

## ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN DE CÁLCULO DE LA HUMEDAD DEL GRANO DE MAÍZ EN FUNCIÓN DE VARIABLES DE CONTROL DE UN SECADERO DE COLUMNA\*

F. J. GARCÍA RAMOS\*\*  
D. BANZO USIETO\*\*

RESUMEN.— Se ha realizado un análisis de los parámetros de funcionamiento de un secadero industrial de cereal aplicado a maíz. Para ello se han tomado medidas de temperatura y humedad relativa del aire del secadero y se ha cuantificado el tiempo entre sucesivas extracciones de grano. Además, se ha medido la humedad del grano de entrada frente al grano de salida. Con estos datos se ha analizado la posibilidad de implementar ecuaciones que permitan determinar la humedad del grano de salida a partir de las variables principales del secadero. Los resultados muestran una falta de linealidad entre los parámetros, aunque también se aprecia la posibilidad de aplicar una regresión lineal múltiple doble.

ABSTRACT.— *Analysis of the correlation between the grain humidity and the control variables in a tower industrial drier.* Variables involved in the performance of a corn industrial drier have been studied. For this goal, air temperature, air humidity, time between two successive extractions, and grain humidity have been measured. The possibility of implementing equations to obtain the grain humidity according to the drier variables have been

---

\* Este trabajo fue realizado gracias a una Ayuda de Investigación concedida por el IEA en el curso 2003-2004.

\*\* Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Ctra. Cuarte, s/n. E-22071 HUESCA. fjavier@unizar.es

analysed. Results show a poor correlation between variables. However, the possibility of implementing a double multiple linear regression appears as a solution that must be analysed in the future.

KEY WORDS.— Corn drier, grain humidity, extractions, Huesca (Spain).

## INTRODUCCIÓN

El secado artificial de grano nace con el objeto de mantener este producto agrícola en las mejores condiciones posibles de conservación en el granero.

Básicamente, es un proceso consistente en evaporar la humedad del grano que perjudique su conservación mediante un flujo forzado de aire caliente obtenido con un quemador (SUN *et al.*, 1991).

Se ha establecido en el ámbito agrícola que el 14% de humedad en grano es el óptimo para evitar degradaciones de la calidad del cereal durante su almacenamiento. Así pues, nuestro objetivo en el proceso de secado será ajustarnos a este parámetro.

Para poder disminuir la humedad del grano se utilizan secaderos industriales en los que el grano es sometido a un flujo de aire caliente durante un determinado periodo de tiempo. Actualmente, el tiempo de permanencia del grano en el secadero se regula en función de la temperatura del aire de secado. Esta operación se realiza bien manualmente bien a través de un control automático. Sin embargo, este sistema no tiene una elevada fiabilidad y no permite modificar en continuo de forma fiable el modo de trabajo del secadero, pudiendo producir problemas por exceso/defecto de secado que se traducen en pérdida de calidad del grano y unos costes extra (y evitables) en el proceso.

En todo caso, es necesario medir la humedad del grano a la salida del secadero mediante la toma de muestras y la medición con un medidor estático.

Actualmente, existe tecnología capaz de monitorizar la humedad del grano durante todo su proceso de secado si bien su precio y mantenimiento son muy elevados. Para paliar este problema sería muy interesante la estimación de la humedad del grano del cereal al final del proceso de seca-

do sin necesidad de recurrir a medidores en continuo. Para ello sería necesario utilizar las variables de temperatura y humedad del aire del secadero y el tiempo de permanencia del grano en él con el objetivo de obtener una relación matemática de control del proceso de secado.

En la última década se han realizado investigaciones al respecto en esta línea de estudio con la finalidad de optimizar el proceso de secado. Diferentes autores (SEMBERY, 1993, 1996; DOUGLAS *et al.*, 1994; PRUNET *et al.*, 1994; ALLGOOD *et al.*, 1995; MONTROSS *et al.*, 1999, 2000) han realizado trabajos centrados en el estudio de la variación del contenido de humedad y calidad de grano en procesos de secado, mostrando diversas conclusiones sobre la simulación de contenido de humedad y control de las condiciones de secado.

