

# Taller sobre medición de humedad en sólidos

Enrique Martines López  
19/11/2009



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo  
→ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
→ Tiempo y Frecuencia



# Contenido

---

- Importancia de la medición de humedad en sólidos
- Definiciones
- Métodos de medición
- Método capacitivo para granos
- Método gravimétrico para granos
- Calibración

# Importancia de la medición de humedad en sólidos

---

- El precio en el comercio de granos se establece sobre la base del contenido de humedad
- La preservación de alimentos requiere de un contenido de humedad mínimo
- La preparación, el encapsulado y la caducidad de los medicamentos depende de su contenido de humedad

# Importancia de la medición de humedad en sólidos

---

El vapor de agua se encuentra presente en el ambiente por lo que interacciona con los materiales presentes en él.

Esta interacción (absorción o evaporación) tiene diversos efectos, algunos de ellos negativos, los cuales modifican las propiedades de los materiales. Su impacto depende de la proporción de agua absorbida o evaporada de ellos.

# Propiedades

---

Las propiedades de los materiales que se ven afectadas por la presencia de agua son:

- Propiedades mecánicas
- Propiedades nutritivas
- Propiedades químicas
- Propiedades físicas
- Propiedades eléctricas
- Propiedades de fluidez
- Entre otras

# Tipos de materiales donde se requiere medir la humedad

---

- Alimentos: elaboración, preservación
- Materiales de construcción: propiedades mecánicas
- Madera, papel y materiales derivados: propiedades mecánicas
- Medicamentos: preservación
- Granos: preservación, precio
- Plásticos: propiedades mecánicas
- Metales: corrosión, oxidación, etc.
- Entre otros

# Efecto del contenido de humedad en el comercio de granos

---

$H_1=10,9 \%$  (arroz expuesto al ambiente),

$H_2=12,7 \%$  (arroz empaquetado),

el efecto es:

- En 1 kg, la diferencia en masa es:15,7 g
- En 1 ton, la diferencia es 15,7 kg
- En 1000 ton, la diferencia es 15750,09 kg $\approx$ 15,7 ton

# Definiciones

- Contenido de humedad en base húmeda ( $H_{bh}$ )

$$\% H_{bh} = \frac{m_h - m_s}{m_h} \bullet 100$$

- Calibración
- Mediciones industriales

- Contenido de humedad en base seca ( $H_{bs}$ )

$$\% H_{bs} = \frac{m_h - m_s}{m_s} \bullet 100$$

Investigación

$m_h$  es la masa de la muestra antes del secado  
 $m_s$  es la masa de la muestra después del  
secado



---

**Ejemplo 1.** Se tiene una muestra de 1,5 kg de frijol la cual se seca en un horno a 130 °C por 4 h, después de secar completamente la muestra se pesa y se encuentra que su masa es 1,3 kg. Determinar  $H_{bh}$

$$\% H_{bh} = \frac{1,5 - 1,3}{1,5} \cdot 100 = 13,3\%$$

$$\% H_{bs} = 15,4\%$$

---

**Ejemplo 2.** Determinar la cantidad de agua que se evapora de una carga de arroz de 800 kg que inicialmente tiene un contenido de humedad de 24 % ( $H_{bh}$ ) y al final tiene 15,5 %

La masa seca ( $m_s$ ) se calcula como sigue:

$$m_s = m_{h1} - \frac{H_1(bh) \cdot m_{h1}}{100} = 608 \text{ kg}$$

---

La masa de la muestra 2 húmeda ( $m_{h2}$ ) se calcula como sigue:

$$m_{h2} = \frac{100 \cdot m_s}{(100 - H_2)} = 719,53 \text{ kg}$$

La masa de agua evaporada es:

$$m_{h1} - m_{h2} = 800 \text{ kg} - 719,53 \text{ kg} = 80,47 \text{ kg}$$

# Métodos de medición

---

## Medición directa

Determina la cantidad de agua al remover la humedad (agua). El contenido de humedad se relaciona con la masa de agua removida.

