

Ibérico: evaluación de la alimentación por NIRS

M^ª ROSARIO BENITO. JUAN GARCÍA OLMO. EMILIANO DE PEDRO. ANA GARRIDO. (*)

En el sudoeste de la Península Ibérica se localiza un tipo de cerdo de características muy diferenciadas frente al resto de razas porcinas, como es el cerdo Ibérico. A partir de él, y debido a un sistema de producción en extensivo con aprovechamiento de hierba y bellotas (montaneras), a sus peculiares infiltraciones grasas y al buen saber hacer de ganaderos e industriales, es posible obtener unos productos derivados de exce-

lente calidad, contribuyendo de forma paralela al mantenimiento del ecosistema de la dehesa y de un sector económico de gran importancia para numerosas comarcas del sudoeste español.

Independientemente de los factores que afectan al proceso tecnológico de elaboración de productos, numerosos son los factores de los que depende la calidad de la canal y, por ende, de sus productos derivados. Entre ellos destacan la genética, edad y peso de sacrificio, siendo quizá la

alimentación en su fase de cebo el factor más importante. Así, el propio mercado diferencia a los productos de cerdo Ibérico en función de este último factor (Bellota, Recebo y Pienso). En la actualidad, la mayoría del sector realiza la evaluación de la alimentación en el cebo a través de la determinación, mediante cromatografía de gases, del contenido en ácidos grasos del tejido adiposo de la canal y su posterior comparación con unas especificaciones de calidad defi-

sión de un haz de luz monocromática sobre la muestra, la cual, en función de su composición y de la naturaleza de los enlaces presentes en sus moléculas, realizará una absorción selectiva de energía y reflejará otra determinada cantidad, la cual es cuantificada por unos detectores presentes en el instrumento NIRS. La relación de esta energía reflejada con la composición analítica o características conocidas de muestras de calibración, permite obtener modelos predictivos para el análisis automático e instantáneo de miles de muestras. En trabajos previos desarrollados en el Departamento de Producción Animal (Sección E.T.S.I.A.M.) de la Universidad de Córdoba se han puesto de manifiesto que esta técnica resulta viable no sólo para predecir la composición en ácidos grasos de la grasa de cerdo Ibérico, sino además para clasificar las canales, a partir de esa composición y de su información espectral NIRS (Hervás et al., 1994; De Pedro et al., 1995). En este trabajo se pretende, por una parte, corroborar los resultados previos y por otra evaluar nuevas modalidades de análisis NIRS que puedan ser incorporadas dentro de la línea de producción de las industrias del sector.



Modalidad de análisis NIRS de tejido adiposo de cerdo Ibérico.

Material y métodos

Material experimental

Para este trabajo se han utilizado tres lotes de cerdos, cada uno de ellos compuesto por 15 animales, sometidos a diferente alimentación durante el periodo de cebo (acabado). El primer lote (grupo Bellota) estaba constituido por animales Ibéricos puros que tuvieron un cebo completo en montanera, sin ningún tipo de aporte complementario de pienso. El segundo lote (grupo Recebo) estaba constituido por animales Ibéricos puros en los que el cebo se inició con una alimentación exclusivamente en montanera durante 15 días, una continuación del régimen basado en el consumo de bellota suplementada con un aporte diario de 2 kg. de pienso por animal durante 1 mes y una

nidas por la Asociación Interprofesional del Cerdo Ibérico (a través del Contrato Tipo Homologado), Denominaciones de Origen o industrias en particular.

La tecnología NIRS o espectroscopía en el infrarrojo cercano es una técnica de análisis muy implantada en las industrias agroalimentarias como herramienta de apoyo para el control de calidad de materias primas y productos, debido fundamentalmente a su rapidez en el análisis, bajo coste por muestra, sencillez de manejo, precisión similar a la del método de referencia, nula o escasa preparación de la muestra para su análisis, etc. Esta técnica consiste esencialmente en la emi-

esta técnica consiste esencialmente en la emi-

(*) Departamento de Producción Animal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.

terminación de la alimentación en cebo, con pienso ad libitum durante 19 días. El tercer lote (grupo Pienso) estaba compuesto por cerdos con un cruce genético al 50%, de ascendientes Ibérico y Duroc - Jersey, acabados con pienso comercial ad libitum.

