



Importancia de la metrología en la determinación del contenido de humedad en granos

Enrique Martines López

Laboratorio de Humedad en Sólidos, División Termometría,

Metrología Eléctrica

Centro Nacional de Metrología

Contenido

- Introducción
- Situación de los granos en México
- Métodos de medición
- Normalización
- Comentarios finales

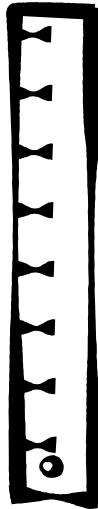
Introducción

Introducción

La metrología es la ciencia de la medición.

Que se mide en los granos?

- Masa
- Temperatura
- Densidad
- Propiedades nutritivas
- Propiedades mecánicas
- Propiedades eléctricas o magnéticas
- Contenido de humedad**
- Etc.



Todo proceso donde se requiera determinar las propiedades de un material o producto involucra un proceso de medición

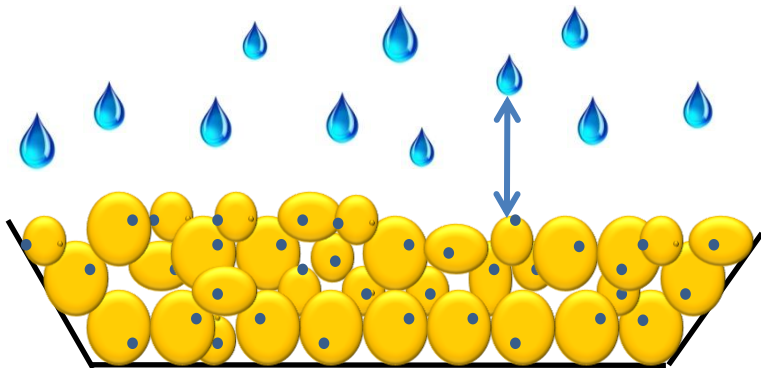


La medición del contenido de humedad es importante porque su presencia puede afectar sus propiedades.

Contenido de humedad

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en el material respecto a su masa total o respecto a su masa seca.

Para medir la cantidad de agua se requiere conocer cómo se lleva a cabo la interacción agua-material



La mayoría de los materiales sólidos presentes a nuestro alrededor contienen agua e interactúan dinámicamente con ella.

Grupos de materiales que son afectados por el contenido de humedad

- Alimentos
- Materiales de construcción
- Madera, papel y materiales derivados
- Medicamentos
- **Granos**
- Plásticos
- Metales
- Entre otros.

Situación de los granos en México

Datos-maíz

Producción, consumo y excedente exportable por países

1000 MT

País	2008/2009			2009/2010			2010/2011			2011/2012*		
	Producción	Consumo	Excedente Exportable	Producción	Consumo	Excedente Exportable	Producción	Consumo	Excedente Exportable	Producción	Consumo	Excedente Exportable
United States	307,142	259,272	47,870	332,549	281,590	50,959	316,165	285,005	31,160	313,918	279,540	34,378
China	165,900	153,000	12,900	158,000	165,000	-7,000	177,245	176,000	1,245	191,750	191,000	750
EU-27	62,321	61,600	721	57,281	59,300	-2,019	55,725	62,500	-6,775	64,524	65,900	-1,376
Brazil	51,000	45,500	5,500	56,100	47,000	9,100	57,500	49,500	8,000	62,000	52,000	10,000
Argentina	15,500	6,400	9,100	22,800	6,900	15,900	23,750	7,300	16,450	22,000	7,700	14,300
Mexico	24,226	32,400	-8,174	20,374	30,200	-9,826	21,130	29,000	-7,870	20,500	30,300	-9,800
India	19,730	17,000	2,730	16,720	15,100	1,620	21,730	18,300	3,430	21,500	19,200	2,300
Ukraine	11,447	5,850	5,597	10,486	5,700	4,786	11,919	6,550	5,369	22,500	8,250	14,250
South Africa	12,567	9,900	2,667	13,420	10,300	3,120	11,924	10,500	1,424	12,000	10,600	1,400
Canada	10,592	11,687	-1,095	9,561	11,606	-2,045	11,714	11,434	280	10,700	11,100	-400
Nigeria	7,970	7,900	70	8,759	8,800	-41	9,340	9,200	140	8,700	8,900	-200
Indonesia	8,700	8,900	-200	6,900	8,800	-1,900	6,800	9,200	-2,400	8,100	9,500	-1,400
Philippines	6,853	7,300	-447	6,231	6,500	-269	7,271	7,200	71	7,140	7,200	-60
Serbia	6,130	0	6,130	6,400	0	6,400	6,800	0	6,800	6,267	4,800	1,467
Egypt	6,645	11,100	-4,455	6,280	12,000	-5,720	6,500	12,500	-6,000	3,800	10,400	-6,600
Other	82,611	126,917	-44,306	81,115	128,975	-47,860	85,332	134,545	-49,213	83,511	122,836	-39,325

Source: Foreign Agricultural Service, Official USDA

De la producción obtenida se estiman que aproximadamente 11.9 millones de toneladas se dedican al consumo humano, y el resto corresponde a la industria, consumo pecuario y semillas para siembra, entre otras