LIU y BAKKER-ARKEMA (2001) publican diversos artículos mostrando el control automático de secaderos de grano. Desarrollan un modelo teórico del proceso basado en la no linealidad inherente a él y un seguimiento de los parámetros basado en bloques fundamentales (equivalentes a los cangilones) de transferencia de masa y calor simultánea. Diseñan un modelo controlador del proceso mediante predicción de parámetros finales y chequeo en continuo, para, finalmente, ensayar el controlador en secaderos reales. Es el estudio más completo realizado hasta el momento obteniendo unos resultados esperanzadores. Hay que destacar que se trata de un trabajo muy ambicioso, fruto del trabajo de muchos años, y que refleja la dificultad de modelizar este tipo de sistemas industriales.

Las ventajas que se obtendrían mediante el desarrollo de un sistema de control en continuo fiable son:

- Optimización del costo energético.
- Facilidad de operación del secado al evitar la realización de continuas muestras de humedad del cereal.
- Mayor seguridad en el almacenamiento, porque al tener la humedad de referencia se puede establecer un control del producto. Este control permitiría ajustar mejor las condiciones de secado y, en el caso de que estas no fueran suficientes para llegar a la humedad óptima, generar una alarma.

El objetivo principal del trabajo es evaluar la potencialidad de obtener un algoritmo matemático para el control de las condiciones de trabajo de un

secadero industrial en función de las variables más características del proceso de secado: temperatura y humedad del aire de entrada al secadero, temperatura y humedad del aire de salida, y humedad del grano.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Características del secadero industrial*

Para llevar a cabo el estudio se ha colaborado con la empresa Agro-Pirineos Ayerbe, la cual ha facilitado el acceso a uno de los secaderos industriales que han instalado en la provincia de Huesca. Concretamente, el estudio se ha realizado en un secadero SBC.7 de la marca Law. Dicho secadero se ubica en la finca Almalech, S. A., y es propiedad de don Luis Chavarri Osma. La finca se encuentra situada en el término municipal de Salillas, 50 km al sur de Huesca en dirección a Sariñena.

El funcionamiento del secadero se basa en el intercambio de calor que se produce entre la columna de grano y la corriente perpendicular de aire caliente que lo atraviesa (Fig. 1).

El secadero se compone de una columna de cajas de secado. Estas cajas ocupan la parte central del secadero. A un lado se encuentran las cajas del lado de calor, donde circula el aire caliente. Este aire se calienta por la llama de combustión generada por el quemador. Al otro lado de las cajas de secado se encuentran las cajas del lado de frío. Por estas cajas circula el aire saturado de vapor que es aspirado por los ventiladores.

Las cajas de calor están atravesadas por unas vainas cónicas que permiten la entrada y salida de aire en las cajas, pero impiden que se salga el grano. Estas vainas son unas canales que tienen un extremo abierto y el otro cerrado. En las cajas su disposición se alterna entre las que están abiertas hacia el lado de calor o las que están abiertas hacia el lado de frío. De esta manera el aire caliente entra por la vaina abierta hacia el lado de calor, se difunde en la caja de secado y sale por la vaina abierta hacia el lado de frío.

Las dos últimas cajas se utilizan como zona de enfriamiento del grano. Toman el aire del exterior que pasa a través del grano bajando su temperatura. Después pasa al cajón de frío donde los ventiladores lo expulsan a la atmósfera.