## Medición indirecta

Usa una propiedad que cambia con la humedad la cual se relaciona por medio de una ecuación empírica

# Métodos de medición directa

---

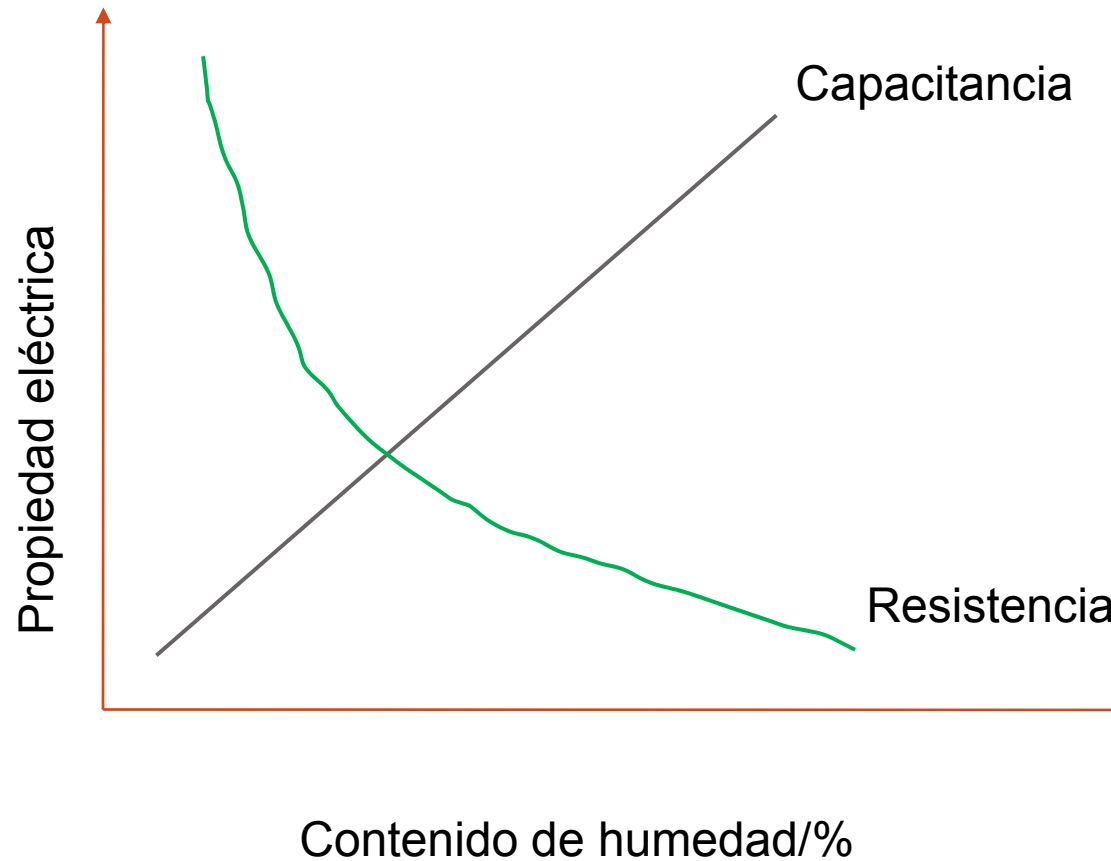
- Secado en horno (gravimetría)
- Reacción química (Karl Fisher)
- Destilación
- Radiación por microondas
- Radiación por infrarrojo

# Métodos de medición indirecta

---

- Métodos eléctricos
- Métodos espectroscópicos
- Humedad relativa (isotermas de sorción)
- Entre otros

