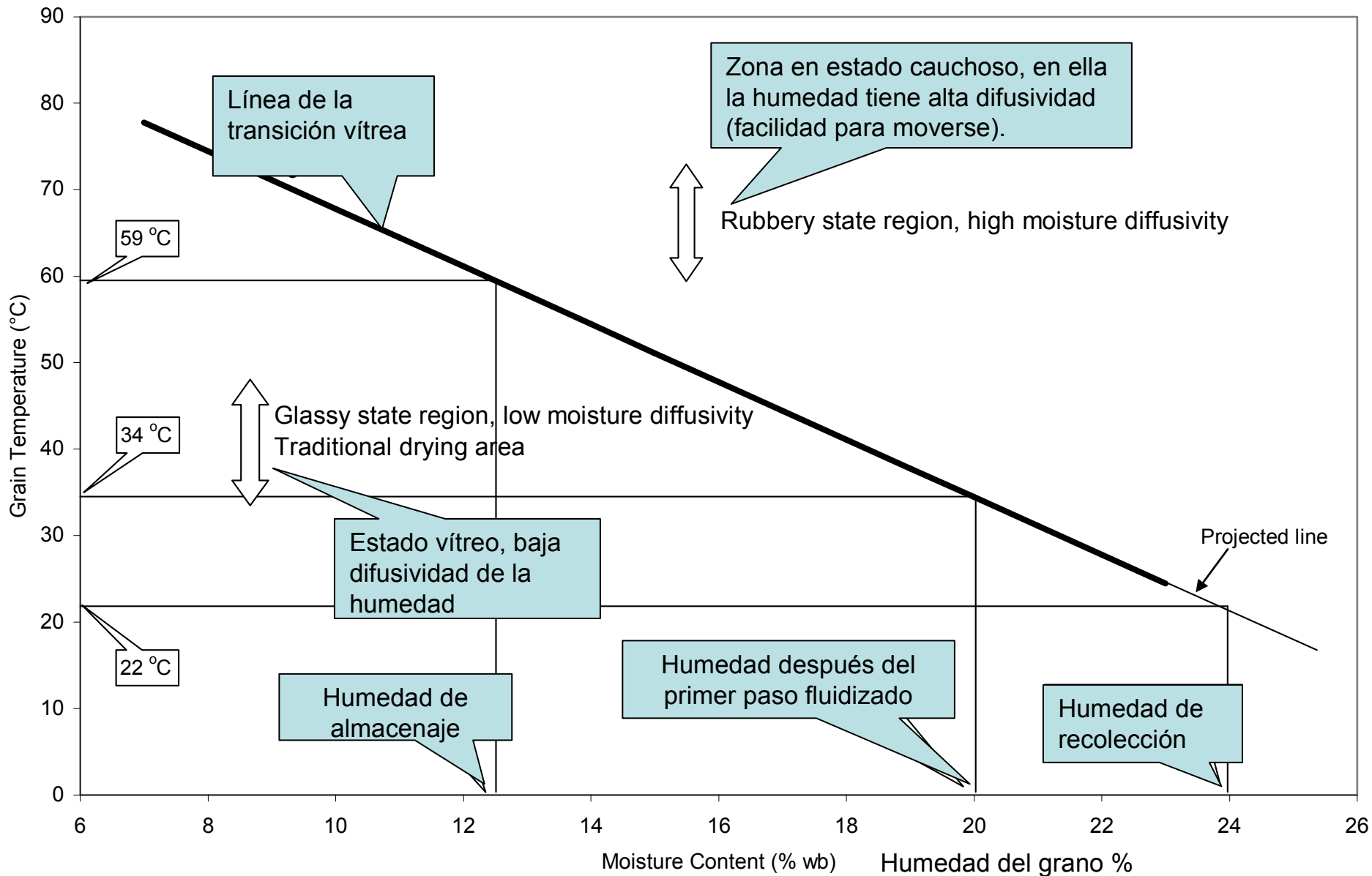


INTERPRETACION DEL SECADO EN LECHO FLUIDIZADO A LA LUZ DE LA TRANSICION VITREA (T_g)

REV: AGOSTO 28, 2006

LA Tg, UNA EXPLICACION TEORICA



LINEA DE LA TRANSICION VITREA		
Contenido de humedad (%)	Temperatura del grano (°F)	Temperatura del grano (°C)
7	172	77,8
8	166	74,4
9	160	71,1
10	154	67,8
11	148	64,4
12	142	61,1
13	136	57,8
14	130	54,4
15	124	51,1
16	118	47,8
17	112	44,4
18	106	41,1
19	100	37,8
20	94	34,4
21	88	31,1
22	82	27,8
23	76	24,4

Datos de la transición vítrea, según la U. de Arkansas



Podría decirse que casi todo el arroz en los trópicos se recolecta en estado cauchoso

SECADO FLUIDIZADO Y TRANSICIÓN VÍTREA

- Las secadoras fluidizadas permiten elevar en muy pocos minutos la temperatura del arroz hasta sobrepasar la transición *vítrea*, y llegar a la zona *cauchosa*.
- El secado en la zona *cauchosa* se puede realizar con alta eficiencia térmica, permitiendo conseguir economías en combustible y en fuerza eléctrica.

SECADO FLUIDIZADO

- Reducción de la “dispersión” de la humedad.
- Alta capacidad de secado debido a la alta relación de masa de aire y masa del producto y alta superficie de contacto del producto con el aire de secado.
- Poco espacio ocupado por la instalación.
- Recirculación del aire de expulsión para permitir ahorros en consumo de energía.

SECADO FLUIDIZADO

- Estudios de Soponronnarit et al. (1996) y Taweerattanapanish *et al.* (1999), encontraron que 18% de humedad es el límite inferior para conseguir máximos rendimientos de grano entero al usar secado fluidizado con alta temperatura. Estos estudios han sido confirmados por evidencia empírica posterior.

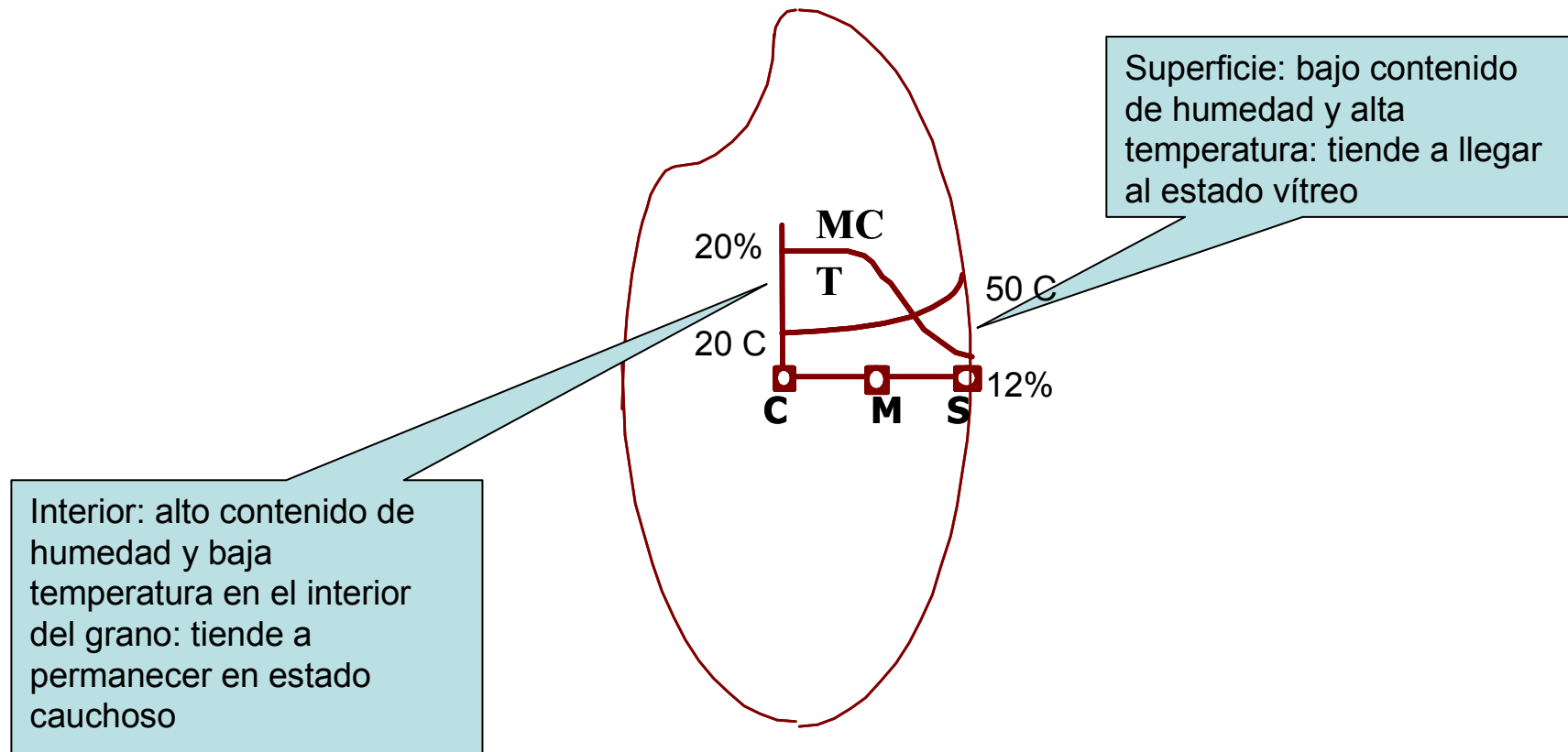
SECADO FLUIDIZADO

- Las secadoras fluidizadas permiten realizar la extracción de humedad inicial del arroz en la zona “cauchosa” de los almidones, en la cual la difusión de la humedad es muy rápida.
- La extracción de humedad en la zona “cauchosa” exige trabajar con altas temperaturas.