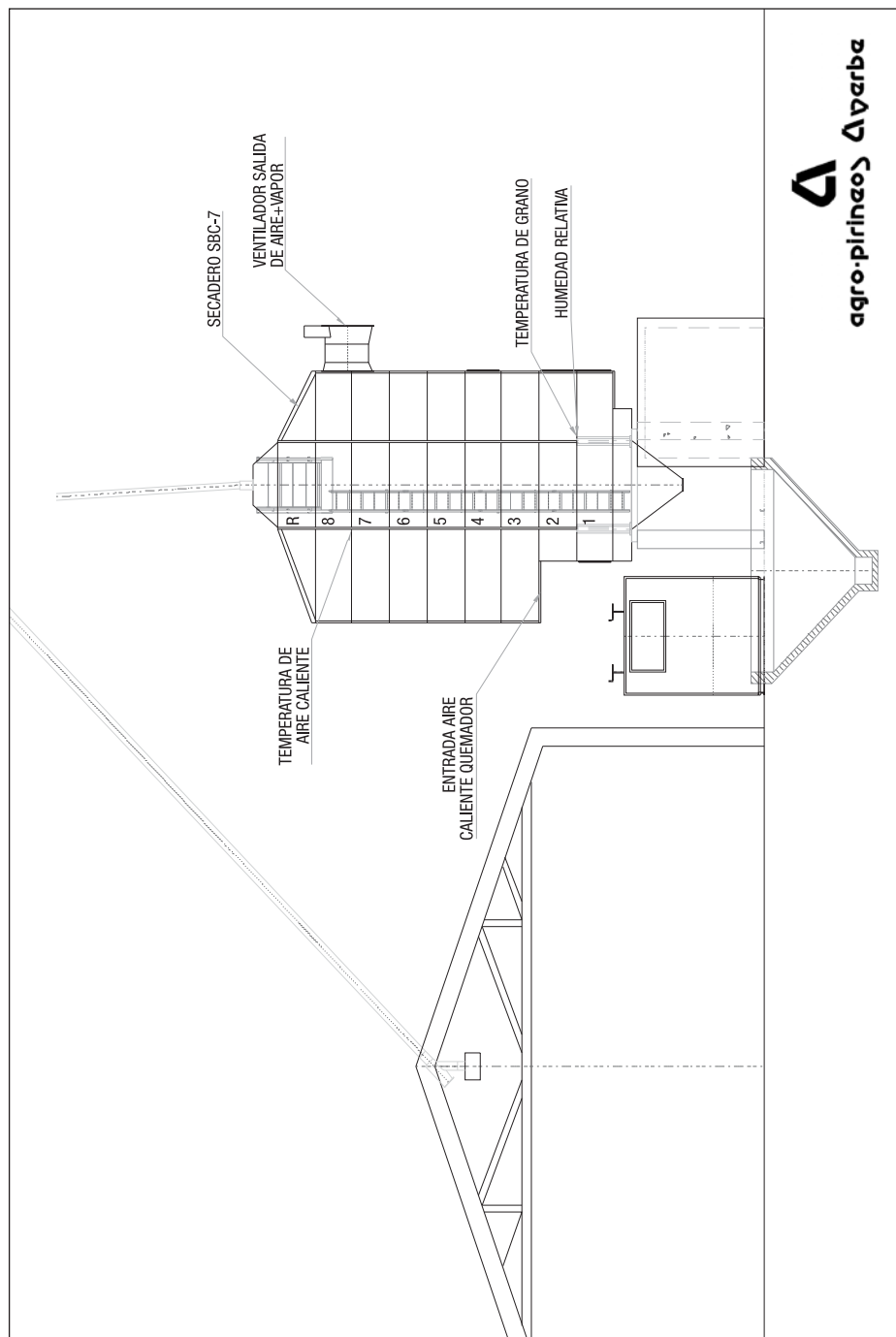


Fig. 1. Esquema del secadero.

El grano se va extrayendo del secadero a periodos de tiempo regulables, de manera que un grano atraviesa la columna de secado con mayor o menor rapidez en función de este tiempo de extracción.

A continuación, se presenta la tabla de rendimientos del secadero (Tabla I). Las toneladas/hora que se refleja se refieren a toneladas de grano húmedo que se seca hasta un 14% de humedad final.

**Tabla I.** Rendimientos del secadero.

<i>% humedad grano</i>	<i>Evaporación (l/h)</i>	<i>Toneladas/h de grano húmedo procesado</i>
26	990	7,09
24	943	8,11
22	907	9,74

El secadero motivo de estudio posee una capacidad de 26.000 kg de grano (para el caso del maíz), lo cual significa que el manejo de la instalación frente a una masa de tal inercia térmica exige un protocolo bien definido.

La dinámica de secado se inicia cuando el grano llega del campo a una humedad cuantificada por el medidor estático en recepción.

El lote de entrada define las acciones que el operario realizará a lo largo del proceso; así, caso de entrar el grano muy húmedo se aumenta la temperatura de secado dentro del intervalo que la boquilla permita y también se aumenta la minutería (tiempo entre extracciones). Definimos extracción como la apertura de la tajadera de fondo del secadero durante un tiempo determinado; depende del peso específico del grano, pero se extrae una media de 250 kg de grano/extracción.

La permanencia media del grano en la instalación de secado es de 2,5 horas durante las cuales atraviesa los cangilones (cajones en los que se divide la instalación).

### *Metodología*

Los diferentes ensayos se han realizado trabajando con maíz. Para la realización de los estudios se han utilizado diferentes equipos para medir las variables del proceso de secado.

El secadero de cereal ha sido estudiado en un estado de funcionamiento estabilizado, es decir, no se realizaron medidas en los momentos de arranque y vaciado de la instalación o situación de reparación de averías.