Las muestras de grasa se tomaron de la zona dorsal de la canal (grasa de rabadilla), de acuerdo con las especificaciones que se indican en el Contrato Tipo Homologado. Para evitar cualquier tipo de alteración de la grasa, ésta fue conservada en arcón congelador a -20 °C hasta el momento de la realización de los análisis pertinentes.

Los análisis NIRS se han desarrollado con dos sistemas distintos de presentación de muestra, es decir, con dos modalidades diferentes de interacción de la radiación NIRS con la muestra a analizar.

• *Análisis NIRS sobre tejido adiposo.*

La toma de espectros se realizó, de acuerdo con la metodología descrita por García Olmo et al. (1998), directamente sobre la superficie de la muestra de tejido adiposo (modalidad de interacción-reflectancia). Para ello se empleó un espectrofotómetro Foss-Nirsystem 6500 equipado con sonda de fibra óptica, la cual permite una mayor versatilidad y movilidad a la hora de obtener los espectros NIRS de la muestra. Mediante el uso de dicha sonda se logra que un conjunto de fibras ópticas envíen la radiación hacia la muestra, sobre la cual incide e interacciona, y otro paquete de fibras devuelvan la energía reflejada hacia el instrumento NIRS.

Los valores de absorbancia (función de la energía reflejada por la muestra), se obtuvieron en la región espectral comprendida entre 800 y 2.200 nm, a intervalos de 2 nm.

Una vez obtenidos los espectros directamente sobre el tejido adiposo se procedió a la fusión de las muestras para obtener las correspondientes muestras de grasa líquida. Para ello se empleó la metodología propuesta por De Pedro et al. (1997), basada en una fusión mediante horno microondas. Las muestras así obtenidas se conservaron congeladas a -20 °C en tubos

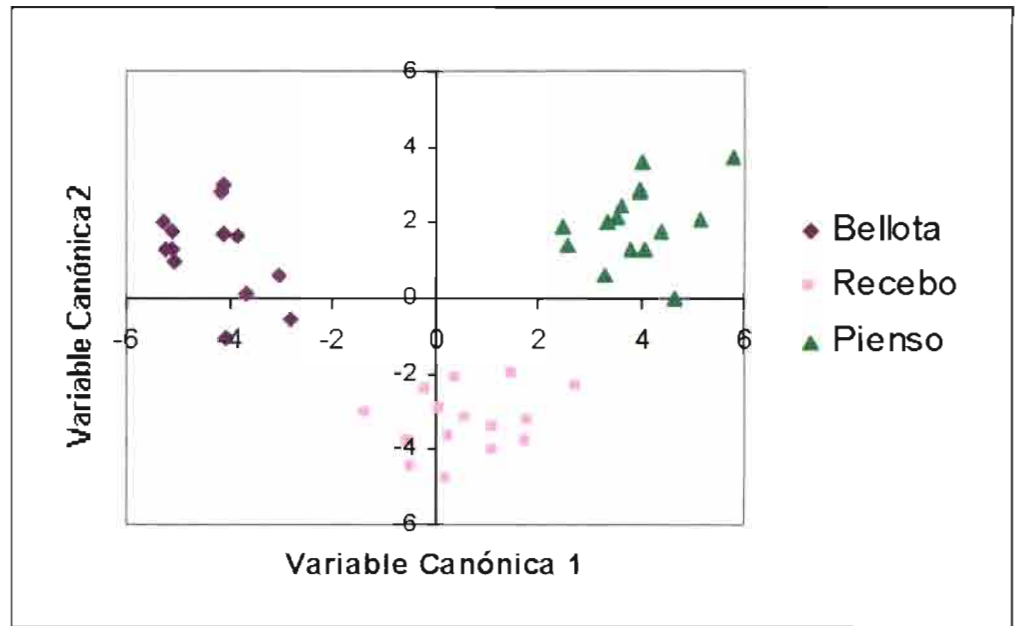


Fig. 1.-Representación de variables canónicas discriminantes a partir de información espectral NIRS de muestras de tejido adiposo.

de plástico de 5 ml para su posterior análisis NIRS en estado líquido.