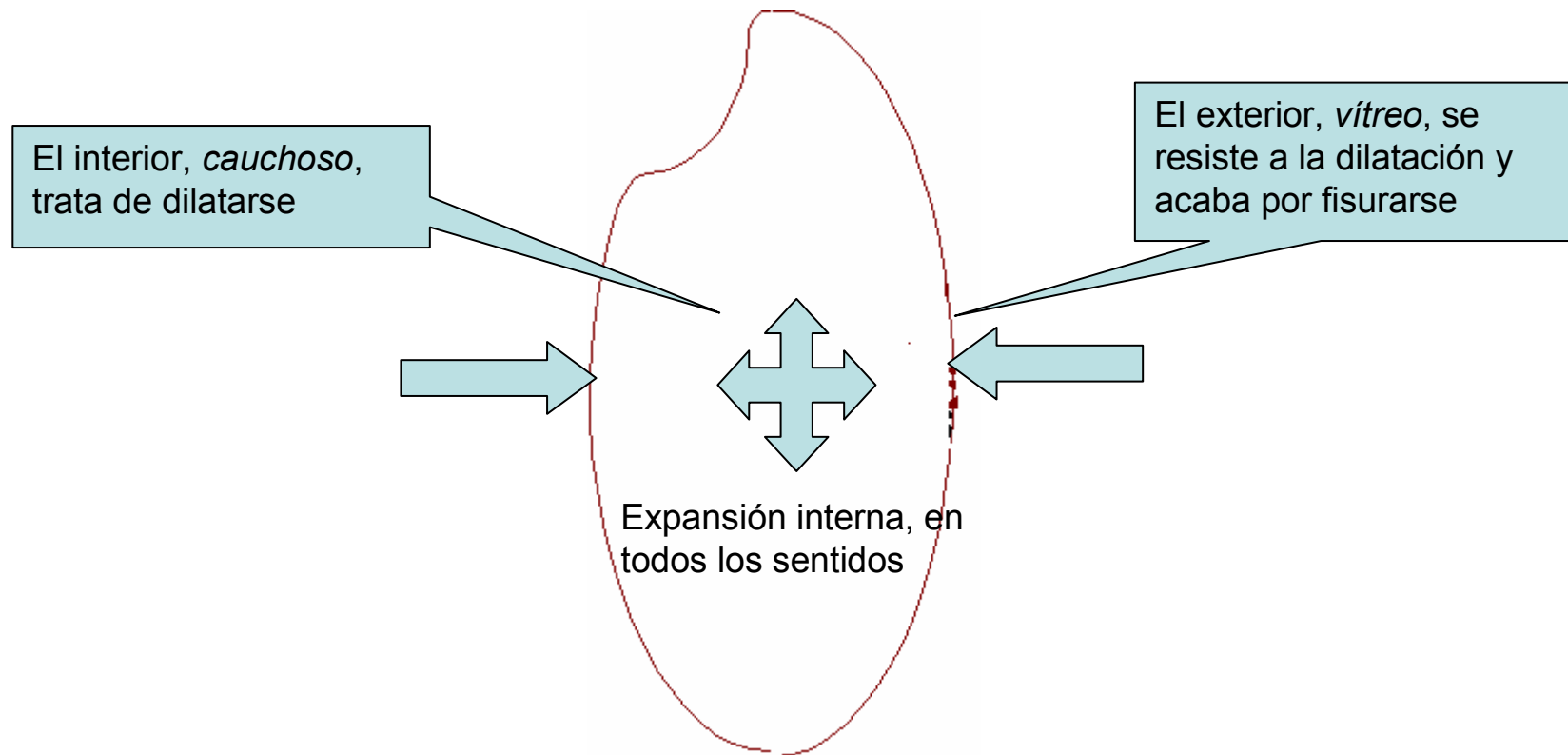
SECADO FLUIDIZADO

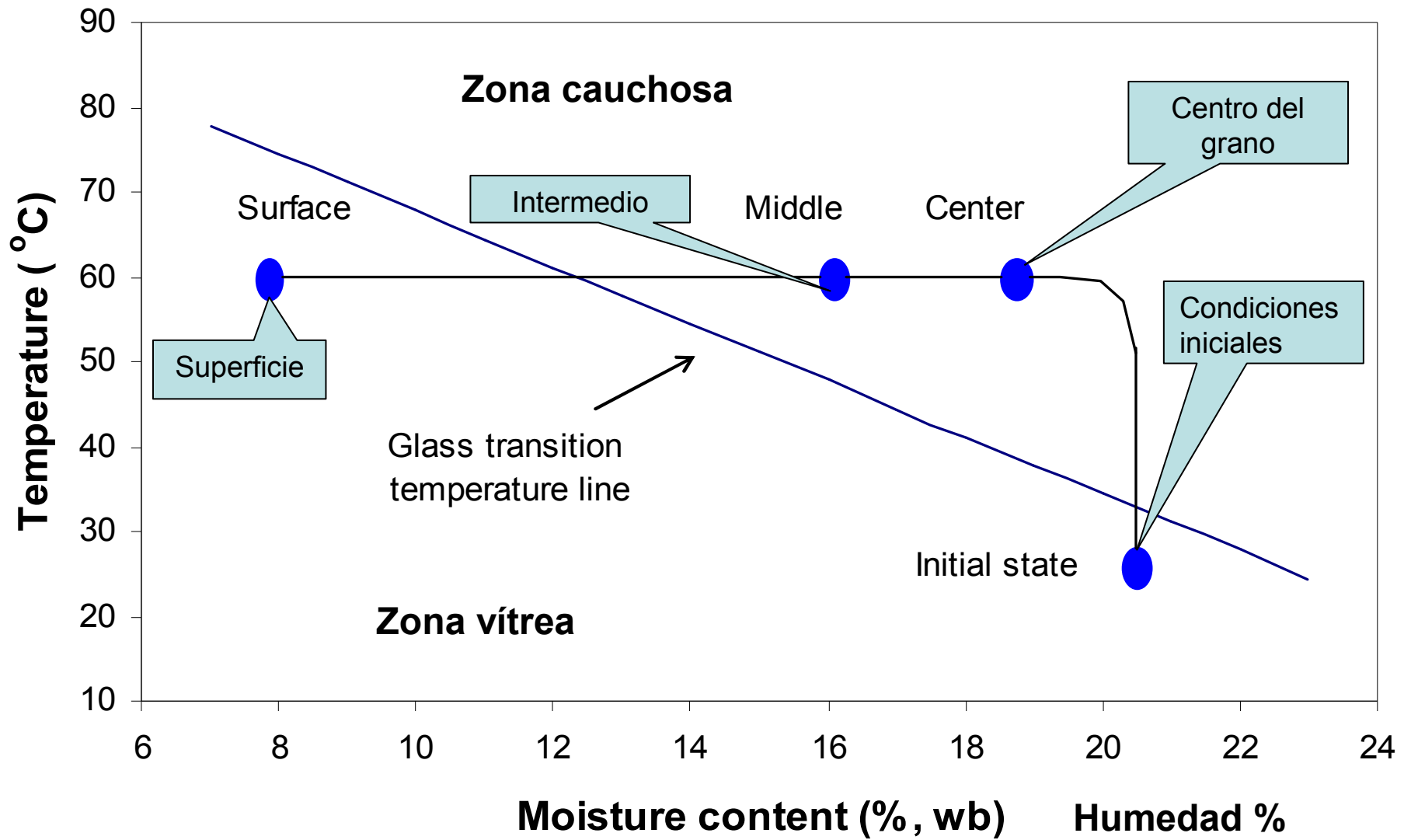
- El tiempo de difusión de la humedad interna se relaciona con la temperatura del grano por los principios de la transición vítrea en cuyo desarrollo ha trabajado la Universidad de Arkansas.