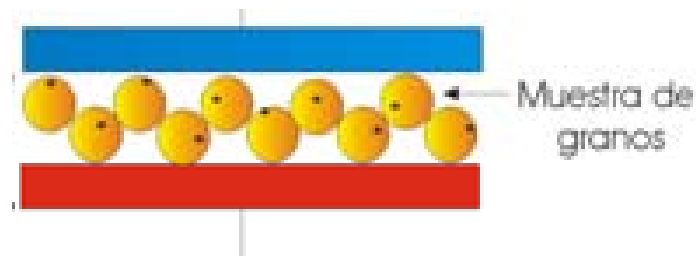
# Métodos eléctricos



# Método capacitivo (humedad en granos)

---

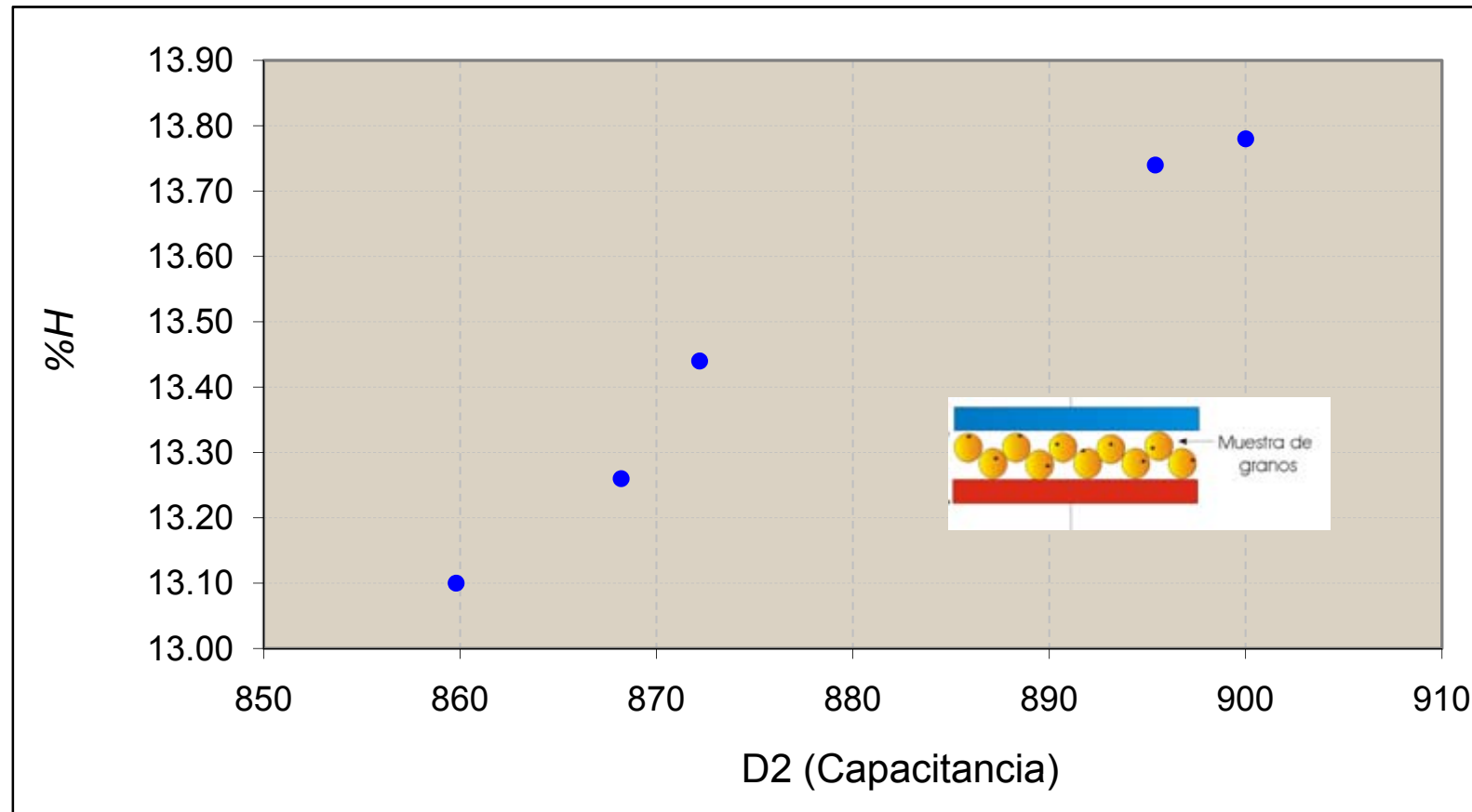
Relaciona el cambio de contenido de humedad del material con el cambio de capacitancia eléctrica.



Existen diversos equipos comerciales que operan con este método y permiten medir el contenido de humedad para diversos tipos de granos.



# Relación humedad-capacitancia eléctrica



Mediciones realizadas con el medidor Dickey-john, GAC2100

# Constante dieléctrica del maíz

Tipo de grano	%H	Constante dieléctrica		
		Frecuencia		
		1 kHz	5 kHz	10 kHz
Maíz	12	8,5	6,3	5,6
	17,8	13,6	9,6	8,3

La constante dieléctrica de un material está asociada con la capacidad de almacenar energía en un campo eléctrico. Su valor depende de la frecuencia

# Uso de medidores capacitivos

---

La forma en que se relaciona el contenido de humedad con la capacitancia es por medio de una relación empírica, por lo que para cada tipo de grano se genera una ecuación.