México es uno de los mayores países importadores de maíz en el mundo

Producción y consumo de granos en México

CUADRO 8
 EXPECTATIVAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ GRANO 2007-2012

CONCEPTO	2006 ^{1/}	2007 ^{2/}	2008	2009	2010	2011	2012	TMAC
SUPERFICIE SEMBRADA (HECTÁREAS)								
TOTAL	7,885,031	8,014,082	8,193,931	8,306,911	8,459,951	8,546,042	8,728,342	1.7
OTOÑO INVIERNO	1,138,748	1,170,633	1,199,899	1,232,296	1,264,336	1,299,887	1,331,649	2.1
PRIMAVERA VERANO	6,746,283	6,843,450	6,994,032	7,074,615	7,195,615	7,246,154	7,396,693	1.5
SUPERFICIE COSECHADA (HECTÁREAS)								
TOTAL	7,410,964	7,512,421	7,687,306	7,792,286	8,004,401	8,054,166	8,095,967	1.5
OTOÑO INVIERNO	1,107,825	1,137,882	1,166,075	1,196,393	1,226,302	1,256,341	1,286,383	2.5
PRIMAVERA VERANO	6,303,139	6,374,540	6,521,231	6,595,893	6,778,099	6,797,825	6,809,584	1.3
VOLUMEN DE PRODUCCIÓN (TONELADAS)								
TOTAL	21,973,205	22,498,087	23,065,994	23,297,198	23,851,835	24,070,191	24,411,777	1.6
OTOÑO INVIERNO	5,945,018	6,101,061	6,265,790	6,402,227	6,575,087	6,736,948	6,875,345	2.4
PRIMAVERA VERANO	16,028,189	16,397,026	16,800,204	16,894,971	17,276,748	17,333,245	17,536,432	1.4
RENDIMIENTOS (TONELADAS / HECTÁREAS)								
PROMEDIO	2.96	2.99	3.00	2.99	2.98	2.99	3.02	0.1
OTOÑO INVIERNO	5.37	5.36	5.37	5.35	5.36	5.36	5.34	-0.1
PRIMAVERA VERANO	2.54	2.57	2.58	2.56	2.55	2.55	2.58	0.0

Producción esperada de
 maíz blanco
24 411 777.0 millones
 de toneladas



^{1/} Para el ciclo Primavera Verano, se consideraron datos del Avance de siembras y cosechas al mes de diciembre de 2008. En el caso del ciclo Otoño Invierno corresponden al cierre preliminar de septiembre de 2008.

^{2/} Pronóstico con base en modelos econométricos, a partir de la fecha que se indica.

Nota: Las estimaciones se realizaron considerando como variables independientes la superficie cosechada (toneladas), valor de la producción (millones de pesos corrientes), el rendimiento (toneladas/hectáreas), precios nacionales e internacionales, importaciones, precipitación pluvial y los recursos destinados a Procampo. Es importante mencionar que estas estimaciones no consideran las acciones involucradas en los nuevos programas de apoyo a la producción del grano, como el recientemente anunciado Programa de Competitividad de Maíz.

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP-SAGARPA.

Datos-trigo

2010

Consumo/miles de toneladas	
Humano	5 699.7
Pecuario	316.6
Otros	158
Total	6174.7

Fuente: SAGARPA

Aproximadamente el 50 % del consumo se importa.

Datos-frijol

2010

Consumo/miles de toneladas	
Humano	902.4
Pecuario	0.0
Otros	67.0
Total	969.4

Fuente: SAGARPA

Aproximadamente el 147.8 miles de toneladas se importa.

Para el año agrícola 2012 se estima una producción de 937 mil toneladas de las cuales 287 mil toneladas corresponden ciclo Otoño Invierno y 650 mil que se esperan para el Primavera – Verano.

Consumo para el año 2012: un millón 445 mil toneladas

Consumo humano: 933 mil toneladas de frijol durante 2012;

El resto (372 mil toneladas) a inventario, producción de semilla para siembra, entre otros.

Datos- arroz

2010

Consumo/miles de toneladas	
Humano	745.6
Pecuario	0.0
Otros	3.4
Total	749.0

Fuente: SAGARPA

Aproximadamente el 550 miles de toneladas se importa.

Datos-cebada

2010

Consumo/miles de toneladas	
Industrial	1325.0
Pecuario	60.0
Otros	47.0
Total	1432.0

Fuente: SAGARPA

Aproximadamente el 738 miles de toneladas se importa.

Datos-granos forrajeros

Sorgo: 2010

Consumo/miles de toneladas	
Industrial/humano	0.0
Pecuario	8710.0
Otros	309.3
Total	9019.3

Fuente: SAGARPA

Aproximadamente el 2320 miles de toneladas se importa.