GRADIENTES EN EL GRANO DE ARROZ DURANTE SU SECADO



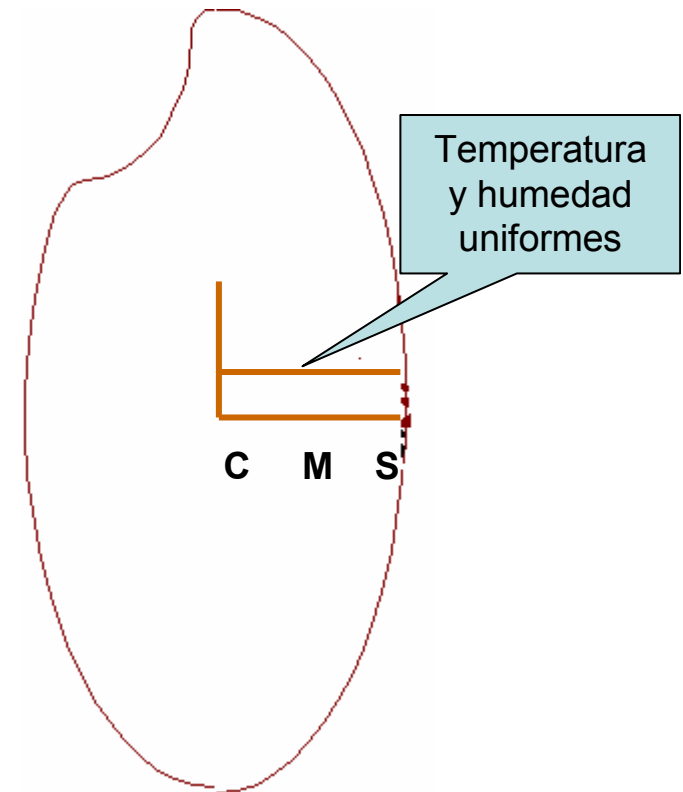
CAUCHOSO (INTERIOR) VITREO (EXTERIOR), DOS MATERIALES DIFERENTES CON DIFERENTES COEFICIENTES DE DILATACION





ATEMPERADO

- Con el atemperamiento entre paso y paso de secado se busca la disipación de los gradientes internos de humedad, de tal modo que todo el grano se encuentre en un mismo estado.



ATEMPERADO

- Se debe buscar que los atemperamientos se hagan con temperatura constante, antes de reanudar el proceso de secado.
- Schuterman y Siebenmorgen, de la U. de Arkansas (2004) han estudiado los tiempos de reposo necesarios, con grano a altas temperaturas (50 y 60°C). Estos tiempos oscilan alrededor de **60** minutos.

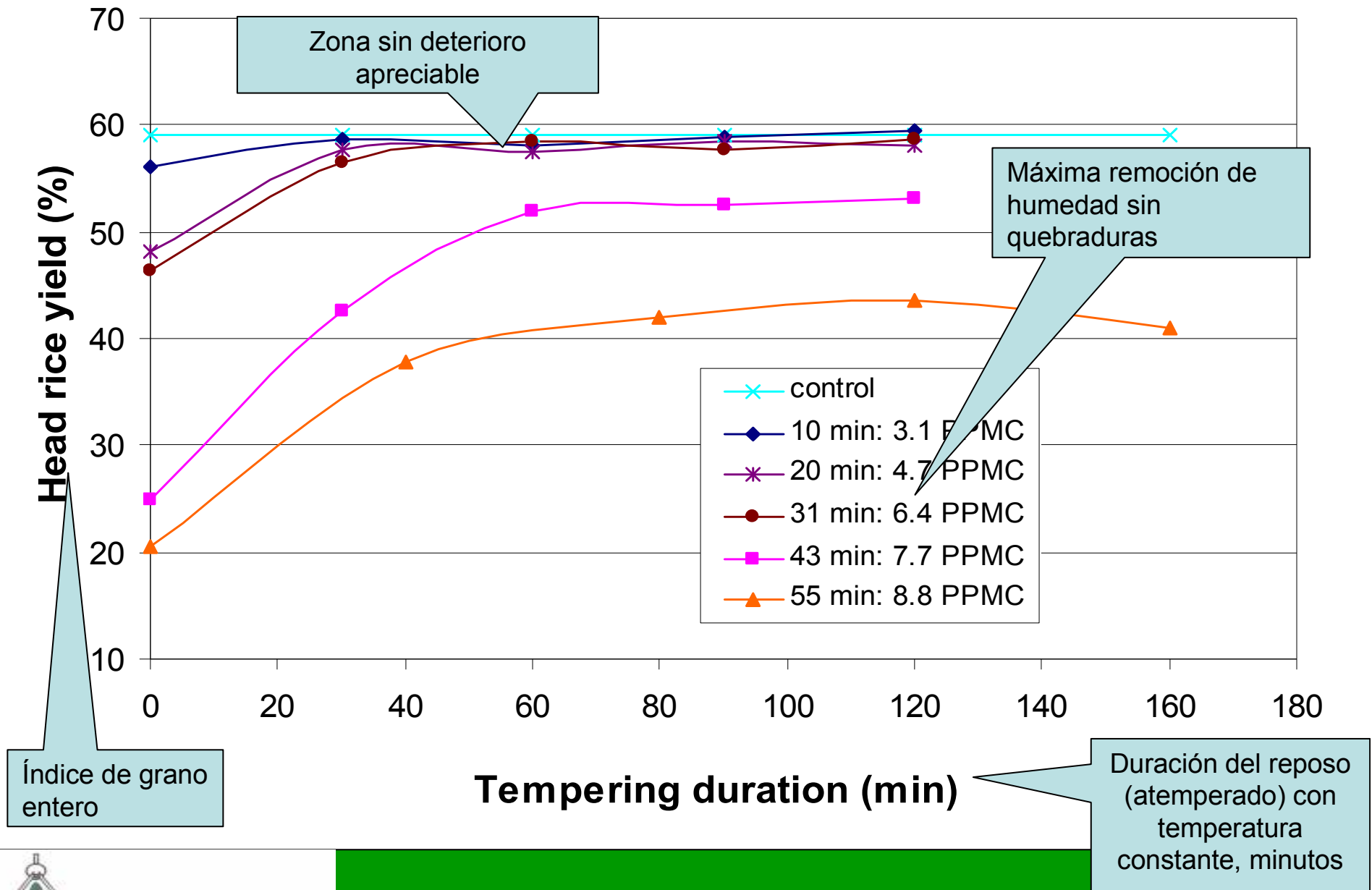
ATEMPERADO

- Los tiempos de atemperamiento necesarios (para disipar los gradientes de humedad y temperatura) son mayores con grano a baja temperatura (vítreo) por la menor difusividad de la humedad.
- Normalmente en lugar de **60** minutos se necesitan 6 o 7 horas.