Lo anterior implica que *cuando se mide en un determinado tipo de grano, se debe seleccionar la ecuación (o constantes de calibración) correspondiente.*

La ecuación se genera al relacionar el contenido de humedad obtenido por gravimetría con la capacitancia eléctrica

# Temperatura del grano

---

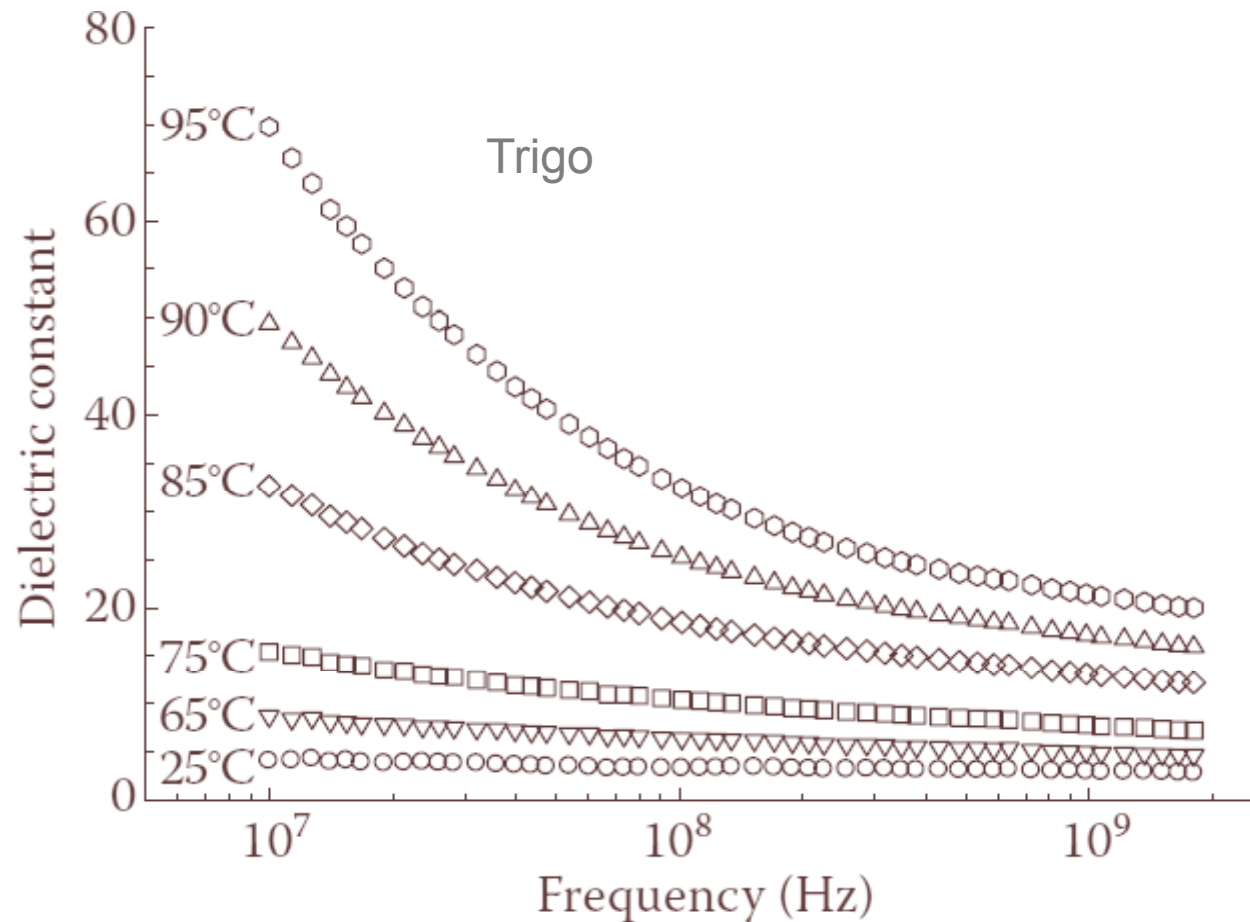
Debido a que la constante dieléctrica de los granos depende de la temperatura, es conveniente no usar muestras que se salgan del intervalo de temperatura en el que opera el equipo.

*Por ejemplo el intervalo de temperatura para el modelo GAC2100 va de 0 °C a 45 °C.*

Cuando el grano está fuera del alcance generalmente los equipos mandan un mensaje de error.

*La mayoría de los equipos comerciales cuentan con compensación por temperatura.*

# Efecto de la temperatura en la constante dieléctrica



Nelson S.O., Dielectric properties of agricultural products and some applications, RES.AGR.ENG., 54 2008(2):104-112

# Volumen mínimo requerido

La mayoría de los medidores capacitivos (incluso los resistivos) cuentan con recipiente donde se coloca la muestra a medir.