A continuación se detallan los equipos utilizados en la realización del trabajo:

- 3 sondas de temperatura colocadas en la estructura interior del secadero a tres niveles distintos: zona inferior, zona media y zona superior,
- 1 sonda de humedad/temperatura que controla la salida de aire húmedo de la instalación,
- 1 medidor estático en recepción para cuantificar la humedad relativa de los lotes de grano cosechados en el campo y la humedad del grano que ya ha sido sometido al proceso de secado,
- 1 termo-higrómetro en la entrada de aire al secadero y anterior al quemador. Su finalidad es caracterizar el aire que será sometido al proceso para secado de cereal.

El estudio ha consistido en el control de las variables del proceso de secado durante la campaña de recolección del maíz del otoño-invierno del 2003. Para ello, con una frecuencia de 15 minutos, se han medido diferentes parámetros del secadero mediante el uso de sondas internas de humedad y temperatura, y mediciones externas con aparatos de mano (termo-higrómetro y medidor de humedad estático).

Los parámetros medidos fueron los siguientes:

- tiempo entre extracciones (minutería),
- temperatura y humedad relativa del aire que entra al quemador,
- temperatura del aire de secado (dentro de los cangilones),
- temperatura y humedad relativa del aire a la salida del secadero,
- peso específico del grano antes y después del proceso de secado,
- temperatura y humedad relativa del grano a la entrada y salida del secadero,
- porcentaje de grano que parte el proceso de secado.

A partir de un número de muestras aceptable (226) se ha estimado la humedad extraída al grano durante su procesado y se han analizado las correlaciones entre los diferentes parámetros.

El proceso de trabajo para desarrollar este punto se describe a continuación:

1. En primer lugar, debemos desfasar los datos para unificar en cada muestra las características medias de secado de dicho grano. Los parámetros son controlados en tiempo real, lo cual implica que el grano entrante en el instante  $t_0$  no se corresponda con el grano saliente en el mismo instante ( $t_0$ ).

Para llevar a cabo el desfase se suman los kilogramos de grano procesado en cada «muestra» hasta el valor de la capacidad del secadero (26.000 kg) a partir de la cual volvemos a establecer otro periodo de permanencia. A partir de este momento, por lo tanto, se trabaja con datos desfasados.

2. Cálculo de la evaporación a partir de las medidas del contenido en agua (humedad) del grano entrante y saliente.

El objetivo es obtener la cantidad de agua que el proceso extrae al grano. Ya que en el muestreo tenemos un dato de humedad de grano a la entrada y otro a la salida, podemos obtener el porcentaje de humedad «evaporado» al grano.

$$\Delta HR = HR_{\text{inicial}_{\text{grano}}} - HR_{\text{final}_{\text{grano}}}$$

Para conocer la humedad total extraída al grano calculamos los kg que el secadero procesa en cada muestra (15 minutos), para lo cual necesitamos saber el número de extracciones que se produjeron en el tiempo definido para muestrear.

$$15 \text{ min} \cdot 60 \text{ s/min} = n^{\circ} \text{ extr.} \cdot 0,7 + n^{\circ} \text{ extr.} \cdot \text{minutería}$$

$$0,7 = \text{tiempo transcurrido en 1 extracción} = \text{Cte.}$$

Sabemos que como media se recogen 200 kg de grano en cada extracción, así que los kilogramos de grano procesados se pueden obtener del siguiente modo:

$$200 \text{ kg/extr.} \cdot n^{\circ} \text{ extr.} = \text{kg de grano procesados cada 15 min.}$$

Finalmente, calculamos el agua extraída multiplicando los kilogramos de grano procesados por los decrementos de humedad obtenidos anteriormente:

$$\text{kg de agua extraídos al grano} = \Delta HR \cdot \text{kg de grano procesados cada 15 min.}$$

3. Cálculo de la evaporación a partir del diagrama sicrométrico y de los datos de humedad relativa y temperatura del aire de entrada y salida del secadero.



El objetivo de este punto fue obtener la cantidad de agua que el aire evapora, para lo que se utiliza el diagrama sicrométrico. En este dato, a partir de los de *temperatura seca* y *humedad relativa* del aire, se obtienen los *gramos de agua por gramos de aire seco*.

De este modo se obtiene la cantidad de agua que lleva el aire medio que atravesó el grano durante cada muestra.