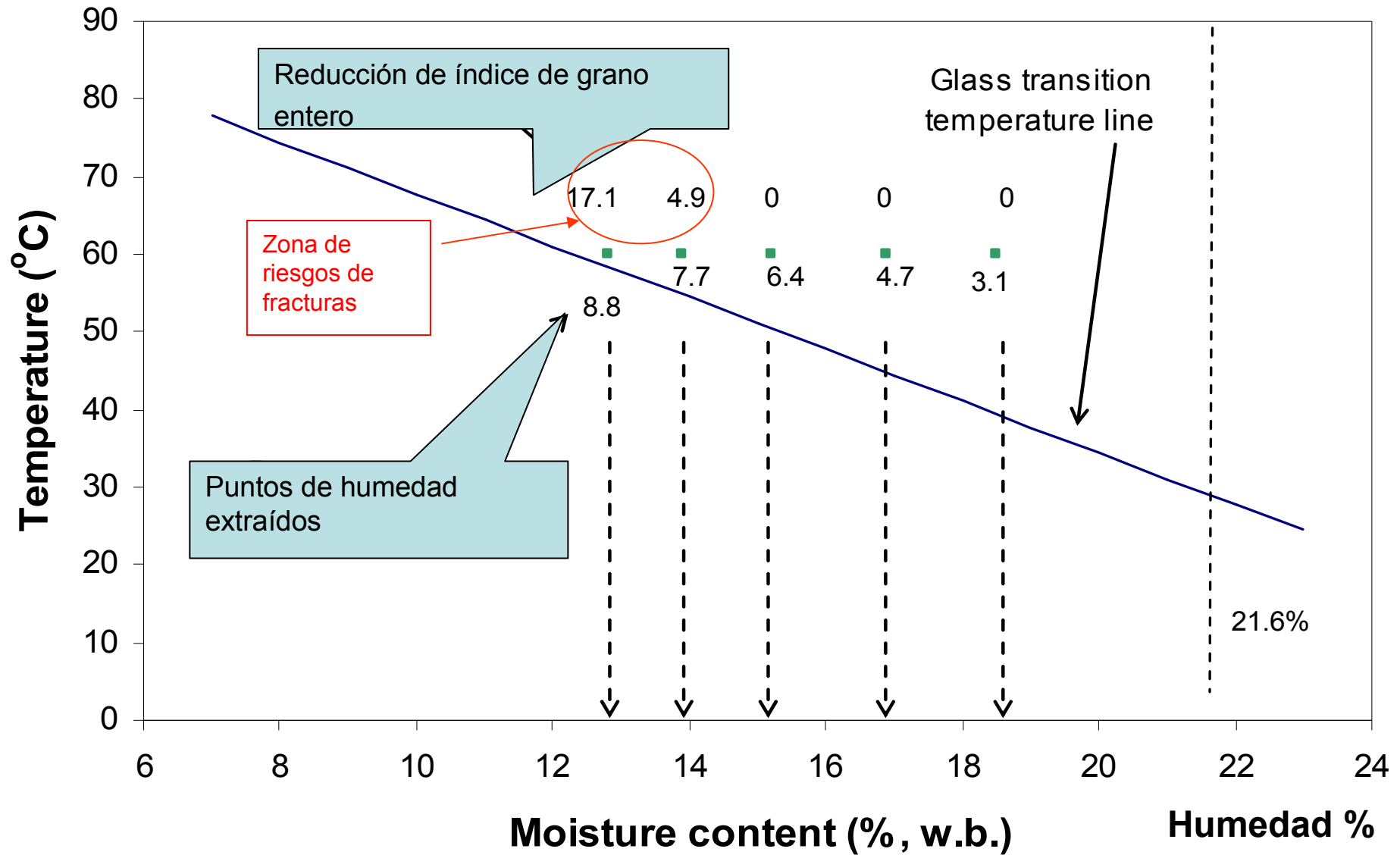
ESTUDIO SOBRE TIEMPOS DE ATEMPERAMIENTO

- *Derek A. Schluterman, ASAE Member, Research Assistant, and Terry J. Siebenmorgen, ASAE Member Engineer, Professor, and Fellow, Department of Food Science, University of Arkansas, Fayetteville, Arkansas. Relating Rough Rice Moisture Content Removal and Tempering Duration to Head Rice Yield Reduction, 2004.*

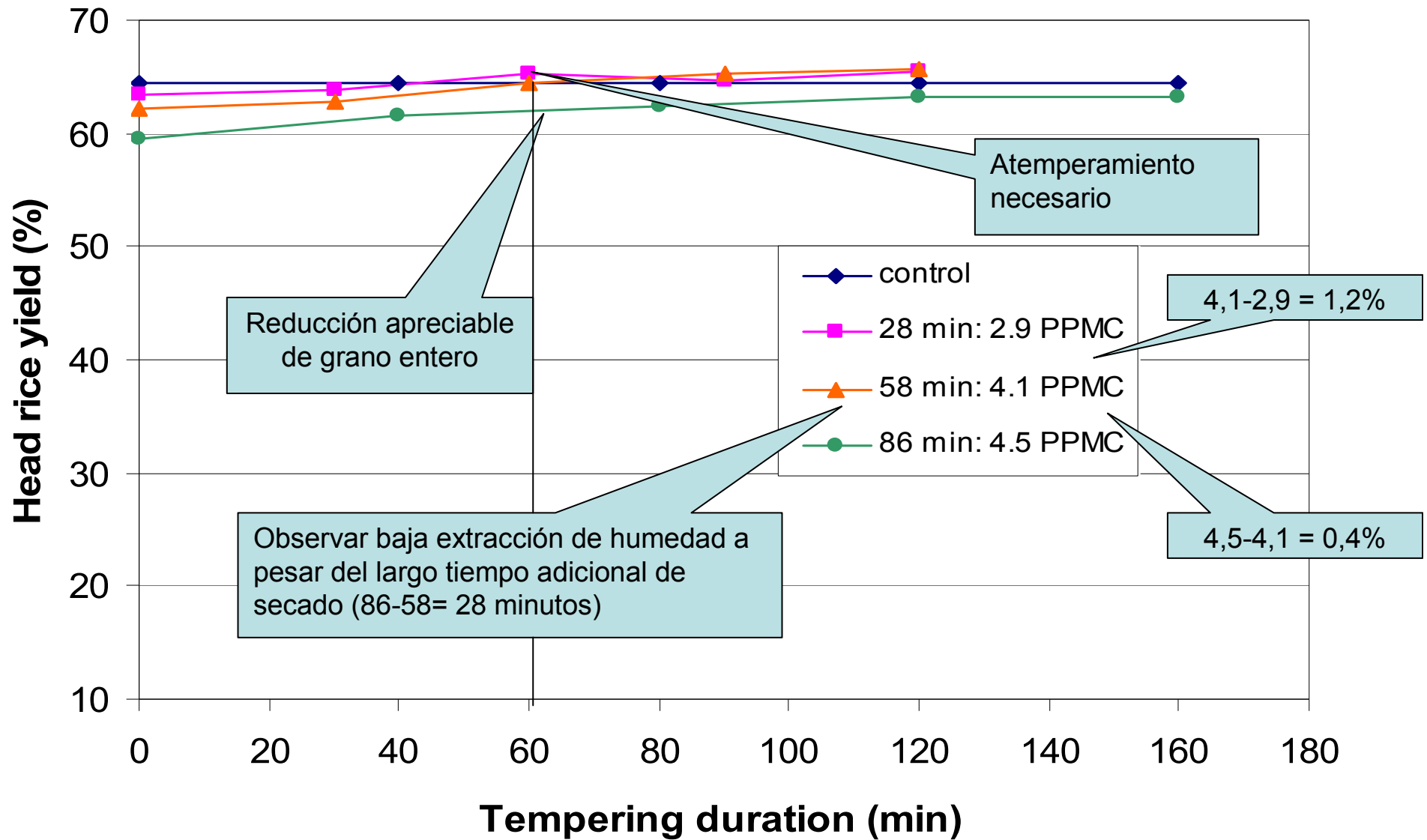
INDICE DE GRANO ENTERO, EXTRACCION DE HUMEDAD Y PERIODO DE REPOSO, AIRE A 60C
 Cultivar "Wells", humedad inicial 21.6%. Paper de Schluterman y Siebenmorgen, 2004



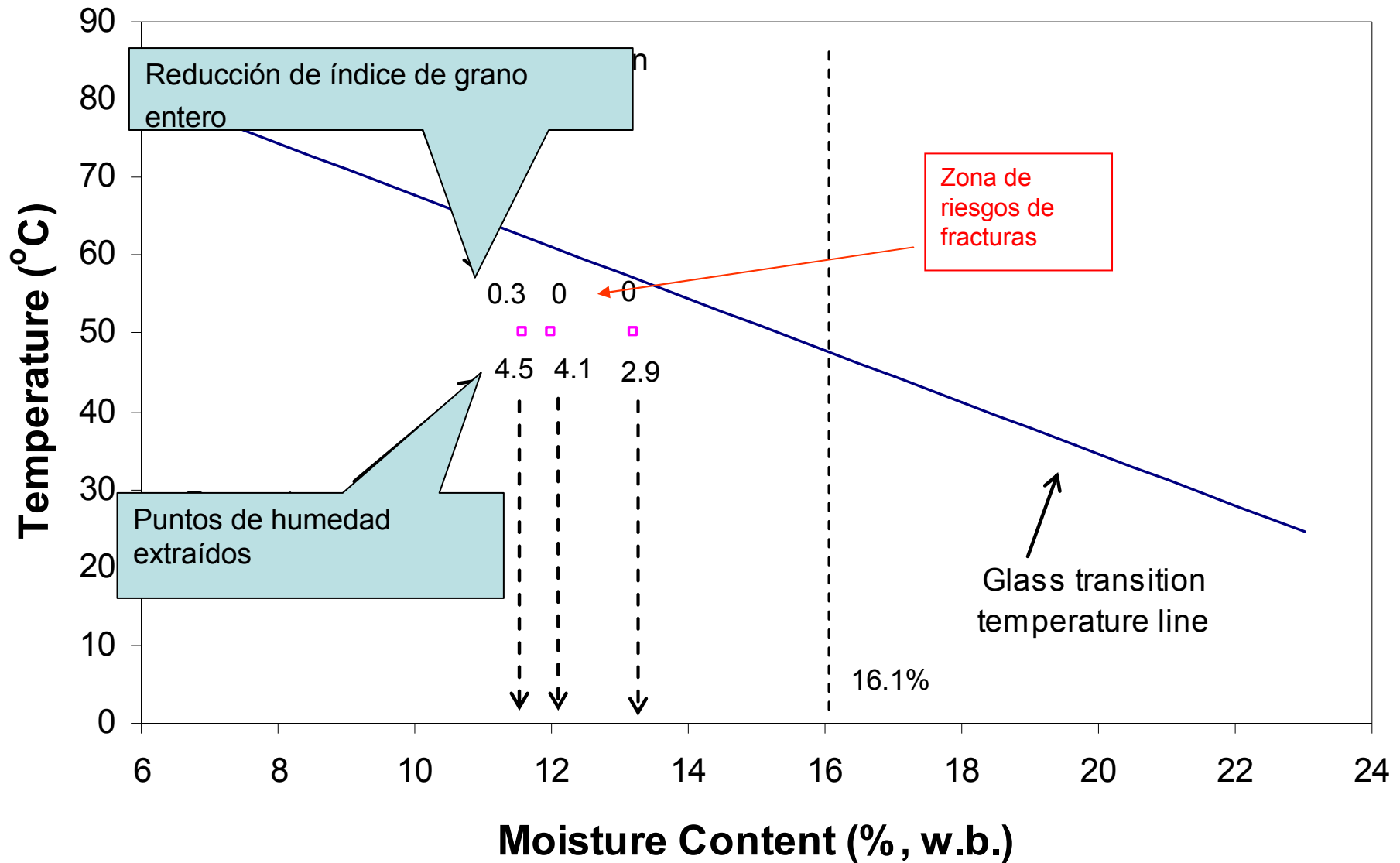
INDICE DE GRANO ENTERO, ZONA DE RIESGO DE FRACTURAS, AIRE A 60C
 Cultivar "Wells", humedad inicial 21.6%. Paper de Schluterman y Siebenmorgen, 2004