En resumen

De acuerdo a datos de la SAGARPA, en el año 2011 México importó aproximadamente:

- 15 millones de toneladas de granos cereales.**
- 7 millones de toneladas de oleaginosas**

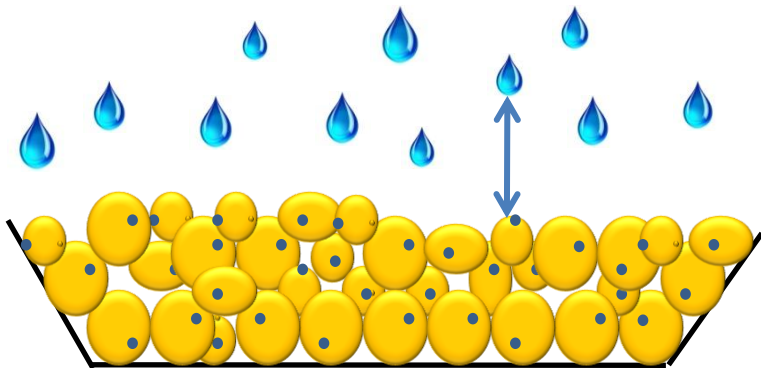
El comercio interno de granos es aproximadamente **31 millones de toneladas**

Efecto del contenido de humedad en el manejo de granos

Contenido de humedad

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en el material respecto a su masa total (o respecto a su masa seca).

Para medir la cantidad de agua se requiere conocer cómo se lleva a cabo la interacción agua-material



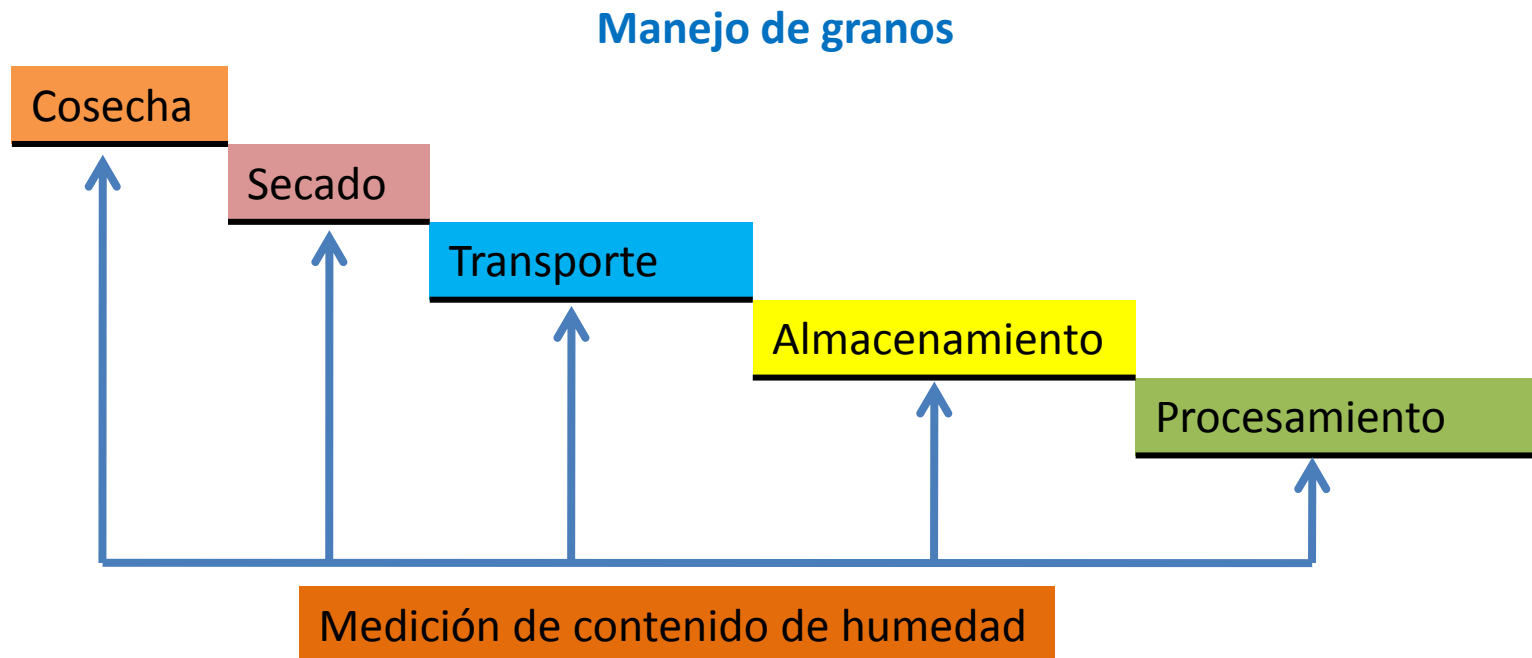
La mayoría de los materiales sólidos presentes a nuestro alrededor contienen agua e interactúan dinámicamente con ella.

Efecto de la humedad en los granos

Los granos son materiales higroscópicos que intercambian (absorben o evaporan) humedad con el ambiente.

La cantidad de agua presente en el material afecta sus propiedades, por lo que es importante conocer (medir) y controlar la cantidad de agua presente en ellos.

