

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. *Tratamientos hidrotérmicos post-cosecha*

9.1.1. Perfiles de temperatura

La figura 19 muestra los diferentes perfiles de temperatura obtenidos durante los tratamientos hidrotérmicos aplicados. Los perfiles de los tratamientos asistidos con MO (microondas) muestran una menor diferencia de temperatura entre el centro y la piel de las fresas a lo largo del tratamiento; estos también muestran una mayor tasa de calentamiento requiriendo un quinto y un octavo del tiempo necesario para llegar a la misma temperatura en el centro que el tratamiento H, la cual tiene un valor de 43.8°C.

Los perfiles de temperatura obtenidos muestran la considerable reducción del tiempo de calentamiento al usar MO en lugar de un tratamiento convencional. Esta reducción ofrece la ventaja de una mayor retención de los atributos de calidad del producto sin arriesgar la seguridad del mismo según lo reportado por Lau y Tang (2002) donde la pasteurización de espárragos en salmuera se obtuvo calentando durante 15 y 9 min en un horno de MO de 1 y 2 kW de potencia comparado con los 30 min necesarios en un baño de agua a 88°C con una menor degradación en la calidad del producto. Un efecto similar fue reportado por Roberts y Lawrie (2007) al someter bistec de bovino a 2450 Hz en un horno de MO por un periodo de

hasta 10 s a niveles de potencia de 131 y 1050 W comparado con un tratamiento convencional de hasta 70 min a 90°C. Estos estudios sugieren que las MO pueden inactivar microorganismos en un menor tiempo que los tratamientos convencionales.

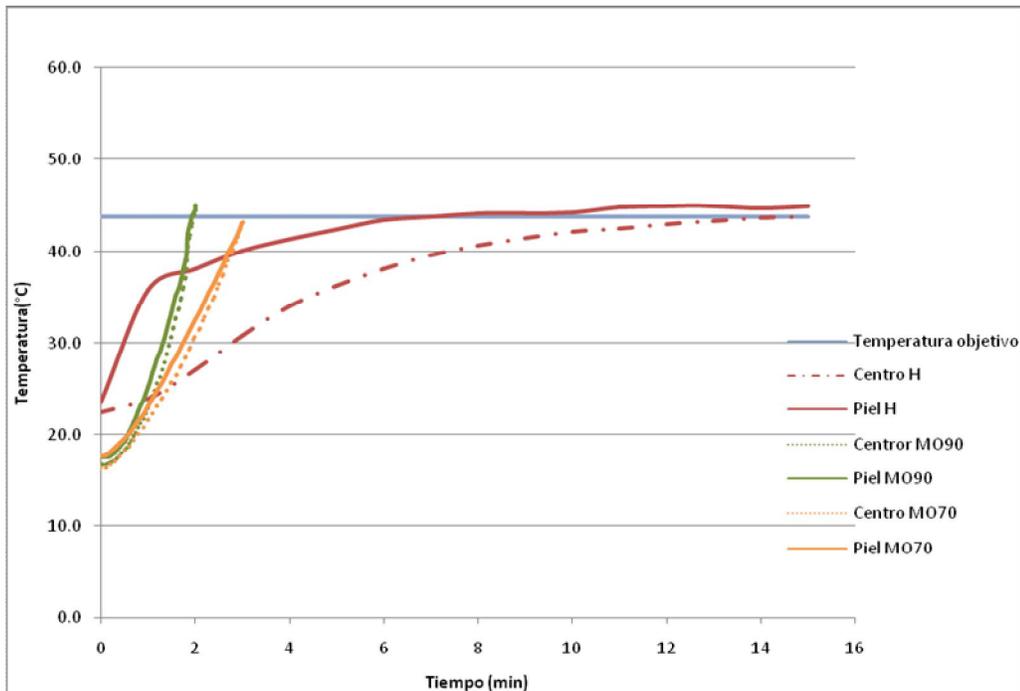


Figura 19. Perfiles de temperatura para el centro y piel de las fresas hidrotérmicamente tratadas con un baño convencional (H) o asistidos con MO al 70% (MO70) y 90% (MO90) de la potencia o 514.3 y 762.8 W respectivamente.