Para obtener los kilogramos de agua evaporada se necesitan los datos de volumen de aire seco que atraviesa el secadero en cada muestra (cada 15 minutos) y el incremento del contenido en agua del aire:

$$\text{Incremento de agua} = \text{g de agua / g de aire seco en aire de entrada} \\ - \text{g de agua / g de aire seco en aire de salida}$$

$$\text{Volumen de aire seco (por diseño)} = 54.600 \text{ kg aire seco / h}$$

$$\text{kg de agua} = 54.600 \text{ kg/h} \cdot 0,25 \text{ horas} \cdot \text{Incremento de agua}$$

4. Comparación de los datos obtenidos en los apartados anteriores y verificación de su idoneidad.

5. Análisis estadístico basado en regresiones de los parámetros de control del secadero.

En una primera etapa, se ha buscado la existencia de relación lineal entre dos variables cuantitativas mediante la regresión lineal complementada con diagramas de dispersión entre los parámetros de control. En una segunda fase y a sabiendas de la complejidad del proceso, se ha buscado un ajuste lineal óptimo en el que las variables sigan conjuntamente una ley normal multidimensional, para lo cual se ha utilizado la regresión lineal múltiple.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 representa la gráfica de datos desfasados de humedad relativa de grano. Obsérvese que en este caso el número de muestras disminuye debido al proceso de desfase.

Recordando los objetivos planteados al comienzo del estudio y dada la importancia que la humedad relativa del grano seco posee para su conservación y posterior aprovechamiento, se define como *variable dependiente* la humedad relativa del grano seco (HRGSALIDA).

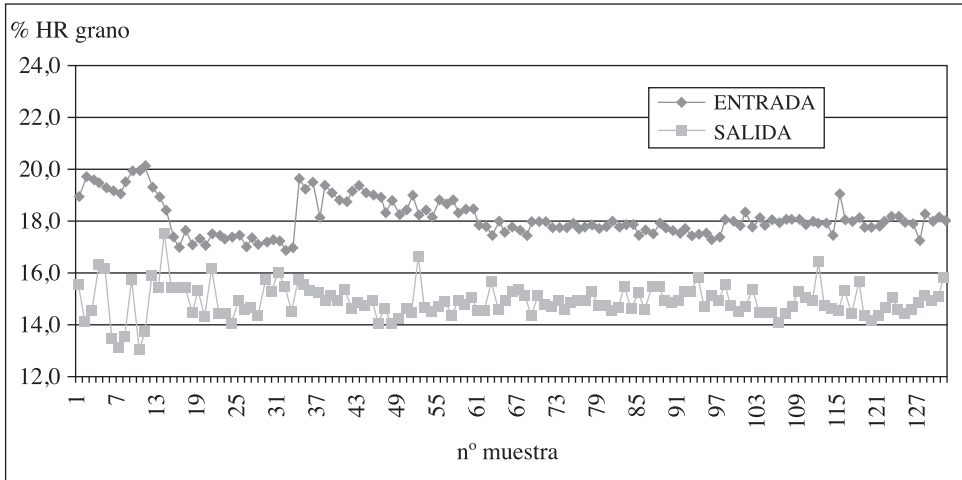


Fig. 2. Datos desfasados de humedad relativa.

Como *variables totalmente independientes* se toman: humedad relativa del grano húmedo (HRGENTRA), minutería o tiempo entre extracciones (TEXTRACC), temperatura de secado (TSECADO), temperatura de secado media (TSECADOM), humedad relativa del aire de entrada (HRNTRAD) y temperatura del aire de entrada (TNTRAD).

Como *variables independientes parciales* se definen los parámetros cuyos valores son función de las variables totalmente independientes. Las enumeramos a continuación: humedad relativa del aire de salida (HRSALIDA) y temperatura del aire de la salida (TSALID).

A continuación se detallan los valores medios y desviaciones típicas de las variables definidas en el presente estudio (Tabla II).

Analizando dicha tabla sorprende que el valor de la humedad del grano húmedo sea tan homogénea (desviación típica de 0,724) como la humedad del grano seco (desviación típica de 0,641). Además, se aprecia una alta variabilidad en la minutería o tiempo entre extracciones, parámetro este que utiliza el operario para regular el tiempo de permanencia del grano en el secadero, que indica un funcionamiento poco estable.