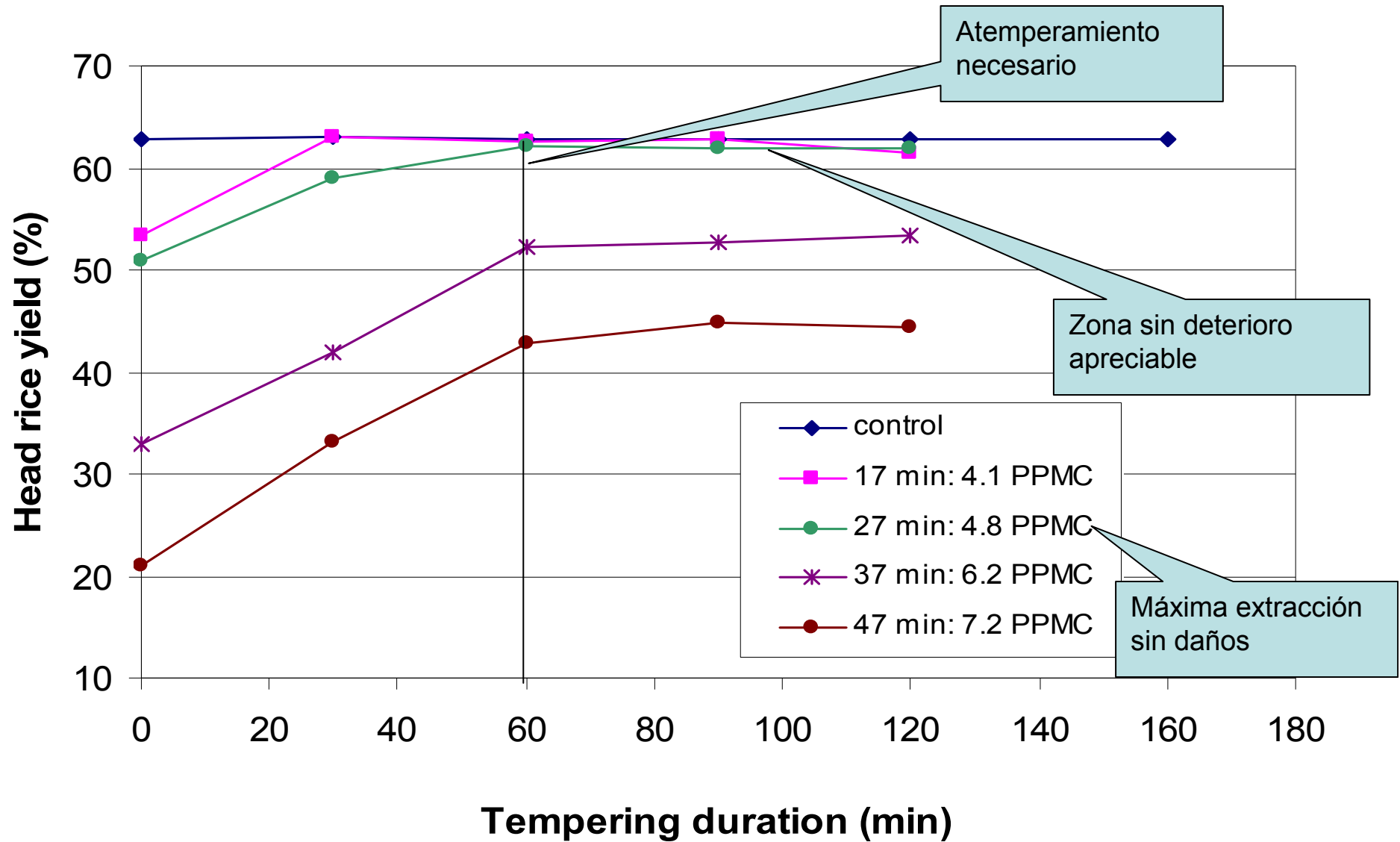
INDICE DE GRANO ENTERO, EXTRACCION DE HUMEDAD Y PERIODO DE REPOSO
 Cultivar "Wells", humedad inicial 16,1 %. Paper de Schluterman y Siebenmorgen, 2004



INDICE DE GRANO ENTERO, ZONA DE RIESGO DE QUEBRADURAS
Cultivar "Wells", humedad inicial 21.6%. Paper de Schluterman y Siebenmorgen, 2004

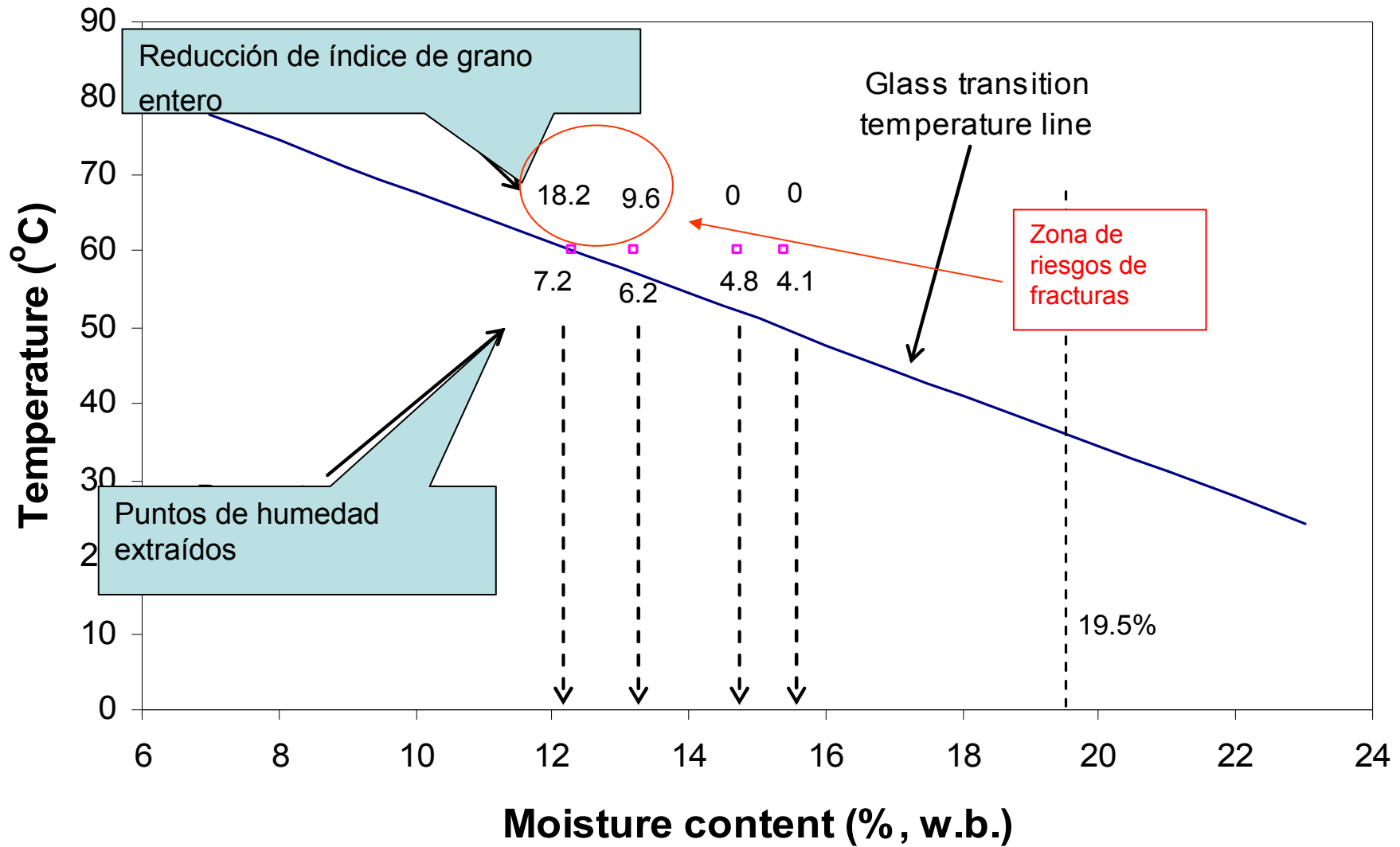


INDICE DE GRANO ENTERO, EXTRACCION DE HUMEDAD Y PERIODO DE REPOSO
Cultivar "Francis", humedad inicial 19,5%. Paper de Schluterman y Siebenmorgen, 2004