9.1.2. Efectividad y efectos en los parámetros de calidad de los tratamientos hidrotérmicos en fresas

Los tratamientos y el subsecuente periodo de almacenamiento presentaron cambios mínimos o no significativos ($p > 0.05$) en la mayoría de los atributos de calidad debido en parte a las condiciones de almacenamiento (baja temperatura y alta humedad) que retardan el proceso de senescencia en las

frutas caracterizado por pérdida de agua, aumento en SST (sólidos solubles totales) y pH, y disminución en AT (acidez tritratable) (Lurie, 1998), obteniendo un cambio pequeño o no significativo ($p>0.05$) en dichos parámetros después de 9 días de almacenamiento.

El contenido de humedad no mostró una diferencia significativa ($p<0.05$) después del tratamiento o a lo largo del almacenamiento, aunque una pequeña pérdida de entre 1.17-2.49% se observó en las fresas. Los SST, con valores iniciales de 7.18-7.80 °Brix, tampoco presentaron cambios significativos ($p<0.05$) después del tratamiento, y durante el periodo de almacenamiento solo MO90 mostró un incremento significativo ($p<0.05$) en comparación al día 0, aunque no hubo diferencia significativa ($p>0.05$) entre los tratamientos al final del estudio. El índice de madurez permaneció prácticamente constante a lo largo del experimento mostrando valores entre 9.80-13.27. La AT (tabla XII) no mostró cambios significativos ($p>0.05$) inmediatamente después al tratamiento y sufrió un ligero aumento en general durante el almacenamiento, el cuál fue significativo para C (control) y MO90. El tratamiento H obtuvo un valor significativamente ($p<0.05$) menor al de los MO. El pH no sufrió cambios significativos ($p>0.05$) después del tratamiento aunque H (hidrotérmico) exhibió valores significativamente ($p<0.05$) mayores a los de MO (tabla XII); durante el almacenamiento no se mostró un cambio significativo excepto para H que obtuvo un valor significativamente ($p<0.05$) mayor a los tratamientos MO.

Tabla XII. Comparación del pH y acidez titulable (% ácido cítrico) de las fresas tratadas fresas hidrotérmicamente tratadas con un baño convencional (H) o asistidos con MO al 70 (MO70) y 90% (MO90) de la potencia o 514.3 y 762.8 W respectivamente y no tratadas o control (C) y almacenadas a 3°C y 90% HR.

Tratamiento	Días de almacenamiento			
	0	3	6	9
<i>pH</i>				
C	3.58 ± 0.18 ^{ab,1*}	3.67 ± 0.19 ^{a,1}	3.62 ± 0.16 ^{a,1}	3.56 ± 0.16 ^{a,1}
H	3.74 ± 0.13 ^{a,1}	3.87 ± 0.03 ^{b,2}	3.84 ± 0.12 ^{b,12}	3.88 ± 0.13 ^{b,2}
MO70	3.51 ± 0.03 ^{b,12}	3.52 ± 0.10 ^{a,1}	3.63 ± 0.11 ^{a,12}	3.67 ± 0.11 ^{a,2}
MO90	3.59 ± 0.17 ^{ab,1}	3.71 ± 0.09 ^{a,1}	3.63 ± 0.17 ^{a,1}	3.66 ± 0.17 ^{a,1}
<i>Acidez titulable (% ácido cítrico)</i>				
C	0.66 ± 0.7 ^{a,1}	0.73 ± 0.11 ^{a,1,2}	0.79 ± 0.07 ^{a,1,2}	0.86 ± 0.05 ^{ab,2}
H	0.63 ± 0.7 ^{a,1}	0.68 ± 0.05 ^{a,1}	0.72 ± 0.08 ^{b,1}	0.78 ± 0.09 ^{b,1}
MO70	0.71 ± 0.6 ^{a,1}	0.81 ± 0.03 ^{b,2}	0.83 ± 0.03 ^{ac,1,2}	0.88 ± 0.06 ^{a,1}
MO90	0.71 ± 0.7 ^{a,1}	0.73 ± 0.03 ^{a,1}	0.89 ± 0.03 ^{c,2}	0.91 ± 0.11 ^{a,2}