Este hecho refleja el modo real de funcionamiento de este tipo de secaderos en los que el operario gestiona arbitrariamente el tiempo de extracción

**Tabla II.** Estadísticas descriptivas de las diferentes variables.

	<i>Media</i>	<i>Desviación típica</i>
TEXTRACC	73,924	11,905
TNTRAD	10,253	1,613
HRNTRAD	66,180	10,365
TSECADO	55,588	4,919
TSECADOM	55,219	3,967
TSALID	30,248	2,241
HRSALID	22,813	1,856
HRGENTRA	18,105	0,724
HRGSALID	14,876	0,641

para aumentar o disminuir la permanencia del grano en la torre de secado. Lógicamente, al tratarse de un proceso en continuo, este hecho afecta al secado del grano que se encuentra dentro del secadero (en la parte alta, por ejemplo) y que puede presentar, en función de su lugar de procedencia, contenidos en humedad diferentes al grano situado en la zona de salida.

Un primer análisis de comparación entre las diferentes variables se ha desarrollado mediante el estudio de las correlaciones existentes entre las mismas. La tabla III muestra los valores de correlación entre las variables analizadas en el estudio.

Es necesario recordar que el objetivo es la búsqueda de la relación de nuestra variable dependiente (HRGSALIDA) con el resto para poder deter-

**Tabla III.** Coeficientes de correlación entre las variables.

	<i>Minuter</i>	<i>Tentrad</i>	<i>HRentra</i>	<i>Tint</i>	<i>Tintmed</i>	<i>Tsalida</i>	<i>HRsalida</i>	<i>HRgranE</i>	<i>HRgranS</i>
Minuter	1,00	-0,13	0,23	0,30	0,30	0,15	0,23	0,09	0,03
Tentrad	-0,13	1,00	-0,57	0,34	0,41	0,69	0,31	0,35	-0,03
HRentra	0,23	-0,57	1,00	-0,21	-0,18	-0,27	0,08	-0,19	0,00
Tint	0,30	0,34	-0,21	1,00	0,69	0,71	0,63	0,44	-0,03
Tintmed	0,30	0,41	-0,18	0,69	1,00	0,82	0,80	0,71	-0,09
Tsalida	0,15	0,69	-0,27	0,71	0,82	1,00	0,85	0,50	-0,09
HRsalida	0,23	0,31	0,08	0,63	0,80	0,85	1,00	0,37	-0,03
HRganE	0,09	0,35	-0,19	0,44	0,71	0,50	0,37	1,00	-0,12
HRgranS	0,03	-0,03	0,00	-0,03	-0,09	-0,09	-0,03	-0,12	1,00

minar de modo sencillo y eficaz los parámetros de control que el secadero necesita para ejecutar un proceso efectivo y ágil. Como se intuye a la vista de los diagramas de dispersión, no existe una relación lineal adecuada de la variable dependiente con el resto.

El objetivo principal del estudio es intentar obtener un sistema sencillo de control del secadero, ya que es bastante obvia la complejidad del proceso por entrar en juego los parámetros de difícil control. Del mismo modo, la bibliografía refleja la complejidad de este proceso y apuesta por su modelización de acuerdo con situaciones de contorno de cada uno de los cangilones del secadero. Este estudio, sin embargo, no es el objetivo de este trabajo, ya que requeriría un tiempo muy elevado para obtener conclusiones adecuadas.

Por lo tanto, se ha optado por analizar una regresión lineal múltiple que considere la influencia de cada variable independiente en un modelo a partir del cual podamos obtener el control del secadero, claro está, combinado con unos sistemas de control en continuo de los parámetros de secado del grano.

A continuación se muestran los datos obtenidos en uno de los análisis realizado. Dada la similitud en la consistencia del resultado, solo se muestra esta regresión como ejemplo.

```

      * * * *  M U L T I P L E   R E G R E S S I O N   * * * *
Equation Number 1           Dependent Variable   HRGSALID
Method: Enter: HRGENTRA, HRNTRAD, HRSALID, TEXTRACC, TSECADOM.

```

Variable(s) Entered on Step Number

1. TSECADOM
2. HRNTRAD
3. TEXTRACC
4. HRGENTRA
5. HRSALID

Multiple R	0,14298
<i>R Square</i>	0,02044
Adjusted R Square	0,01874
Standard Error	0,64651