• *Análisis NIRS sobre grasa fundida.*

Los espectros NIRS de las muestras de grasa líquida se obtuvieron, de acuerdo con las indicaciones de García Olmo (1999), mediante un instrumento Foss-Nirsystem 6500 equipado con módulo de giro. El modo de análisis utilizado en este apartado ha sido el de doble transmisión, en el cual se utiliza una cápsula de 0,1 mm de paso óptico y fondo de material reflectante. En el cristal de la cápsula incidirá la radiación NIRS que, tras incidir sobre la muestra, interacciona con el material reflejándose y atravesando de nuevo la muestra, logrando con ello el fenómeno denominado de doble transmisión o transflectancia.

Los valores espectrales de absorbancia se obtuvieron en el rango comprendido entre 400 y 2.498 nm, a intervalos de 2 nm.

Tanto la instrumentación NIRS empleada como el programa de recogida datos espectrales (ISI[®]), pertenecían a la Unidad de Espectroscopía de Infrarrojo Cercano y Medio del Servicio Central de

Apoyo a la Investigación de la Universidad de Córdoba. Para el tratamiento estadístico de la información espectral obtenida por ambas modalidades de análisis NIRS se empleó el paquete estadístico SAS[®]. Con el objetivo de eliminar la información redundante (colinealidad) existente en los espectros NIRS, tanto de tejido adiposo como grasa fundida, se llevó a cabo un análisis de componentes principales como tratamiento de la información espectral previo al análisis de clasificación.

Resultados y discusión

El objetivo al realizar un análisis de clasificación es comprobar con qué grado las variables analizadas permiten diferenciar correctamente muestras de características conocidas. Para ello, en un principio se establecen criterios estadísticos que permitan estimar las diferencias entre las distintas categorías a evaluar. A continuación se asignan o clasifican muestras de características desconocidas a la categoría correspondiente (Massart et al., 1988).

Para evaluar si es posible diferenciar las 3 categorías estudiadas (Bellota, Recebo y Pienso) a partir de la información obtenida de las muestra (espectros NIRS, tanto de tejido adiposo como grasa líquida), se aplicó un análisis canónico discriminante. Mediante dicho análisis, se calculan unas nuevas variables canónicas, combinación lineal de las variables originales, elegidas de tal manera que se minimice la variabilidad de las muestras de una misma categoría y se maximice la variabilidad entre grupos.

En la **figura 1** se muestran los valores que presentan en el espacio definido por

CUADRO I. Resultados de clasificación en la etapa de validación cruzada, a partir de datos espectrales NIRS de tejido adiposo.

Origen	Clasificado en:		
	Bellota	Recebo	Pienso
Bellota	14	1	-
Recebo	-	13	2
Pienso	-	1	14

Error de clasificación: 9%

las 2 nuevas variables canónicas los espectros obtenidos de las muestras de tejido adiposo. En dicha **figura** cada punto representa el espectro de una muestra de cerdo de cada una de las categorías evaluadas. Tal y como se aprecia, existe un agrupamiento entre los espectros de cada categoría y una plena separación entre los espectros de muestras de tejido adiposo de las 3 categorías (Bellota, Recebo y Pienso). Esto indica que es posible evaluar las diferencias en cuanto a alimentación entre los lotes empleados a partir de su información espectral NIRS.

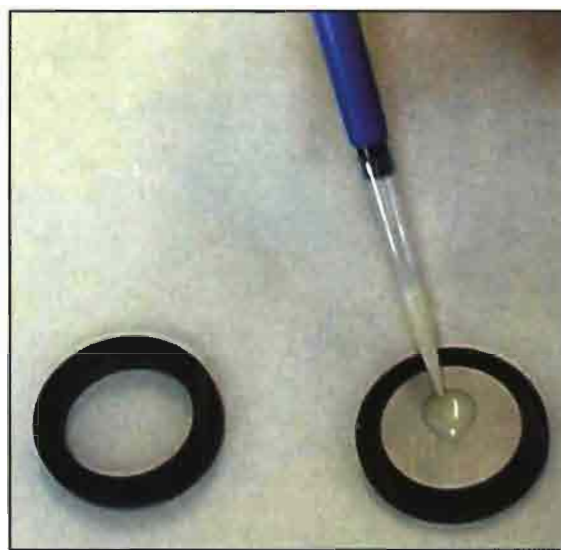
Si se realiza el mismo tipo de análisis canónico discriminante sobre los espectros de muestras de grasa fundida, los resultados son semejantes. Así, en la **figura 2** se muestran los valores que presentan, en el espacio definido por las 2 nuevas variables canónicas, los espectros obtenidos de las muestras de grasa fundida. Tal y como se aprecia de nuevo, los espectros de las 3 categorías analizadas se encuentran agrupados en 3 clases perfectamente diferenciadas.