*Las medias con diferente letra denotan que diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos en un mismo día, las medias con diferente número denotan diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los diferentes días de almacenamiento en un tratamiento

Vicente *et al.* (2002) encontraron tendencias similares para fresas tratadas con aire caliente a 45°C por 3 h y almacenadas a 0°C por 14 días, con pequeños incrementos en el total de azúcares y azúcares reductores sin diferencia significativa ($p < 0.05$); una pequeña pérdida de peso de entre 1.47-3.23%, atribuible a una pérdida de agua, sin cambios significativos ($p > 0.05$) en pH y un pequeño aumento en la AT, aunque los valores que obtuvieron las frutas tratadas fueron significativamente ($p < 0.05$) mayores que el grupo testigo, lo cual no fue el caso en este estudio ya que no hubo diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las frutas sin tratamiento y las fresas tratadas con microondas.

La tabla XIII muestra los cambios en los parámetros de color; donde la luminosidad de la muestra *Lh* no sufre un cambio significativo ($p < 0.05$)

después del tratamiento, mientras que durante el almacenamiento las fresas de los grupos C y H presentaron una disminución significativa ($p < 0.05$) en el parámetro, mientras que los tratamientos con MO permanecen sin cambios significativos ($p > 0.05$). El tono no presentó un cambio significativo ($p > 0.05$) después de los tratamientos, y durante el almacenamiento únicamente las fresas no tratadas presentaron una disminución, aunque no hubo diferencia significativa ($p > 0.05$) entre las fresas al final del estudio. En cuanto a la diferencia total de color (ΔE) el testigo presentó la mayor diferencia al final mientras que los tratamientos con MO tuvieron la menor diferencia.

Lo anterior muestra que las frutas tratadas térmicamente presentan una clara ventaja sobre las frutas sin tratar, ya que obtuvieron menores diferencias totales en color y no sufrieron cambios significativos ($p > 0.05$) en el tono. Sin embargo, los tratamientos asistidos con MO no sólo ofrecen estas ventajas, sino también ayudan a retener la luminosidad de la fruta. Estas observaciones coinciden con lo encontrado por Vicente *et al.* (2002), Civello *et al.* (1997) y García *et al.* (1995) quienes encontraron una disminución significativa ($p < 0.05$) en el brillo de fresas no tratadas y las termotratadas con métodos convencionales. Vicente *et al.* (2002) también obtuvo una disminución en la tonalidad de las fresas, acercándose a los 0° o el color rojo, debido a un incremento en la cantidad de antocianinas de la fruta la cual es característica del proceso de maduración que aumentó casi al doble para el día 14 de almacenamiento, una tendencia notada también por Civello *et al.* (1997). En el caso del presente estudio la concentración de antocianinas (Fig. 20) aumentó después del tratamiento para H, mientras los

tratamientos asistidos con MO mostraron una disminución, aunque dichos cambios no fueron significativos ($p>0.05$). Durante el periodo de almacenamiento, las fresas de los grupos C y H presentaron un aumento general en la concentración de antocianinas, siendo el grupo testigo (sin tratamiento) el que tuvo un mayor valor, mientras que para los tratamientos asistidos con MO, se observó una disminución en el contenido de antocianinas, aunque dichos cambios no fueron significativos ($p>0.05$) entre el día 0 y 9 o entre los tratamientos al día 9.

Tabla XIII. Comparación de los parámetros de color en de las fresas tratadas fresas hidrotérmicamente tratadas con un baño convencional (H) o asistidos con MO al 70 (MO70) y 90% (MO90) de la potencia o 514.3 y 762.8 W respectivamente y no tratadas o control (C) y almacenadas a 3°C y 90% HR.