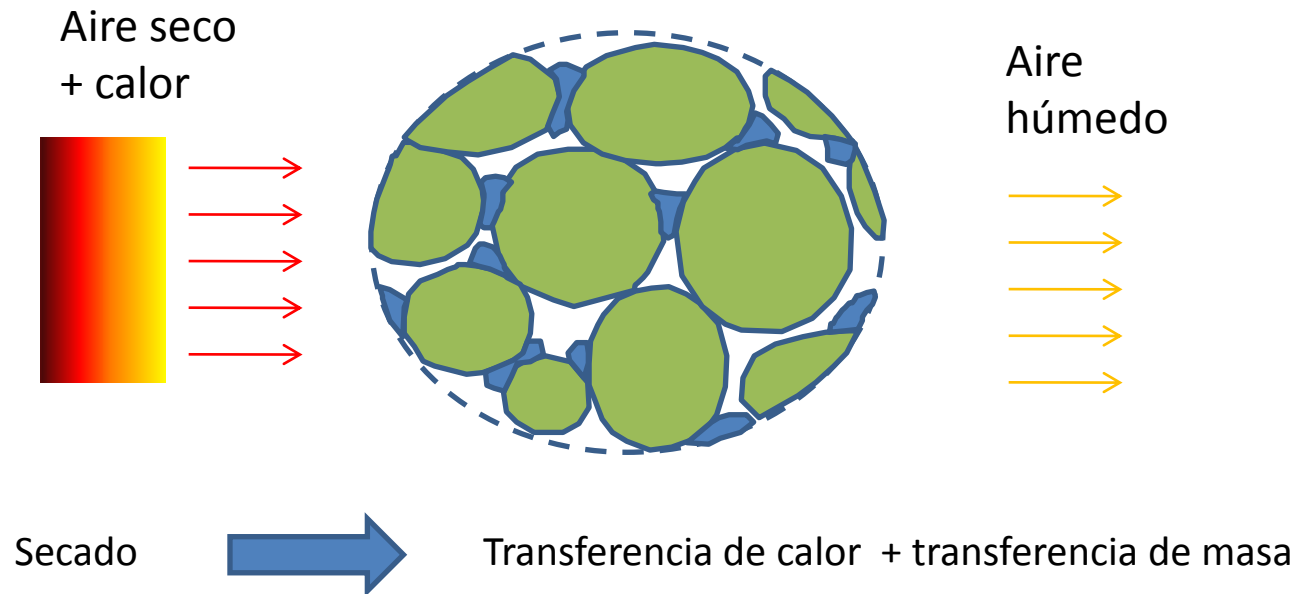
La medición se debe realizar en las diferentes etapas que involucran el manejo de granos



Secado de granos

El secado es una operación unitaria cuyo objetivo es reducir la cantidad de agua de un material dado y se realiza empleando distintos métodos.

El secado de granos se realiza para llevarlo a una condición de contenido de humedad que permita almacenarse de manera segura.



Para conocer el contenido de agua que se requiere extraer es necesario medir:

- El contenido de humedad inicial del producto
- El contenido de humedad final
- La temperatura del aire
- La velocidad del aire

Los granos se cosechan con altos contenido de humedad y para almacenarlos de manera segura (es decir que no se desarrollen hongos o experimenten descomposición) se requiere secarlos, llevándolos a un contenido de humedad adecuado.

El secado de granos generalmente se realiza mediante:

- Exposición al ambiente (secado natural)
- Secadores industriales (artificial)

La medición del contenido de humedad durante el secado es importante ya que este proceso (secado) consume mucha energía y puede encarecer el costo del grano.