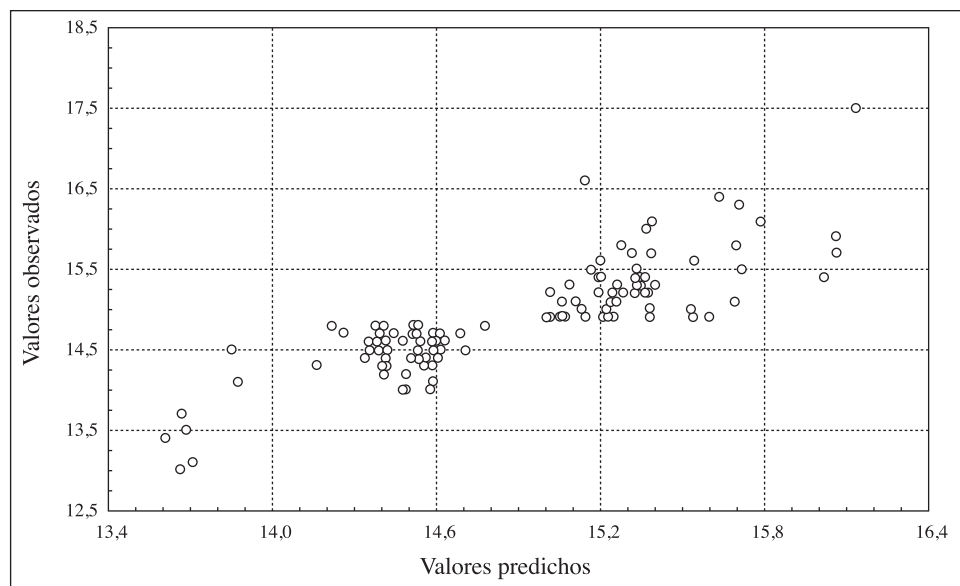
Analizando los datos mostrados con anterioridad, se observa un coeficiente de determinación muy bajo que refleja la imposibilidad de proponer un modelo consistente basado en una regresión lineal múltiple.

Se podrían intentar nuevos tipos de regresiones no lineales. En este sentido, tras varios análisis, se ha optado por una regresión lineal múltiple doble, con un punto de discontinuidad.

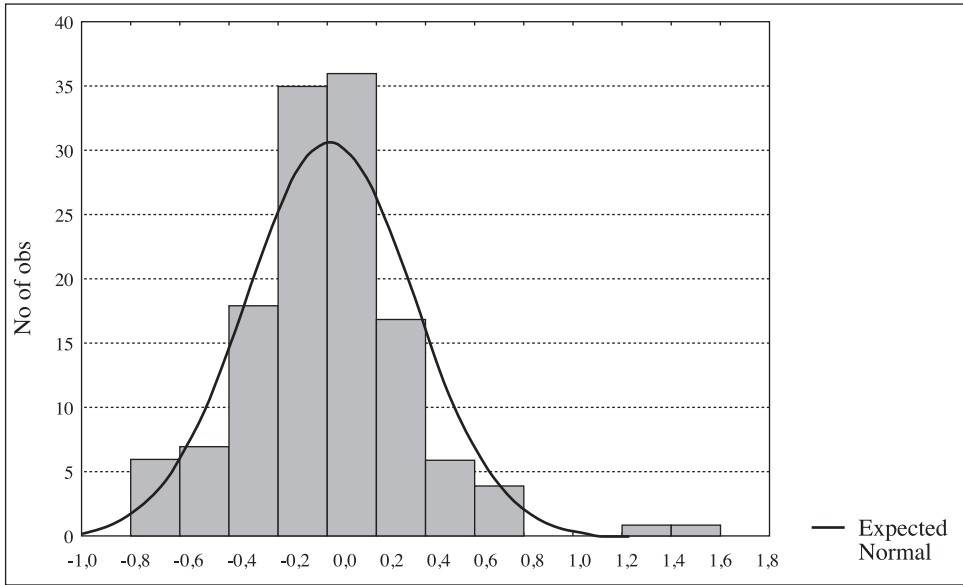
Como ejemplo de este tipo de análisis se muestran los resultados obtenidos de acuerdo con la utilización de todas las variables de temperatura y humedad junto con la minutería (exceptuando, por lo tanto, la humedad del grano de entrada) para estimar la humedad del grano de salida. Las variables utilizadas son, por lo tanto:

- variable dependiente: HRGSALIDA;
- variables independientes: minutería o tiempo entre extracciones (TEXTRACC), temperatura de secado media (TSECADOM), humedad relativa del aire de entrada (HRNTRAD), temperatura del aire de entrada (TNTRAD), humedad relativa del aire de salida (HRSALIDA) y temperatura del aire a la salida (TSALID).

La figura 3 muestra la relación entre los valores de humedad del grano de salida observados y predichos. Esta regresión presenta una correlación R de 0,84 con una varianza explicada del 71%.