Es conveniente llenar completamente el recipiente para tener una medición adecuada, de otra manera el equipo desplegará resultados erróneos.

Ejemplo:

Tipo de grano	%H(volumen adecuado)	%H(volumen inadecuado)
Maíz	13,0	13,4
Arroz	12,0	11,5

# Impurezas del material

---

La presencia de impurezas en la muestra a medir (tierra, piedras, u otro tipo de grano) puede tener un efecto considerable en el resultado final.

Por esta razón es conveniente que el grano se limpie antes de realizar la medición.



# Efecto de las impurezas en los granos

Tipo de grano	%H(muestra normal)	%H(muestra con 9% en masa de impurezas )
Maíz	13,0	13,4
Frijol negro	9,3	9,5
Arroz	12,0	11,5
Frijol pinto	9,1	9,2



# Uniformidad de la muestra

---

La presencia de granos de alto (o bajo) contenido de humedad en la muestra puede dar un valor inadecuado del contenido de humedad.

En este caso es conveniente seleccionar una muestra homogénea y aislarla del material restante durante un periodo de al menos una hora para alcanzar su estabilidad.



**Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009**  
**18-20 de noviembre**

- ↪ Electromagnetismo
- ↪ Temperatura y Propiedades Termofísicas
- ↪ Tiempo y Frecuencia



CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, CENAM,  
DERECHOS RESERVADOS 2009

# Verificación del medidor

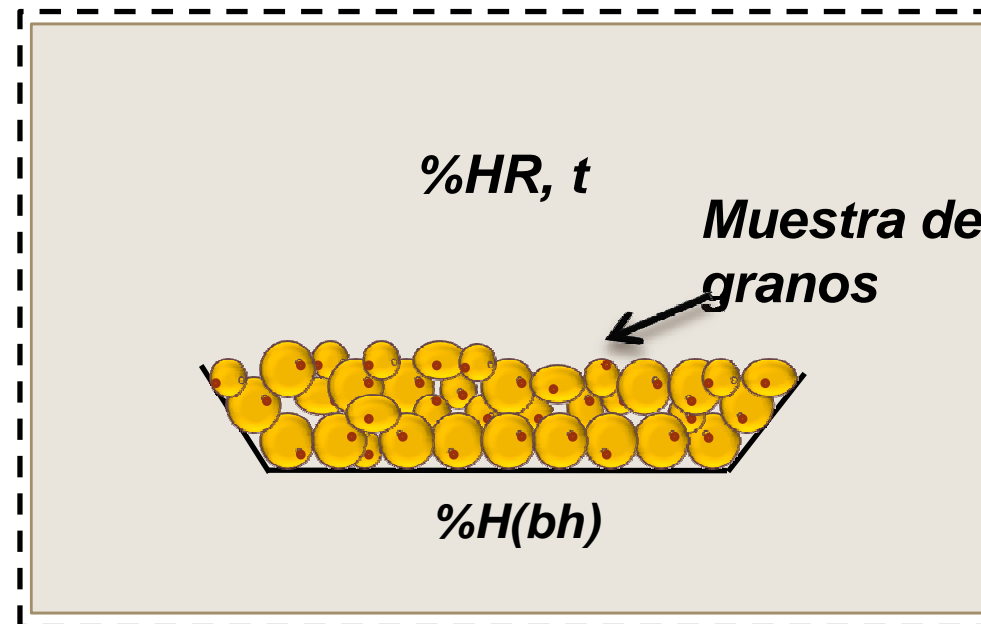
---

Con frecuencia los equipos comerciales incluyen un estuche de mantenimiento que permite verificar periódicamente las condiciones del sensor temperatura, la medición de capacitancia ( o resistencia) y la balanza.

El estuche de mantenimiento permite verificar el estado de los sensores o accesorios del instrumento (en base a tolerancias establecidas).

# Mediciones a distintos niveles de humedad

Existen algunos métodos para verificar el funcionamiento del medidor a distintos niveles de humedad. Uno de los más usados relaciona el contenido de humedad con la humedad relativa (isotermas de sorción).





**Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009**  
**18-20 de noviembre**

- ↪ Electromagnetismo
- ↪ Temperatura y Propiedades Termofísicas
- ↪ Tiempo y Frecuencia



CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, CENAM,  
DERECHOS RESERVADOS 2009

# Calibración

---

Los medidores comerciales se deben calibrar periódicamente en un laboratorio acreditado o un laboratorio nacional, para estimar la incertidumbre de medición para el(los) tipo(s) de grano(s) requerido(s) y de esta manera se pueda tener confiabilidad en las mediciones que se realizan.