Figura . Secado Natural de Granos de Café

Fuente: SAGARPA-ASERCA

Almacenamiento de granos

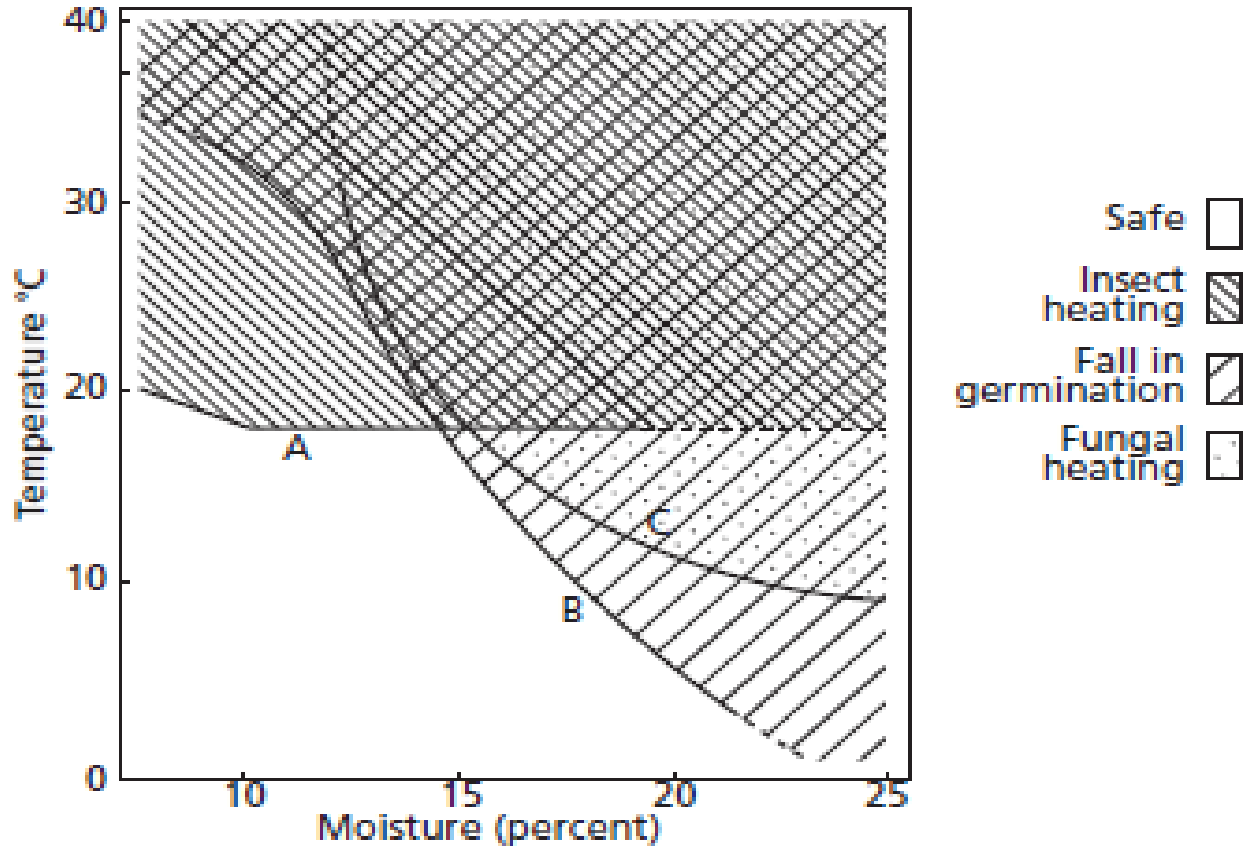
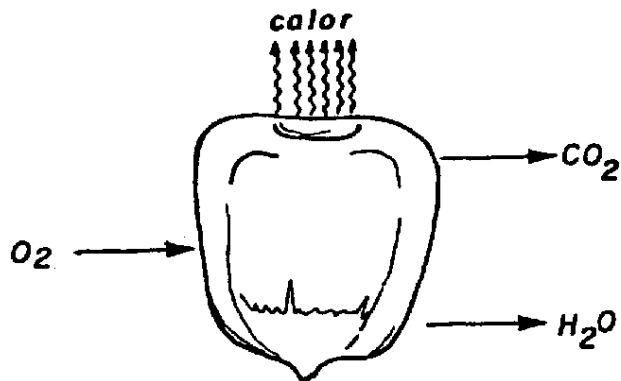


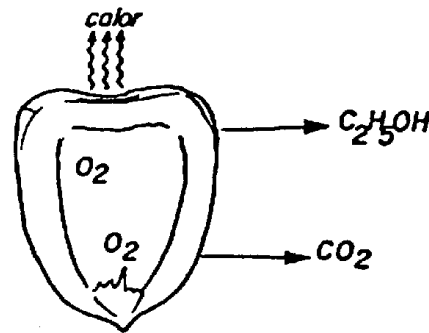
Figure Effects in storage at different temperatures and moisture content

Fuente:FAO

El grano almacenado con alto contenido de humedad es un producto biológicamente activo y tiende a “respirar” y como consecuencia experimenta un calentamiento, esta condición propicia la generación microorganismos que degradan el grano.



Respiración aeróbica



Respiración anaeróbica

Factores que afectan el proceso respiratorio

- Temperatura
- Contenido de humedad
- Desarrollo de los hongos
- Composición del aire ambiente

Los granos almacenados entre 11 % y 13 % tienen un proceso de respiración lento

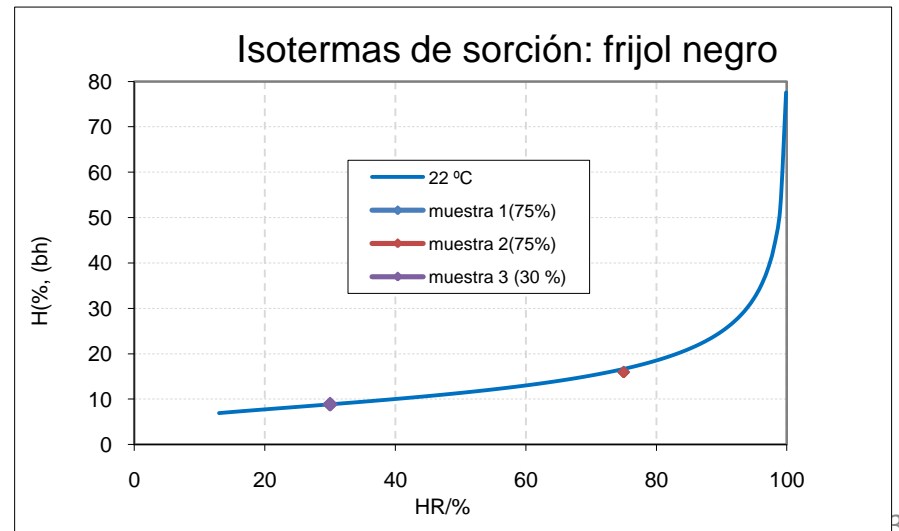
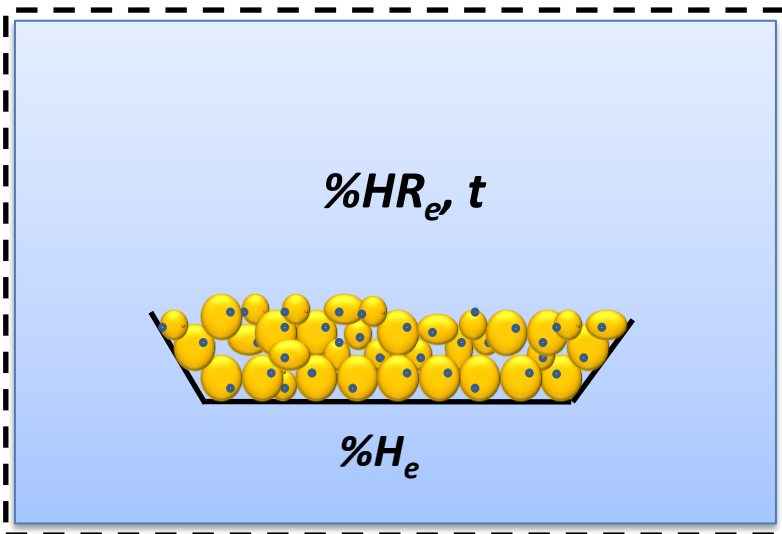