Tratamiento	Días de almacenamiento			
	0	3	6	9
Lh				
C	36.52 ± 3.88 ^{a,1*}	31.13 ± 1.39 ^{a,2}	27.21 ± 2.43 ^{a,2}	27.36 ± 2.17 ^{a,2}
H	34.90 ± 1.51 ^{a,1}	28.46 ± 1.69 ^{a,2}	27.62 ± 1.71 ^{ab,12}	27.00 ± 2.34 ^{a,2}
MO70	33.07 ± 3.53 ^{a,1}	30.73 ± 3.24 ^{a,1}	30.89 ± 3.48 ^{b,1}	30.98 ± 2.51 ^{b,1}
MO90	31.89 ± 0.81 ^{a,1}	30.50 ± 2.93 ^{a,1}	29.13 ± 2.78 ^{ab,1}	31.84 ± 3.17 ^{b,1}
ΔE				
C	0.00 ± 0.00 ^{a,1}	10.61 ± 2.41 ^{a,2}	12.53 ± 3.18 ^{a,2}	13.43 ± 2.95 ^{a,2}
H	0.00 ± 0.00 ^{a,1}	12.78 ± 5.33 ^{a,2}	6.50 ± 2.58 ^{b,2}	8.49 ± 4.48 ^{b,2}
MO70	0.00 ± 0.00 ^{a,1}	11.64 ± 5.03 ^{a,2}	7.61 ± 3.53 ^{b,3}	6.48 ± 2.64 ^{b,23}
MO90	0.00 ± 0.00 ^{a,1}	8.85 ± 3.80 ^{a,2}	5.50 ± 2.21 ^{b,2}	5.30 ± 2.32 ^{b,2}
Hue (°)				
C	27.71 ± 4.36 ^{a,1}	25.31 ± 2.48 ^{a,12}	23.86 ± 2.69 ^{ab,12}	23.35 ± 2.62 ^{a,2}
H	24.62 ± 3.09 ^{a,1}	24.71 ± 0.02 ^{a,1}	22.92 ± 3.11 ^{a,1}	24.55 ± 5.13 ^{a,1}
MO70	25.90 ± 2.25 ^{a,1}	27.51 ± 1.54 ^{a,1}	28.25 ± 5.70 ^{b,1}	25.36 ± 2.60 ^{a,1}
MO90	24.61 ± 1.83 ^{a,1}	27.78 ± 1.75 ^{a,12}	23.98 ± 2.38 ^{a,2}	25.02 ± 1.41 ^{a,12}

*Las medias con diferente letra denotan que diferencia significativa ($p<0.05$) entre tratamientos en un mismo día, las medias con diferente número denotan diferencia significativa ($p<0.05$) entre los diferentes días de almacenamiento en un tratamiento

Lo anterior confirma que la reducción del tiempo de exposición al calor al usar MO puede permitir la preservación de los parámetros de calidad de la fruta y que las MO ofrecen una ventaja tanto en la conservación del color como en el retardar del desarrollo de las antocianinas, que no presentaron una diferencia significativa en el estudio probablemente debido a que el tratamiento puede disminuir la actividad de la enzima fenilalanina amonía liasa, responsable de dicha reacción (Civello *et al.*, 1997).