Hervás et al. (1994) indicaron que era posible evaluar las diferencias en la alimentación aportada al cerdo Ibérico durante la fase de cebo mediante el análisis NIRS de grasa líquida, empleando para ello la modalidad de análisis de transmisión y cápsulas de fabricación propia. Los resultados obtenidos en el presente trabajo presentan dos claros avances desde el punto de vista práctico y de posibilidad real de aplicación de la tecnología NIRS en la industria. Por una parte se confirman los resultados indicados para grasa fundida por Hervás et al., si bien, en el presente trabajo la modalidad de análisis ha sido diferente (doble transmisión) y las cápsulas están disponibles comercialmente. Por otra parte, se muestra que es posible diferenciar entre 3 tipos de cebo de cerdo Ibérico mediante la tecnología NIRS directamente sobre tejido adiposo.

Este último aspecto es de gran importancia ya que el análisis NIRS de tejido adiposo (modalidad de interactancia-reflectancia) presenta una serie de ventajas

frente a otras modalidades de análisis NIRS. Entre ellas destacan la rapidez a la hora de obtener la información espectral NIRS y la ausencia de etapas previas como es la fusión de la grasa. Todo ello permite que esta modalidad de análisis NIRS pueda ser implantada de forma real junto a la línea de sacrificio en las industrias transformadoras para la evaluación de la calidad de las canales.

Una vez comprobado que los espectros NIRS de grasa de cerdo Ibérico permiten diferenciar la alimentación de los 3 lotes de animales, se procedió a establecer un modelo matemático que permitiera asig-



Modalidad de análisis NIRS de grasa líquida de cerdo Ibérico.

nar o clasificar la muestras de características desconocidas a una de las 3 clases, a partir de la información espectral. Para ello se realizó un análisis discriminante lineal. El fundamento de este método de análisis consiste en establecer fronteras entre las clases, conocidas como funciones de discriminación, de forma que el espacio vectorial quede dividido en tantas regiones como clases existan, asignándose las muestras empleadas para establecer el modelo a una de dichas regiones. Para clasificar una muestra de características desconocidas, se procederá calculando el valor de cada función discriminante a partir de los datos espectrales y se asignará a

aquella región (clase) de la que se encuentre más cercana (Osborne et al., 1993; Massart et al., 1988).

Para la evaluación de los modelos obtenidos se empleó una validación cruzada, en la cual cada una de las *i* muestras es clasificada mediante un modelo generado a partir de las *n-i* muestras restantes.

El **cuadro 1** muestra los resultados de validación cruzada del análisis discriminante lineal realizado sobre datos espectrales de tejido adiposo. En dicho **cuadro** se indica el número de muestras que clasifica el modelo en cada categoría. Así, aquellas que aparecen en la diagonal de la matriz se corresponden con las muestras correctamente clasificadas, mientras que las que se sitúan fuera de la diagonal serían las muestras mal clasificadas por el modelo.

Como puede apreciarse, el número de muestras asignadas erróneamente es muy bajo, localizándose la mayor parte de los errores en muestras que, perteneciendo a la categoría Recebo, son clasificadas como Pienso o viceversa. Ello denota que existe un ligero solapamiento entre ambas categorías (Recebo y Pienso), circunstancia que era de esperar dada la gran cantidad de pienso aportado al lote de Recebo durante la fase final del cebo (suplemento de 2 kg. diarios de pienso durante 1 mes y terminación con pienso ad libitum durante 19 días). A pesar de todo, el error de clasificación del modelo o porcentaje de muestras mal clasificadas fue muy bajo (9%).

En el **cuadro 2** se indican los resultados de validación cruzada del análisis discriminante lineal realizado sobre datos espectrales de grasa fundida. La matriz de clasificación obtenida en este caso es similar a aquella generada a partir de los datos de tejido adiposo, produciéndose de nuevo los errores en la clasificación de muestras que, perteneciendo a la categoría Recebo, son asignadas a Pienso o viceversa. El error de clasificación de este modelo (7%) fue del mismo orden al obtenido para tejido adiposo.