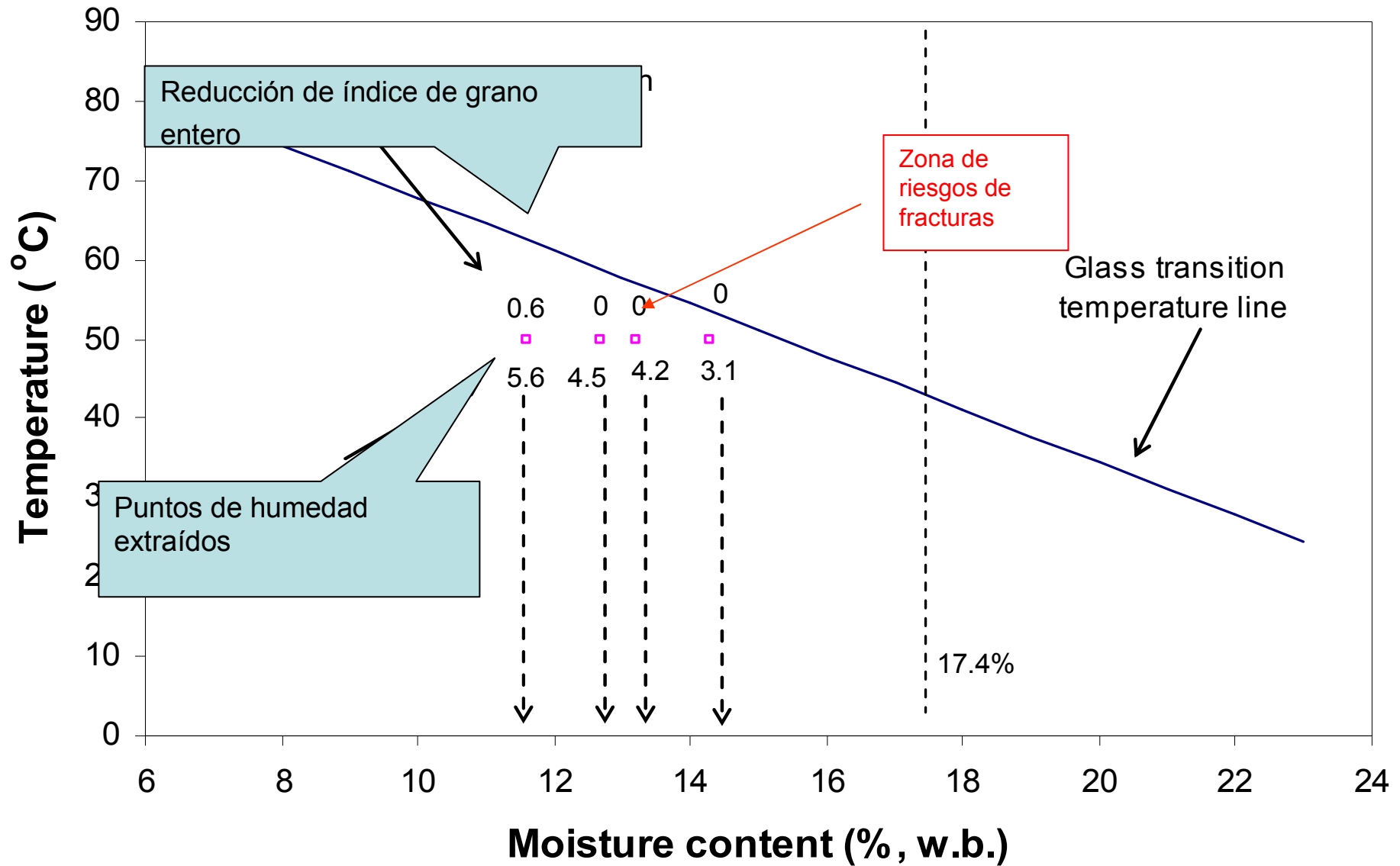


INDICE DE GRANO ENTERO, ZONA DE RIESGO

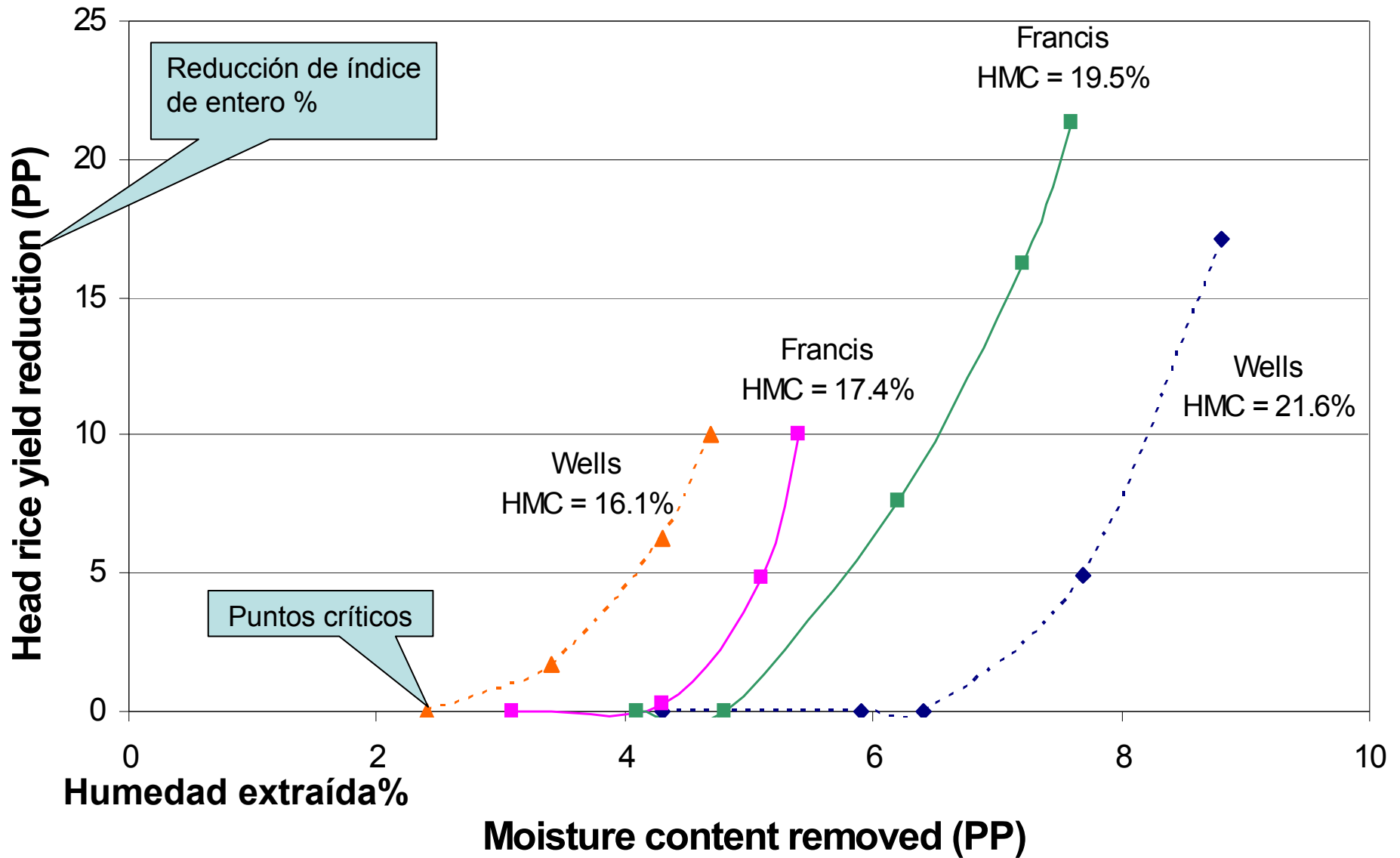
Cultivar "Francis", humedad inicial 19,5%. Paper de Schluterman y Siebenmorgen, 2004



INDICE DE GRANO ENTERO, EXTRACCION DE HUMEDAD Y PERIODO DE REPOSO
Cultivar "Francis", humedad inicial 17,4%. Paper de Schluterman y Siebenmorgen, 2004



INDICE DE GRANO ENTERO, EXTRACCION DE HUMEDAD Y PERIODO DE REPOSO
Cultivares "Wells y Francis", aire de secado con 60C y 17% HR



**NIVELES MAXIMOS DE EXTRACCION DE
HUMEDAD SIN CAUSAR DETERIOROS (60°C)
Cultivares Francis y Wells**

Humedad inicial %	Máxima extracción %, sin reducción de índice de grano entero
16,1%	2,3%
17,4%	4,2%
19,5%	4,8%
21,6%	6,5%

Fuente: tablas anteriores, Derek A. Schluterman y Terry J. Siebenmorgen, 2004

GELATINIZACION DE LOS ALMIDONES

- Cuando un almidón es afectado por calor seco, por ácidos o enzimas, se rompe (gelatiniza) en moléculas cortas y hasta glucosa (monosacárido). Se pueden formar dextrinas (hidrolizadas por calor seco) de amilopectina y amilosa.
- Algunos almidones se pueden empezar a gelatinizar con temperaturas de 65 °C.

