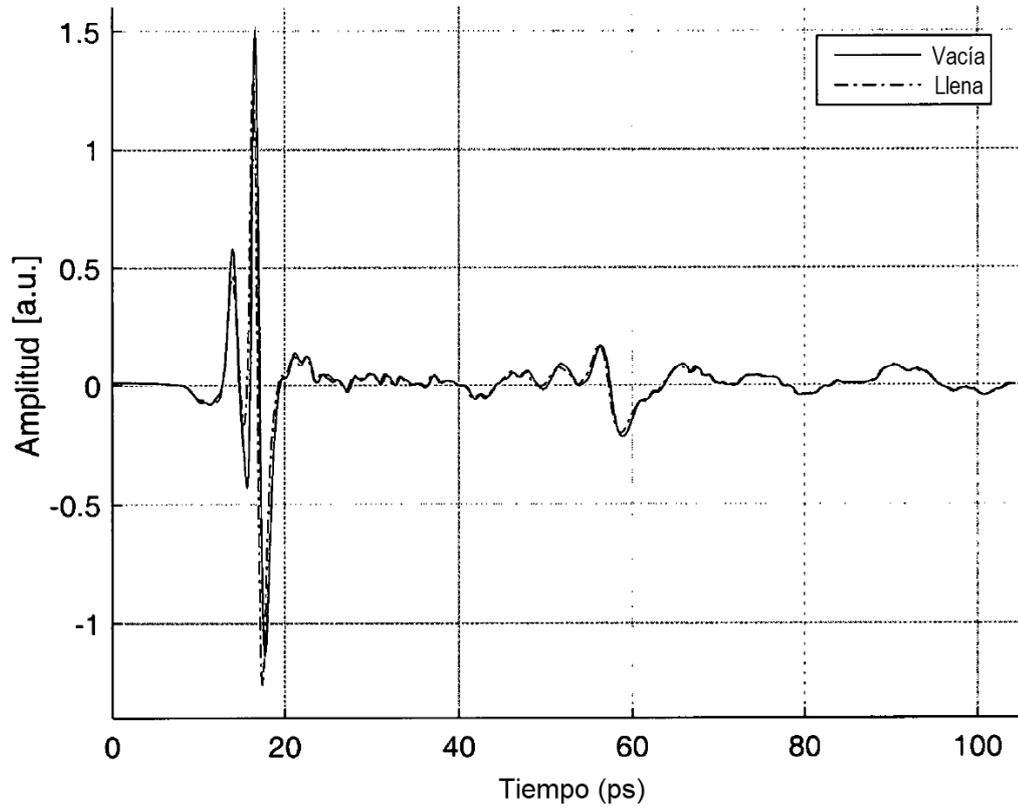


Figura 15

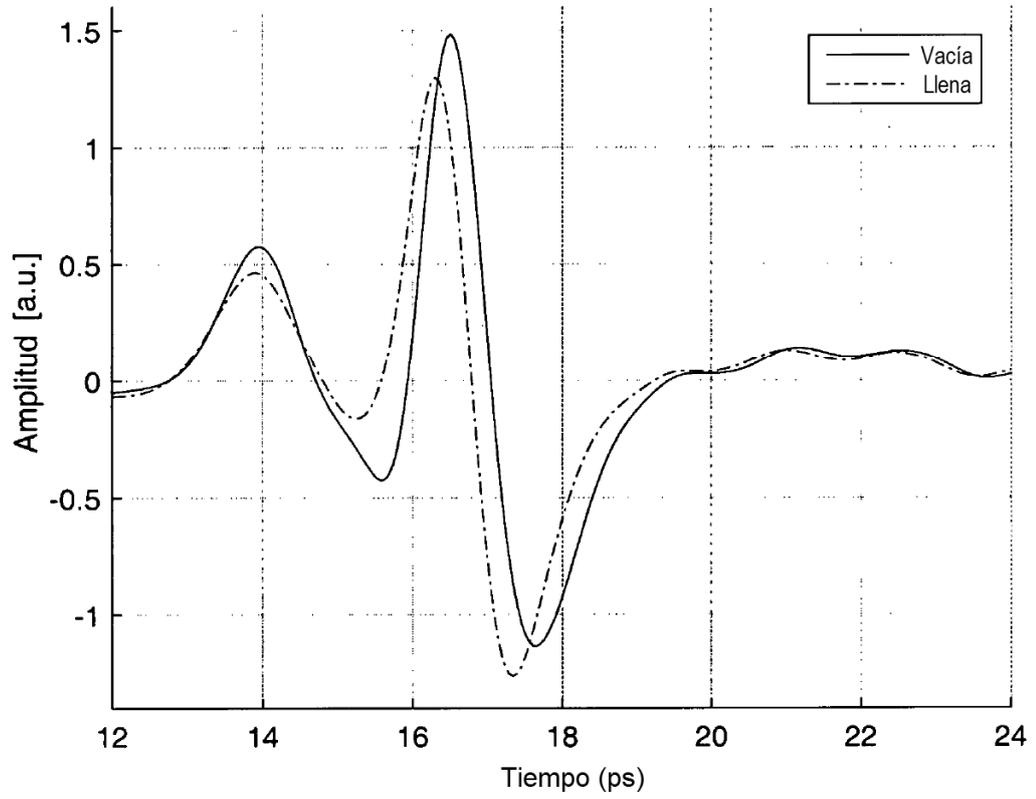