Su periodo de almacenamiento seguro aumenta

Relación de humedad relativa y contenido de humedad

Una manera indirecta de conocer el contenido de humedad para el almacenamiento seguro del grano es mediante el uso de isoterms de sorción.

Para cada tipo de grano existe una relación matemática entre el contenido de humedad y la humedad relativa del ambiente (y la temperatura), la cual indica si en la condición que se encuentra el grano, éste absorberá o ganará agua del ambiente .



Datos relacionados con el almacenamiento

El almacenamiento consiste en resguardar los granos de manera segura para que éstos no puedan ser afectados por las condiciones ambientales, por los insectos o por las aves.

Centros de almacenamiento: 1 966 en el país

Capacidad de almacenaje: 30 000 531 toneladas de granos

Equipamiento


- Equipo de secado
- Acondicionamiento
- Empacado
- Laboratorio de análisis
- **Medidores de contenido de humedad**
- Balanzas
- Equipo de medición de condiciones ambientales



Fuente:SAGARPA

La medición del contenido de humedad durante el almacenamiento es importante porque ésta tiene efectos en el periodo de almacenamiento seguro y en las propiedades de los granos

Capacidad de almacenamiento de granos en México

	Número de centros	Unidades de confinamiento y conservación	Capacidad (toneladas)
Total	1,966	5,903	30,000,531
 Con naves	1,555	1,555	15,664,964
 Con silos	634	3,676	9,261,290
 Con unidades a la intemperie	672	672	5,074,277

Nota: Las cifras de producción se refieren al año agrícola

Nota: Las cifras de los centros de almacenamiento no son sumables entre sí porque en el mismo lugar puede haber más de un tipo

Fuente: Almacenamiento agrícola en México, SAGARPA/ ASERCA/SIAP, Reporte , mayo 2012

De acuerdo a estudios realizados por la SAGARPA una de las necesidades identificadas en los almacenes de granos es la **falta de equipamiento**.

Entre los equipos identificados como necesarios se encuentran los **medidores de contenido de humedad**.

Un porcentaje importante de almacenadores medianos y pequeños no realizan la medición de contenido de humedad.



- No hay un comercio equitativo
- Existen pérdidas cuyo origen no se identifica, ni se controlan

Efecto del contenido de humedad en granos

- Su precio se fija sobre la base de su contenido de humedad.
- Afecta sus propiedades (nutritivas, mecánicas, de conservación, etc.).
- Es importante para determinar el tiempo de secado.
- Afecta su periodo de tiempo de almacenamiento seguro



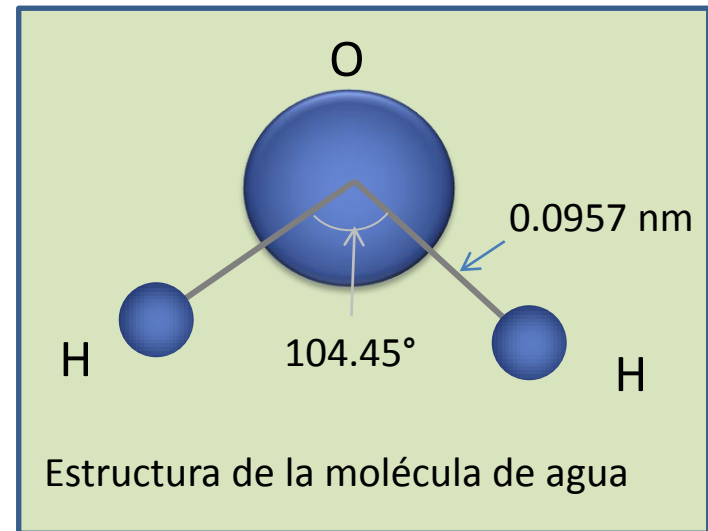
Medición de contenido de humedad

La molécula de agua

Propiedades

El contenido de humedad está relacionado con la cantidad de moléculas de agua presentes en un material, por lo que para su determinación es importante conocer algunas de sus propiedades (físicas, químicas y biológicas), ya que ellas permiten establecer relaciones que facilitan su **medición**.