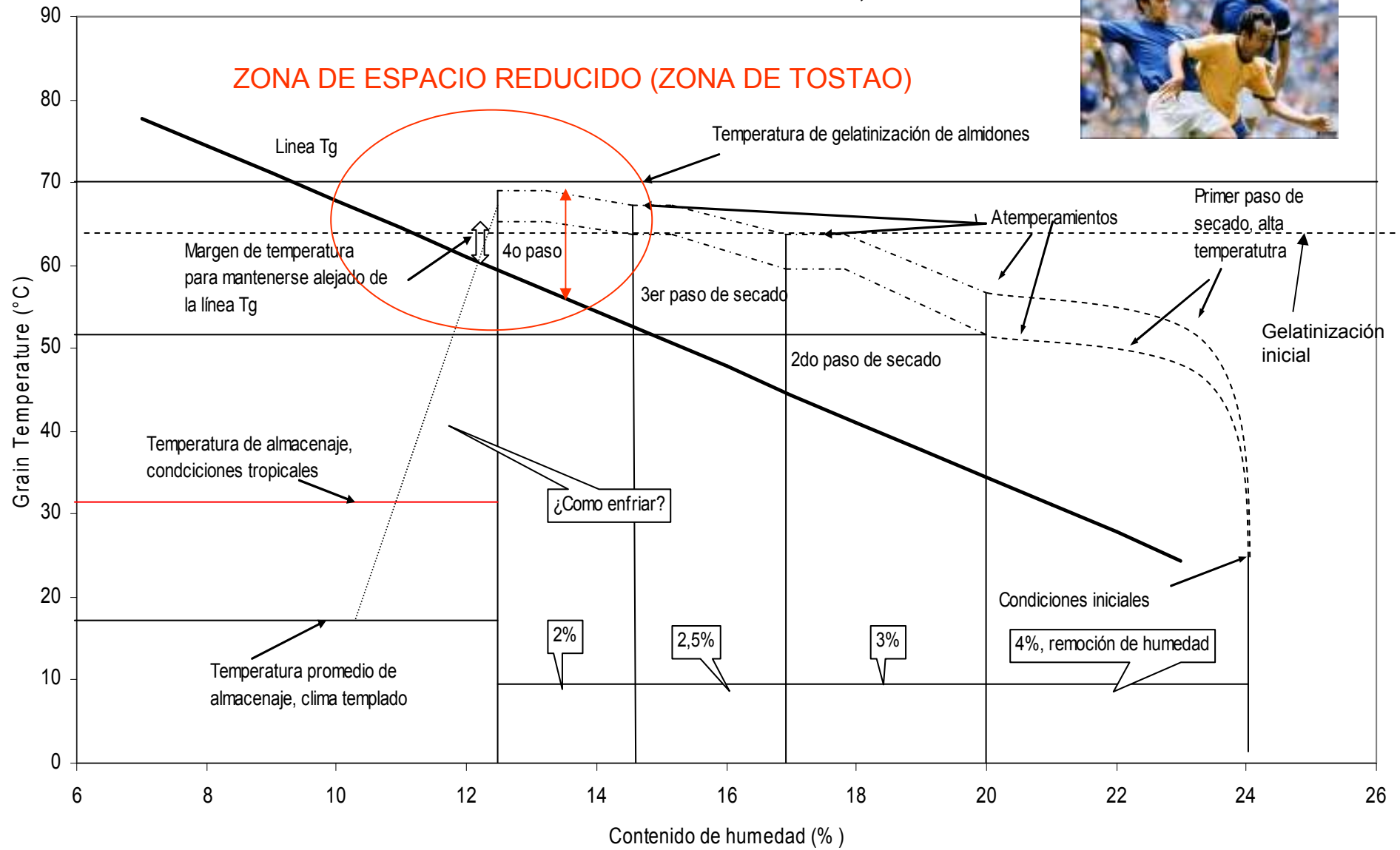
GELATINIZACION DE LOS ALMIDONES

- Gelatinización:
 - primera etapa, gelificación,
 - segunda etapa, desintegración.
- Los almidones gelatinizados cambian su textura y apariencia y se puede afectar su aceptación por los consumidores. El arroz puede tomar color ambarino.
- Se debe evitar llegar hasta temperaturas que inicien la gelatinización.

OPCIONES PARA USAR SECADORAS FLUIDIZADAS

1. Secar totalmente en estado cauchoso: grano caliente, acercándose a la temperatura de gelatinización en los pasos finales. Se podrían usar secadoras fluidizadas en todos los pasos.

TRANSICIÓN VITREA (Tg) ARROZ LARGO DE EE.UU. SECADO TOTAL EN ZONA CAUCHOSA, 4 PASOS



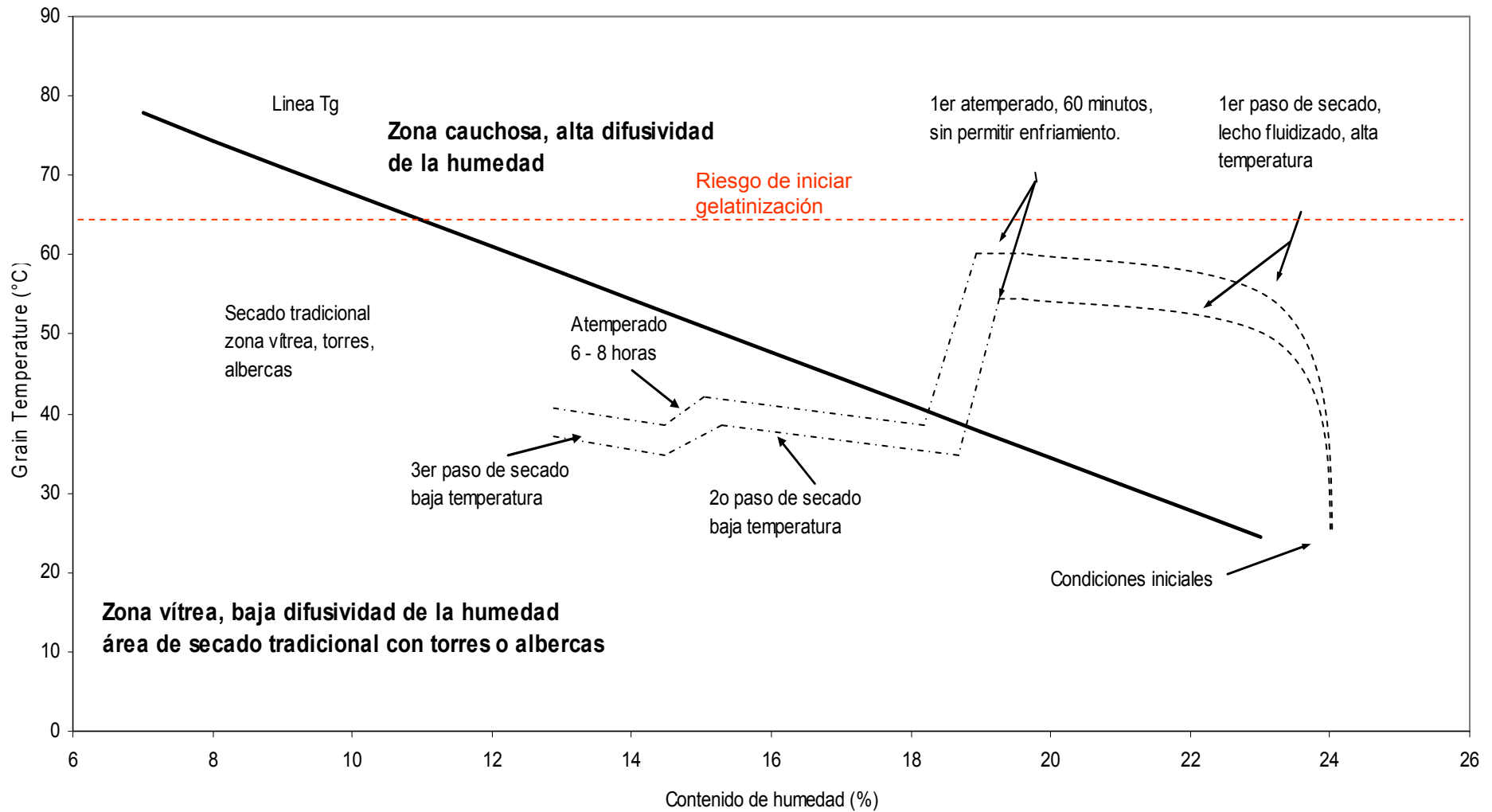
TOSTAO "DRIBLABA" EN 4 M²



OPCIONES PARA USAR SECADORAS FLUIDIZADAS

2. Remoción inicial de la humedad en estado cauchoso, finalización del secado en estado vítreo (a la manera tradicional). Secadoras fluidizadas en pasos (1 o 2) iniciales. La operación se finaliza en secadoras tradicionales: torres o albercas, por su mejor posibilidad de control.