Por tanto, independientemente de la forma de presentación de muestra empleada (tejido adiposo o grasa fundida), es posible obtener modelos, basados en la información espectral NIRS, que permitan evaluar la alimentación de los lotes de cerdos Ibéricos estudiados, con unos errores de clasificación muy bajos.

Estos resultados obtenidos sobre grasa fundida confirman los expuestos por Hervás et al. (1996) donde, a partir de un total de 118 animales divididos en 3 lotes sometidos a diferente alimentación, se desarrolló un modelo mediante análisis

CUADRO II. Resultados de clasificación en la etapa de validación cruzada, a partir de datos espectrales NIRS de grasa fundida.








Origen	Clasificado en:		
	Bellota	Recebo	Pienso
Bellota	15	-	-
Recebo	-	14	1
Pienso	-	2	13
Error de clasificación: 7%			

Lactobacterias liofilizadas termoprotegidas



FECINOR

EL BIOPROMOTOR de eficacia inmediata

-  Su alta velocidad de crecimiento a nivel intestinal frena el desarrollo de enterobacterias causantes de diarreas.
-  Incrementa la digestibilidad del pienso por su alta producción enzimática.
-  Dificulta el desarrollo de bacterias patógenas acidificando el medio intestinal.
-  Reduce problemas de «camas húmedas».
-  Previene el estrés del destete.
-  Recupera la flora intestinal tras tratamientos antibióticos.
-  Como efectivo BIOPROMOTOR del crecimiento mejora los parámetros productivos, G.M.D. e I.C.



Jesús Aprendiz 19- 1ª A y B
28007 MADRID
Tel. +34 915 014 041
FAX. +34 915 014 644
norel@norel.net
www.norel.net

NOREL

discriminante lineal, con un error de clasificación del 11% sobre un total de 54 muestras no empleadas en el desarrollo del modelo.

Como información complementaria a la evaluación de los modelos obtenidos se determinó la composición de ácidos grasos de la grasa subcutánea, aspecto este en el que se basa el sector en la actualidad para la clasificación de las categorías comerciales de cerdos Ibéricos (Bellota, Recebo o Pienso).

Para ello, se emplearon las ecuaciones NIRS obtenidas por García Olmo (1999) para la determinación de ácidos grasos en grasa fundida de cerdo Ibérico que, como ya quedó expuesto por dicho autor, permiten obtener dicha composición con una exactitud y precisión similar a la de cromatografía de gases. Así, partiendo de los espectros NIRS de grasa fundida y de las ecuaciones citadas anteriormente, se determinó la composición en ácidos grasos de cada uno de los cerdos que componían los 3 lotes experimentales. Los valores medios de los ácidos grasos mayoritarios para cada lote aparecen reflejados en el **cuadro III**.

Sobre dicha composición media de cada partida se aplicaron las especificaciones de calidad analítica existentes en el Contrato Tipo Homologado vigente en la actualidad (Anónimo, 2000) obteniéndose que tanto los lotes Bellota y Pienso fueron clasificados correctamente en las categorías comerciales de Bellota y Pienso respectivamente. Sin embargo, el lote Recebo fue clasificado incorrectamente en la categoría comercial de Pienso debido a que tanto el ácido esteárico (C18:0) como oleico (C18:1) no cumplían los niveles exigidos por el Contrato Tipo.