- Vibraciones moleculares
- Rotaciones moleculares
- Valor alto de constante dieléctrica
- Valor alto de resistividad eléctrica
- Se puede evaporar a una temperatura de 100 °C o menor



El agua y su interacción con materiales sólidos

La interacción entre el agua y los materiales sólidos es compleja ya que depende de distintos factores:

- Tipo de material
- Condiciones ambientales
- Propiedades eléctricas
- Propiedades termofísicas, etc.

Internamente, en un material se pueden encontrar dos tipos de agua:

Agua libre → Se encuentra en los poros no se encuentra unida por algún tipo de fuerza de enlace con la matriz sólida.

Agua ligada → Se encuentra unida a la matriz sólida mediante fuerzas de enlace, su extracción puede generar procesos irreversibles en el material.

Métodos de medición de contenido de humedad

Medición directa

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

Medición indirecta

- Métodos eléctricos (capacitivos, resistivos)
- Métodos espectroscópicos (IR, microondas, etc.)
- Humedad relativa (isotermas de sorción)
- Entre otros

Situación actual de la medición de contenido de humedad

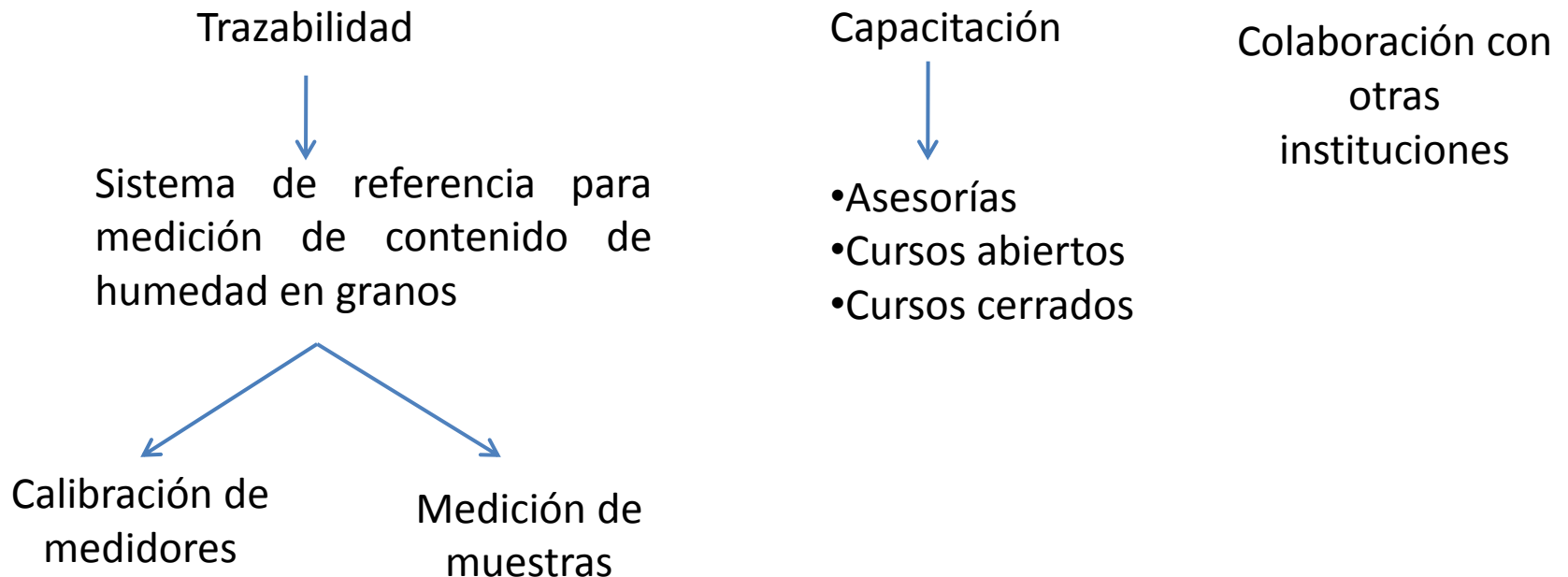
- De manera convencional el contenido de humedad en granos se expresa en base húmeda (normas NMX, OIML R59, otras).

$$H_{bh} / \% = \frac{m_{H_2O}}{m_h} \bullet 100$$

- Los métodos mas usados, a nivel internacional, para medir el contenido de humedad en granos son los “métodos eléctricos”.
- Existe falta de uniformidad en las mediciones de contenido de humedad.
- Algunos equipos se pueden “ajustar” por parte del usuario.
- Las curvas de “calibración” (o medición) que se aplican no corresponden a la variedad de grano que se usa.
- Los equipos no están calibrados, sólo reciben mantenimiento.