Figura 16

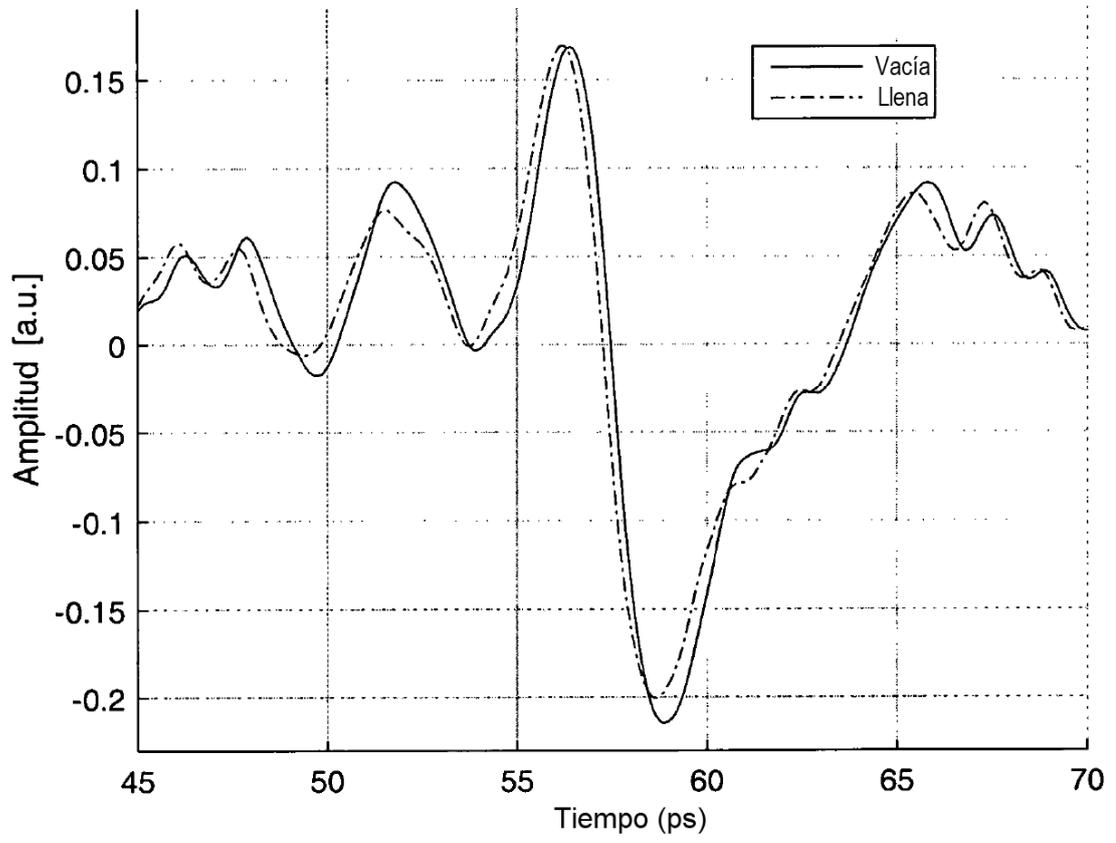


Figura 17