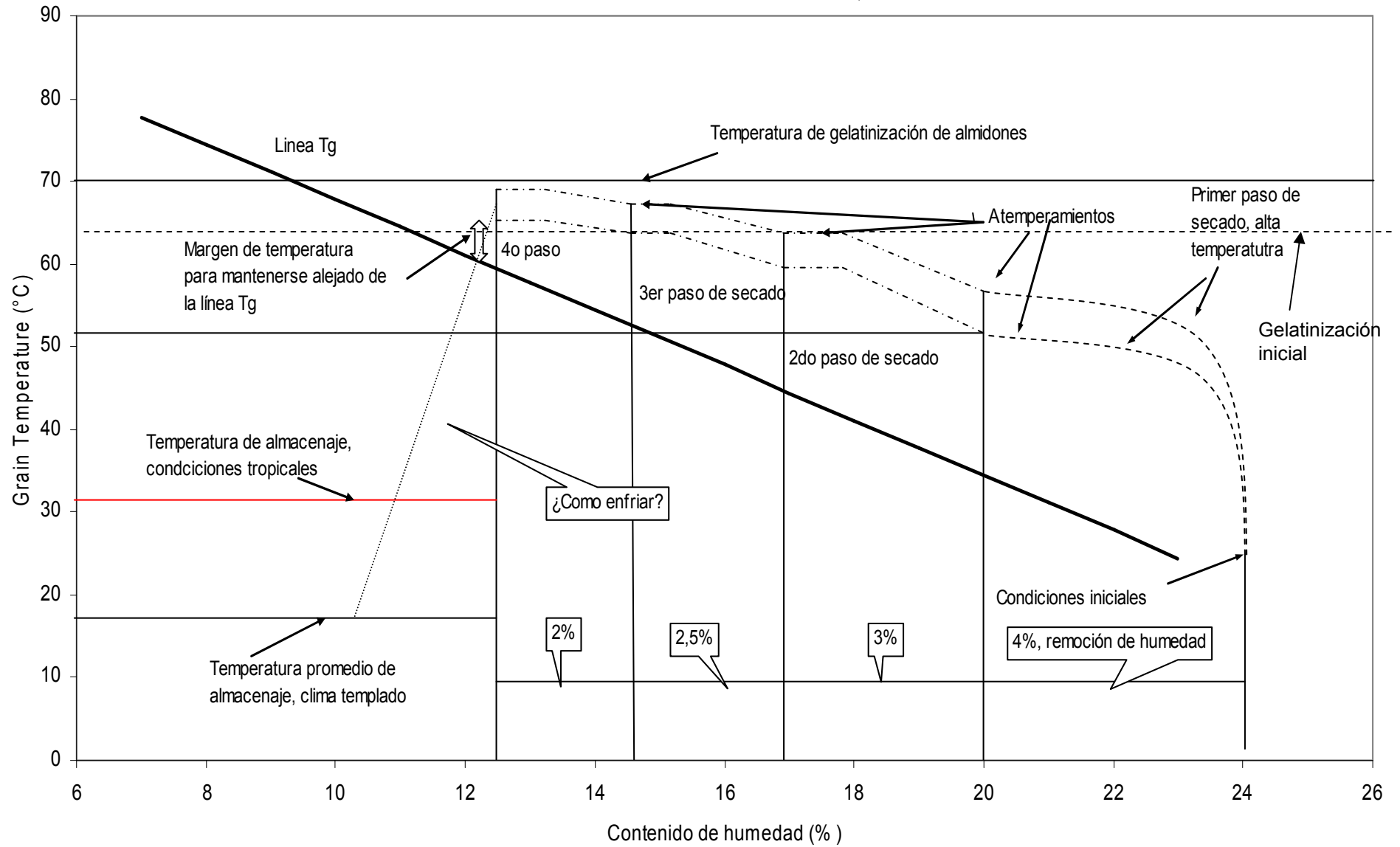
**Primer paso de secado en zona cauchosa (24% a 20%)
secado final en zona vítrea (hasta 12.5%)**



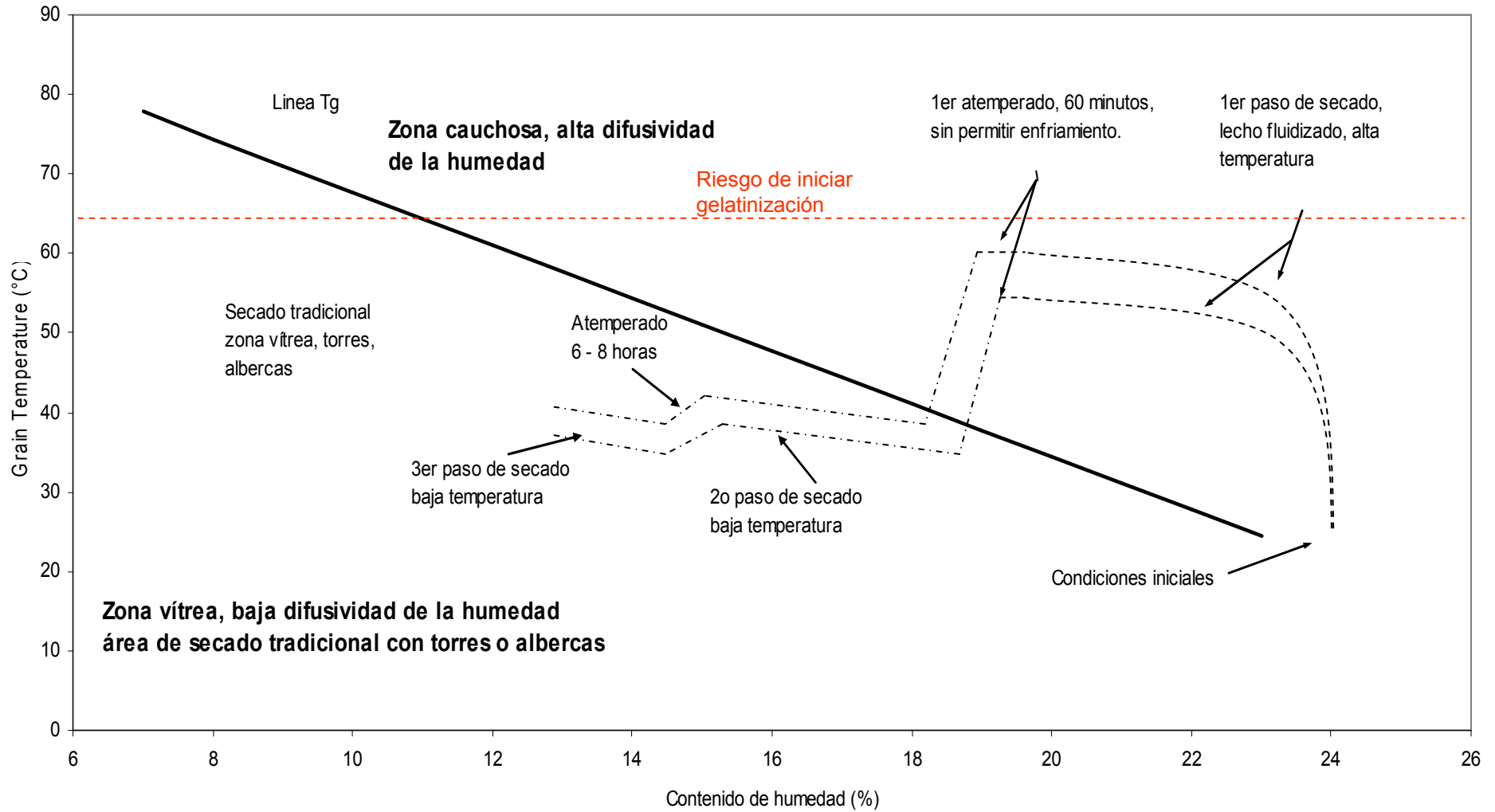
OPCIONES PARA SECAR, COMENTARIOS

- La opción entre torres y albercas depende de la cantidad final de humedad que se deba extraer y del número de “pasos” adicionales que se deba realizar.
- En teoría las secadoras de torre ofrecen mejor opción por su posibilidad de reducir la dispersión de la humedad de los granos individuales.

TRANSICIÓN VITREA (T_g) ARROZ LARGO DE EE.UU. SECADO TOTAL EN ZONA CAUCHOSA, 4 PASOS



**Primer paso de secado en zona cauchosa (24% a 20%)
 secado final en zona vítrea (hasta 12.5%)**



CAMPOS DONDE HACE FALTA AMPLIAR CONOCIMIENTOS

- ¿Grado de reducción de la dispersión de la humedad con secadoras fluidizadas?.
- ¿Máxima extracción de humedad con secadoras fluidizadas?.
 - Sin producir efectos de gelatinización.
 - Sin aumentar los granos quebrados.
 - Con el fin de aprovechar al máximo las ventajas de eficiencia térmica del secado en estado cauchoso.

AREAS DE INVESTIGACION

- Comparación de sistemas para finalizar el proceso: en albercas, en torres varios pasos o en secadora intermitente.
 - ¿Valor de la dispersión de la humedad en cada caso?
 - ¿Índices de grano entero?
 - ¿Necesidad de utilizar ventiladores extractores en las fluidizadas para reducir consumo de fuerza eléctrica?