**Fig. 3.** Humedad relativa del grano de salida (%). Valores observados/predichos.



**Fig. 4.** Diagrama de distribución de los valores residuales.

Aparentemente, este tipo de correlaciones permiten estimar con un error máximo aproximado del 1% el contenido en humedad del grano de salida a partir de diferentes parámetros del proceso de secado.

En la misma línea, la figura 4 presenta un diagrama de distribución de los valores residuales obtenidos al comparar los valores de humedad del grano de salida (valores observados) frente a los valores obtenidos con el modelo (valores predichos). Es decir, la diferencia entre los valores reales y los obtenidos con la aplicación del modelo.

Como se puede apreciar, los valores residuales se comportan siguiendo una distribución normal. En la mayoría de los casos se obtienen desviaciones en el porcentaje de humedad relativa con valores comprendidos entre el 0,2 y el 0,4% con respecto a los valores observados.

La correlación calculada es de muy sencilla aplicación y presenta una aparentemente elevada potencialidad para ser implementada en continuo. Sin embargo, esta línea de análisis debe ser considerada simplemente como una posibilidad, que debe ser analizada en profundidad mediante sucesivos muestreos y comprobaciones, puesto que la linealidad existente entre las

variables independientes es muy escasa y, por lo tanto, hay que avanzar en esta línea de estudio que pretende encontrar relaciones sencillas.

## CONCLUSIONES

La linealidad existente entre las variables o parámetros involucrados en el proceso de secado del grano (minutería, humedad relativa del aire, temperatura del aire y contenido en humedad del grano) es muy baja, por lo que no se pueden implementar de forma robusta correlaciones lineales múltiples que relacionen el contenido en humedad del grano de salida con algunas o todas las otras variables de secado.

En principio, parece posible la obtención de una ecuación matemática basada en correlaciones múltiples dobles (con un punto de discontinuidad) que permita obtener la humedad del grano de salida en función de los parámetros de temperatura y humedad relativa del aire de entrada y salida del secadero y del tiempo de permanencia del grano en él. En este sentido, esta línea de trabajo debe ser analizada con detenimiento, puesto que el volumen de datos utilizados para su obtención solo representa una campaña.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLGOOD, M. E.; ALLISON, J. M., y VELLIDIS, G. (1995). Automated peanut dryer control. *Applied Engineering in Agriculture*: 465-467.
- DOUGLAS, P. L.; SULLIVAN, G. R.; RUDOPH, V., y KEEY, R. B. (1994). Automatic moisture control of process dryers in de agriculture and food industries. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Drying Symposium*, Gold coast, Australia, Volume A: 327-334.
- MONTROSS, M. D.; BAKKER-ARKEMA, W., e HINES, R. E. (1999). Moisture content variation and grain quality of corn dried in different high-temperature dryers. *American Society of Agricultural Engineers*, 42 (2): 427-433.
- MONTROSS, M. D., y MAIER, D. E. (2000). Simulated performance of conventional high-temperature drying, dryeration, and combination drying of shelled corn with automatic conditioning. *American Society of Agricultural Engineers*, 43 (3): 691-699.
- PRUNET, J. P., y BERGOUIGNOUX, Y. (1994). Towards optimum drier control. *Infos Paris*, n° 103: 36-38.
- QIANG LIU, F., y BAKKER-ARKEMA, W. (2001). Automatic Control of Crossflow Grain Dryers, Part 1: Development of a Process Model. *J. agric. Engng Res.* 80 (1): 81-86.

- QIANG LIU, F., y BAKKER-ARKEMA, W. (2001). Automatic Control of Crossflow Grain Dryers, Part 2: Design of a Model-Predictive Controller. *J. agric. Engng Res.* 80 (2): 173-181.
- QIANG LIU, F., y BAKKER-ARKEMA, W. (2001). Automatic Control of Crossflow Grain Dryers, Part 3: Field Testing of a Model-Predictive Controller. *J. agric. Engng Res.* 80 (3): 245-250.
- QIANG LIU, F., y BAKKER-ARKEMA, W. (2001). A model-predictive controller for grain drying. *Journal of Food Engineering*, 49: 321-326.
- SEMBERY, P. (1993). Achievements of improved grain moisture measurement and drier control. *Hugarian Agricultural Research*, 7-11.
- SEMBERY, P. (1996). Grain moisture measurement and drier control. *Boullletin of the University of Agricultural Sciences, Godollo*, Vol. 1: 285-292.
- SUN, L.; ARNAUD, G.; FOHR, J. P.; MUJUMDAR, A. S., y FILKOVA, I. (1991). Air flow in a corn drier. *Drying*, 91: 447-454.