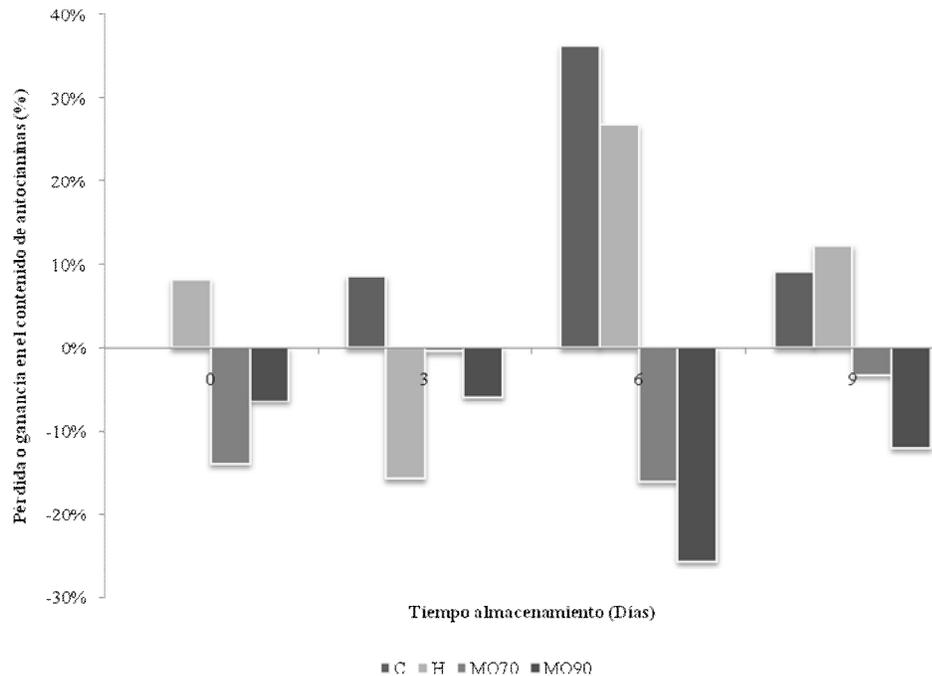


Figura 20. Pérdida o ganancia en la concentración de antocianinas para las fresas hidrotérmicamente tratadas con un baño convencional (H) o asistidos con MO al 70 (MO70) y 90% (MO90) de la potencia o 514.3 y 762.8 W respectivamente y un testigo (C), y almacenadas a $3\pm 2^{\circ}\text{C}$ y 90%RH por 9 días.

La firmeza de las fresas no cambió significativamente ($p > 0.05$) después de los tratamientos. Se observó una disminución de la misma

durante el almacenamiento debido a las reacciones normales del proceso de senescencia (FAO, 2003), donde el testigo presentó la mayor pérdida en dicho atributo, seguida de la fruta del tratamiento H; mientras que las tratadas con MO presentaron la menor pérdida de firmeza al final del estudio (Tabla XIV), esta diferencia puede deberse a que se disminuye la tasa regular en la síntesis de proteínas para producir proteínas de choque térmico, esta disminución provoca el retardo en la degradación de la pared celular, al disminuir la presencia de las enzimas que degradan dicha pared (Vicente *et al.*, 2002); y además los tratamiento MO requieren un menor tiempo para alcanzar la misma temperatura que aquellos tratamientos convencionales por lo que pueden generar un menor daño al tejido. Civello *et al.* (1997) y García *et al.* (1995) también encontraron una menor tasa de pérdida en firmeza para las frutas termotratadas.

Tabla XIV. Pérdida en firmeza (%) de las fresas hidrotérmicamente tratadas con un baño convencional (H) o asistidos con MO al 70 (MO70) y 90% (MO90) de la potencia o 514.3 y 762.8 W respectivamente y un testigo (C), y almacenadas a $3\pm 2^{\circ}\text{C}$ y 90%RH por 9 días.

Tratamiento	Firmeza inicial (N)	Pérdida total de firmeza (%)
C	3.64 ± 1.59	85.34 ± 1.54
H	3.32 ± 0.90	56.65 ± 21.72
MO70	3.82 ± 1.34	47.64 ± 15.90
MO90	3.86 ± 0.58	54.98 ± 31.80

En cuanto a la calidad microbiológica de las fresas, la población de mohos (3.85 ± 0.17 log UFC/g) sufrió una reducción después de los tratamientos H (3.08 ± 0.27 log UFC/g), MO70 (3.02 ± 0.2 log UFC/g) y MO90 (3.40 ± 0.31 log UFC/g); y mantuvo dicha tendencia para el grupo de fresas

testigo y las proveniente de los tratamientos con MO, mientras que mantuvo el tamaño de población microbiana en fresas del grupo H (Fig. 21a). Este comportamiento puede deberse a las sustancias con actividad fungicida que se encuentran en las fresas, como la fitocistatina (Martinez *et al.*, 2005); los tratamientos con MO mostraron las menores poblaciones al final del estudio con una disminución significativa ($p < 0.05$) para MO70 para el día 9. Esto contrasta con los hallazgos de Vicente *et al.* (2002), que obtuvieron un aumento en la población de mohos, aunque las fresas termotratadas presentaron la menor población al final del estudio.