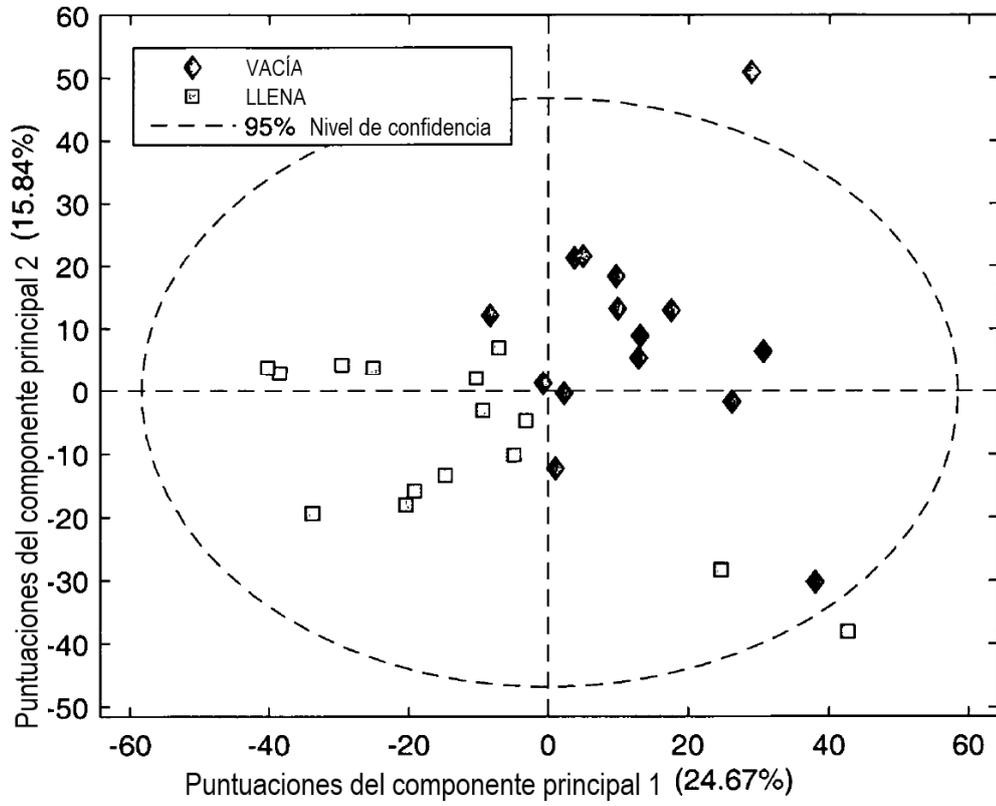


Figura 18

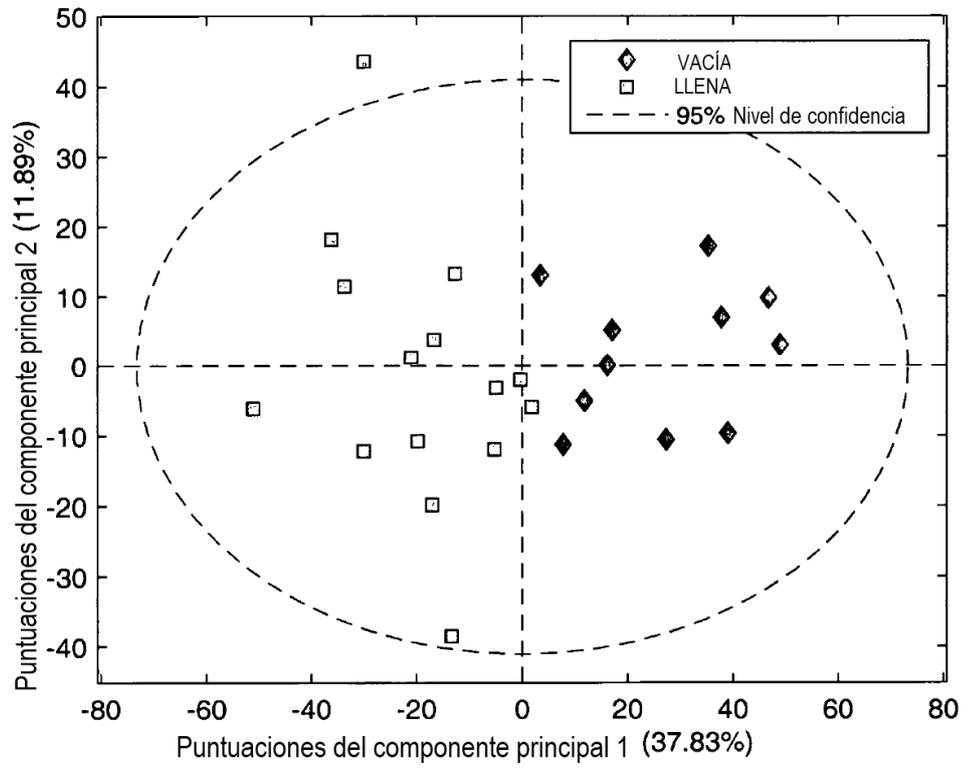