El método que se usa con mayor frecuencia es el método gravimétrico, el cual se basa sobre el secado en un horno de convección.



**Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009**  
**18-20 de noviembre**

- ↪ Electromagnetismo
- ↪ Temperatura y Propiedades Termofísicas
- ↪ Tiempo y Frecuencia



CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, CENAM,  
DERECHOS RESERVADOS 2009

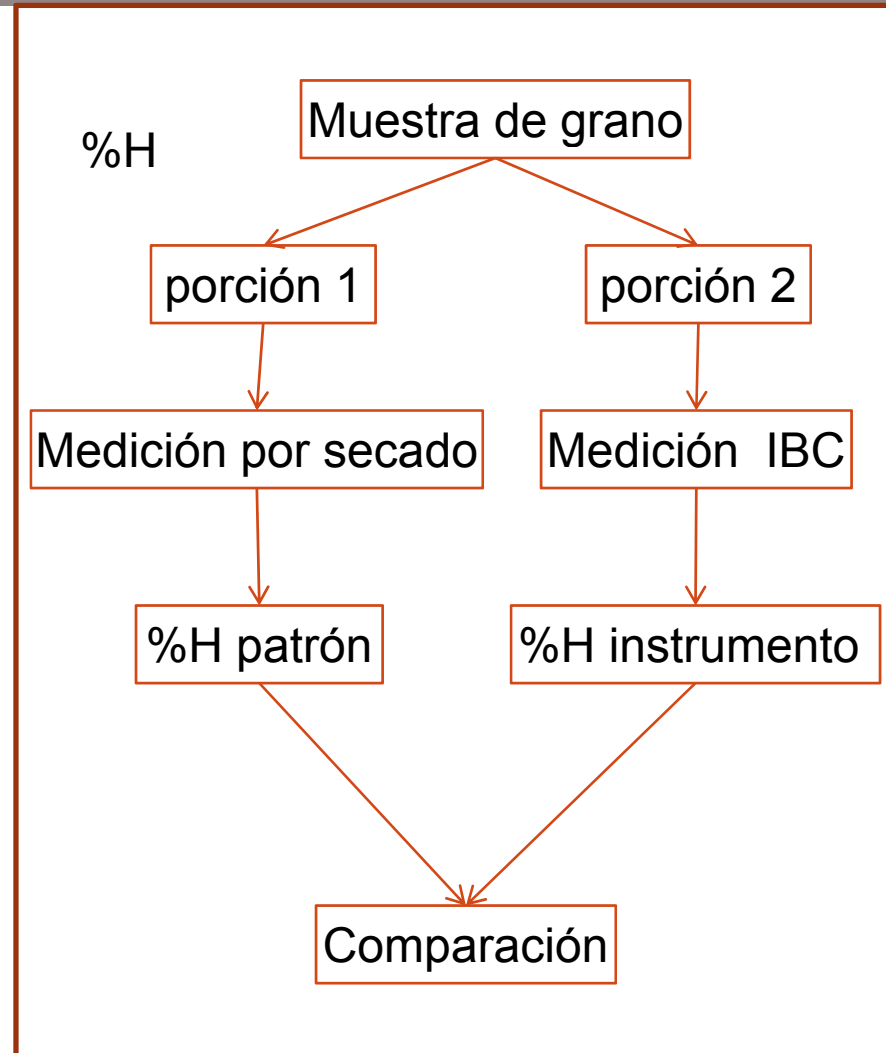
# Principales factores afectan la calidad del secado

---

- Temperatura de secado
- Tiempo de secado
- Masa de la muestra
- Superficie de exposición



# Calibración de medidores de humedad



# Certificado de calibración

## Resultados

Tipo de grano	Método gravimétrico			IBC	Corrección	Factor de cobertura	U
	temperatura de secado / °C	<sup>1</sup> tiempo de secado / h	H(%)				
Frijol negro	131,5	2	16,2	16,1	0,1	2,0	0,5
Maíz blanco	131,1	4	12,9	12,9	0,0	2,0	0,6

H: contenido de humedad en base húmeda

<sup>1</sup> Los tiempos de secado corresponden a los indicados en las normas: ISO 712 (1998) e ISO 6540 (1980).