Esquema nacional para medición de contenido de humedad en los granos y cereales

Centro Nacional de Metrología



- Se tiene asegurada la trazabilidad de las mediciones. Actualmente se encuentra en documentación el establecimiento del patrón nacional de humedad en sólidos
- No existen laboratorios acreditados

Normalización

Normas nacionales para granos

Grano	Norma (NMX)	Contenido de humedad	Clasificaciónm	Medición de contenido de humedad
Maíz	NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (NMX-FF-034/2-SCFI-2003)	14.0 % (15.0 %)	Grado 1 (México 1) Grado 2 (México 2) Grado 3 (México 3)	Determinador electrónico o similar
Trigo	NMX-FF-036-1996. NMX-FF-055-1984	13 .0 ±1%	México 1 México 2 México 3	Determinador electrónico o similar
Arroz (pulido)	NMX-F-120-1996 NMX-FF-035-SCFI-2005	14.0 ±1%	México No. 1 (Mexicano) México No. 2 (Super extra) México No. 3 (Comercial) México No. 4 (Popular) Grado muestra no clasificada	Determinador electrónico (tipo resistivo)
Frijol	NMX-FF-038-SCFI-2002	9.0 % a 13.0 %	Extra Primera Segunda	Determinador electrónico o similar
Cebada	NMX-FF-043-2003	11.5 % a 13.5 %	Grado México Grado México (no clasificado)	Determinador electrónico
Soya	NMX-FF-089-SCFI-2008	≤13.0 % (grado I) 13.1 a 14. 0 % (grado II)	-Extra (Grado I) -Primera (Grado II) -Grado industrial no clasificado	ISO 665 (secado en horno)
Granos forrajeros (cebada)	NMX-Y-221-1967	13.0 %	No hay clasificación	No especifica el método

Bonificaciones y deducciones en el comercio de cebada

TABLA 3.- Humedad

Bonificaciones		Deducciones			
%	kg/t	%	kg/t		
6,0	5	14,0	5		
6,5		14,5			
7,0		15,0			
7,5		15,5			
8,0		16,0			
8,5		16,5			
9,0		0		NOTA: Las fábricas y/o bodegas con secadora podrán recibir en camiones hasta con el 16,5 % de humedad, cobrando lo correspondiente por gastos de secado.	
9,5					
10,0					
10,5					
11,0					
11,5					
12,0					
12,5	0	NOTA: Las fábricas y/o bodegas con secadora podrán recibir en camiones hasta con el 16,5 % de humedad, cobrando lo correspondiente por gastos de secado.			
13,0					
13,5					
13,5					

Norma mexicana
NMX-FF-043-2003

H/%	ms/ton
6	94.0
6.5	93.5
7	93.0
7.5	92.5
8	92.0
8.5	91.5
9	91.0
9.5	90.5
10	90.0
10.5	89.5
11	89.0
11.5	88.5
12	88.0
12.5	87.5
13	87.0
13.5	86.5
14	86.0
14.5	85.5
15	85.0
15.5	84.5
16	84.0
16.5	83.5

Tabla para una carga de 100 ton

Existen distintas normas para la comercialización de granos y oleaginosas que se almacenan en México para 11 granos y oleaginosas.

En algunos casos el comprador no exige a los almacenistas la aplicación de las normas.

En una revisión de las normas se ha identificado lo siguiente:

- Falta de claridad en su aplicación
- Los métodos de prueba sólo indican el tipo de medidor requerido, en particular los referidos a la medición de contenido de humedad (falta indicar el alcance, incertidumbre, procedimiento de medición, cuidados de muestras, etc.)
- En algunos casos no se indica la tolerancia e incertidumbre de medición
- En otros se hace referencia a normas que ya no existen.
- No existe norma oficial mexicana para medidores de contenido de humedad en granos

Aprobación de modelo

Es un proceso que permite determinar si un modelo de instrumento (o sistema) de medición es adecuado para cumplir con las funciones para las que fue diseñado y construido.

Cada país cuenta con una lista de modelos aprobados de acuerdo a sus necesidades identificadas. Los modelos aprobados requieren verificación obligatoria (por ley).

En México los instrumentos sujetos a aprobación de modelo son aquellos que se utilizan para (Ley Federal de Metrología y Normalización, LFMN):

- I. Una transacción comercial o para determinar el precio de un servicio;
- II. La remuneración o estimación, en cualquier forma, de labores personales;
- III. Actividades que puedan afectar la vida, la salud o la integridad corporal;
- IV. Actos de naturaleza pericial, judicial o administrativa; o
- V. La verificación o calibración de otros instrumentos de medición.

ARTÍCULO 10 (LFMN)- Los instrumentos para medir y patrones que se fabriquen en el territorio nacional o se importen y que se encuentren sujetos a norma oficial mexicana, requieren, previa su comercialización, **aprobación del modelo o prototipo por parte de la Secretaría** sin perjuicio de las atribuciones de otras dependencias.

Para que un instrumento sea sujeto a aprobación de modelo se requiere que exista una norma oficial mexicana

Comentarios finales

La medición de contenido de humedad en granos de manera confiable permite:

- Obtener información para mejorar los procesos de secado y almacenamiento de granos.
- Ayudar en alcanzar una mejor equidad en el comercio de granos.
- Permitirá solucionar problema de falta de uniformidad en las mediciones
- Mejora en los métodos de prueba de medición de contenido de humedad en normas existentes
- Apoyar en la elaboración de una norma oficial mexicana para medidores de contenido de humedad
- Apoyar el establecimiento de laboratorios acreditados
- Apoyar en la aprobación de modelo de medidores de contenido de humedad en granos