Estos resultados se corroboraron al rea-

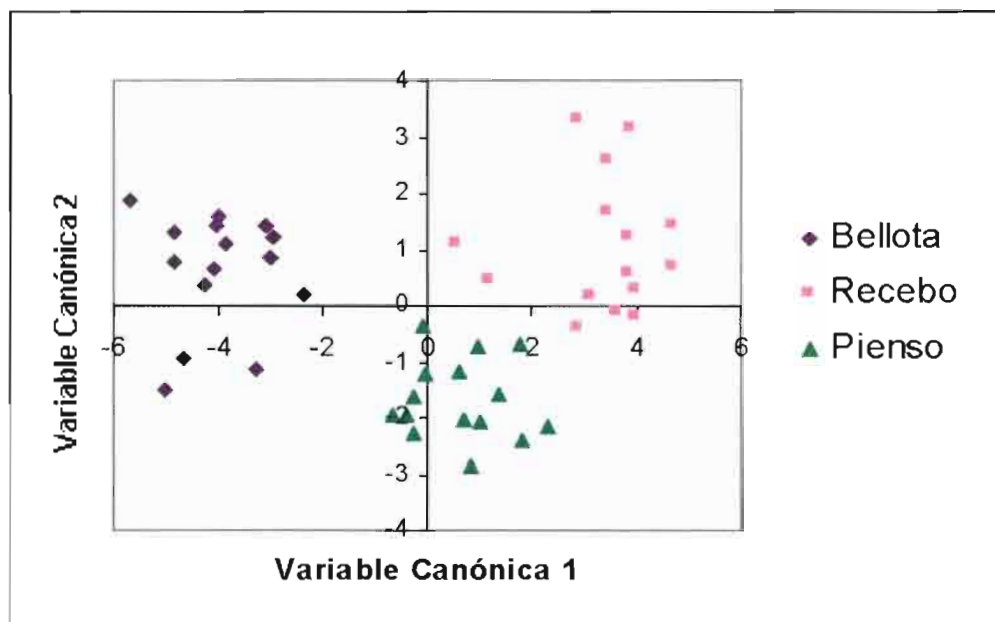


Fig. 2.-Representación de variables canónicas discriminantes a partir de información espectral NIRS de muestras de grasa fundida.

lizar la clasificación individual de cada uno de los cerdos que componían los lotes estudiados, empleando su composición de ácidos grasos y los niveles especificados en el Contrato Tipo (**Cuadro III**). Al evaluar la matriz de clasificación resultante (**Cuadro IV**), se observa que la mayoría de las muestras del lote Bellota fueron clasificadas como tales, si bien 4 lo fueron como Recebo e incluso 2 como Pienso al no cumplir los niveles exigidos. Respecto al lote Pienso, todas las muestras fueron encuadradas en la categoría de Pienso. Sin embargo, en el lote Recebo únicamente 3 muestras se clasificaron como tales siendo la mayoría (12) clasificadas como Pienso, confirmándose con ello los resultados obtenidos para la composición media de dicho lote.

Debido a estas clasificaciones incorrectas, el error de clasificación tras emplear la composición de ácidos grasos de las muestras y los niveles exigidos en el Contrato Tipo fue muy alto (40%), lo cual muestra la escasa precisión de dicho modelo. Al mismo tiempo, dicho error es sensiblemente más alto que los obtenidos a partir de modelos desarrollados con datos espectrales NIRS (7-9%).

Conclusiones

Si bien los resultados obtenidos en el presente trabajo han de ser corroborados con el desarrollo de modelos generados con un mayor número de muestras y lotes con diferente alimentación, la tecnología NIRS se muestra como una herramienta eficaz para la evaluación de la alimentación que han recibido los cerdos Ibéricos durante la etapa de cebo, independientemente de la modalidad de análisis empleada.

De esta forma, los modelos desarrollados a partir de espectros NIRS de tejido adiposo (modalidad de interactancia-reflextancia) presentan similares errores de clasificación que aquellos obtenidos de grasa fundida (modalidad de doble transmisión) y claramente inferiores a los obtenidos tras la aplicación de las especificaciones indicadas en el Contrato Tipo Homologado sobre la composición de ácidos grasos.

El análisis NIRS de tejido adiposo presenta claras ventajas frente al de muestras fundidas como es su mayor rapidez de análisis, ausencia de etapas de fusión previas y posibilidad de implantación real junto a la línea de sacrificio. ■

CUADRO III. Composición media (%) de los ácidos grasos mayoritarios en grasa fundida, según los distintos tipos de alimentación.

Grupo	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	Clasificación*
Bellota	19,3	9,5	58,3	7,8	Bellota
Recebo	22,1	10,7	51,2	9,7	Pienso
Pienso	22,9	11,7	49,9	9,4	Pienso

* Clasificación según especificaciones del Contrato Tipo Homologado vigente.

CUADRO IV. Resultados de clasificación de muestras individuales, a partir de su composición de ácidos grasos y los criterios del Contrato Tipo Homologado.

Origen	Clasificado en:		
	Bellota	Recebo	Pienso
Bellota	9	4	2
Recebo	-	3	12
Pienso	-	-	15

Error de clasificación: 40%