Figura 19

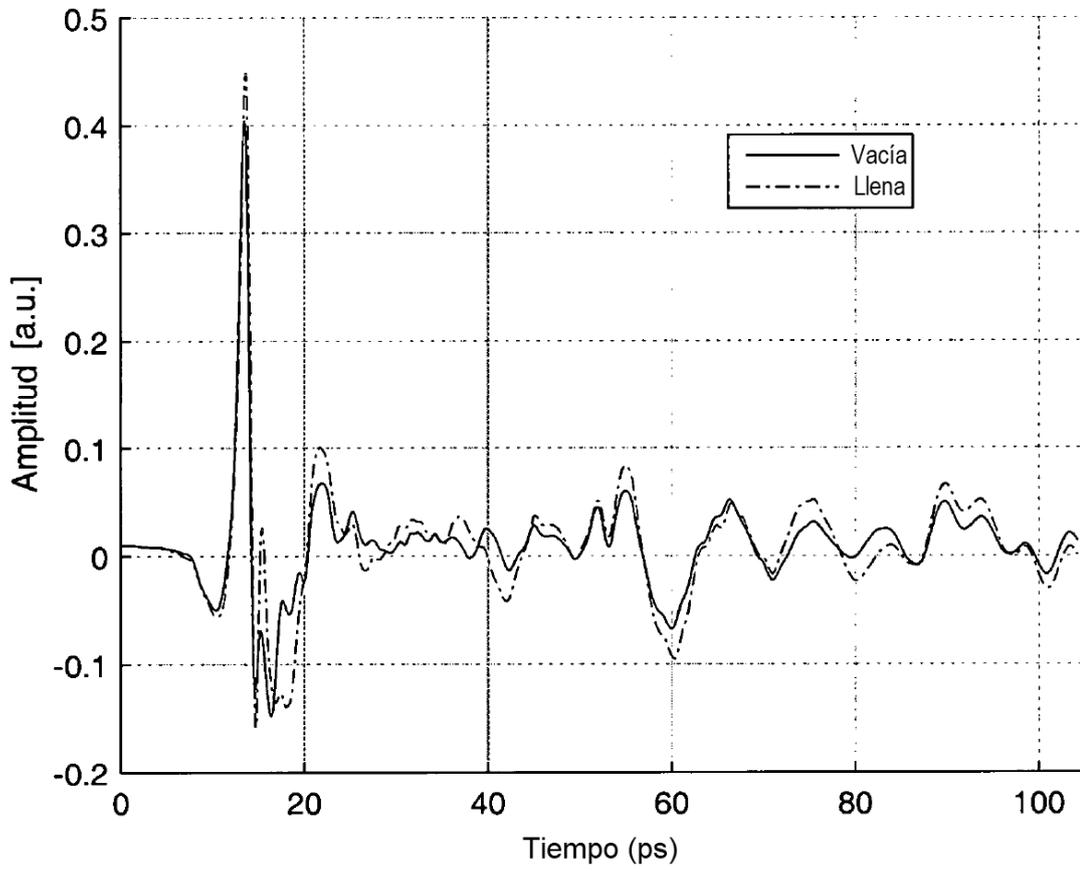


Figura 20