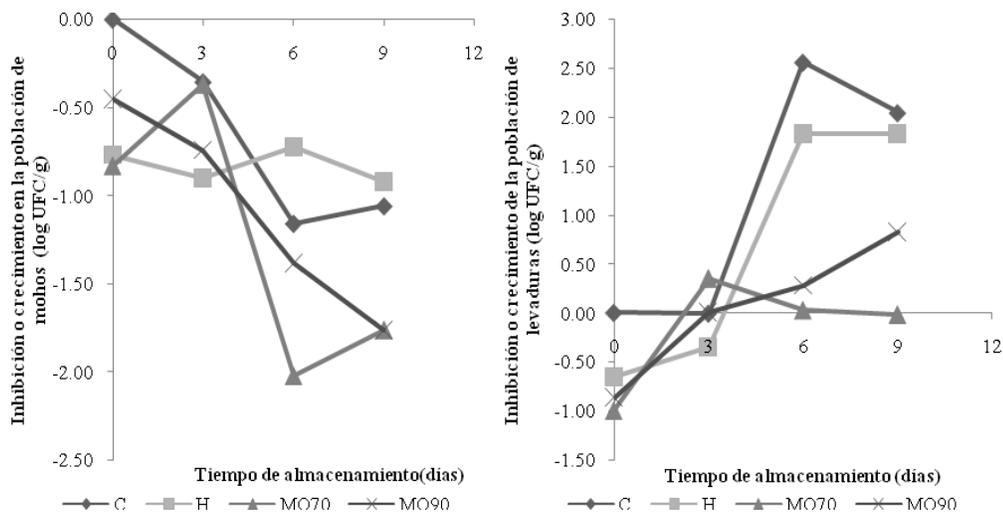


Figura 21. Inhibición o crecimiento de mohos (a) y levaduras (b) en fresas hidrotérmicamente tratadas con un baño convencional (H) o asistidos con MO al 70 (MO70) y 90% (MO90) de la potencia o 514.3 y 762.8 W respectivamente y un testigo (C), y almacenadas a $3 \pm 2^\circ\text{C}$ y 90%RH por 9 días.

La población de levaduras (2.95 ± 0.0 log UFC/g), también sufrió una reducción inmediatamente después a la aplicación de los tratamientos H (2.30 ± 0.60 log UFC/g), MO70 (1.95 ± 0.00 log UFC/g) y MO90 (2.09 ± 0.19 log

CFU/g) seguido de un aumento en población durante el almacenamiento para todas las fresas, donde los tratamientos hidrotérmicos asistidos con MO mantuvieron una menor tasa de crecimiento mientras que C y H presentan curvas similares (Fig. 21b).

La inhibición de microorganismos ratifica lo observado por Civello *et al.* (1997), García *et al.* (1995), Vicente *et al.* (2002) y Wszelaki y Mitcham (2003) donde las fresas tratadas térmicamente muestran menores índices de deterioro en los cuales las poblaciones microbianas juegan un papel importante.

9.2. Cinética de muerte microbiana de *Botrytis cinerea*

Los sistemas utilizados fueron caracterizados midiendo su pH, °Brix y a_w (Tabla XV), donde se muestra un pH más básico en el buffer, seguido de FE (puré de fresa estéril) y SMF (sistema modelo de fresa), mientras que FE muestra más °Brix que SMF y la actividad de agua es muy similar.

Tabla XV. Caracterización de los sistemas: modelo de fresa (SMF), puré de fresa estéril (FE) y buffer fosfato, empleados en el estudio de cinética de muerte para *Botrytis cinerea*

Sistema	pH	°Brix	a_w
SMF	3.66	6.27±0.12	0.986±0.00
FE	3.87	9.07±0.12	0.985±0.00
Buffer fosfato	7.2	NR**	NR

**No reportado

El estudio muestra que la inactivación de las esporas de *B. cinerea* incrementa con la temperatura y tiempo de exposición; y se puede describir con la ecuación de cinética de primer orden (Ec. 13). Las figuras 22 y 23 muestran las curvas de inactivación del microorganismo en función del

tiempo y la temperatura para el sistema modelo de fresa (Fig. 19) y el puré de fresa esterilizado (Fig. 20).

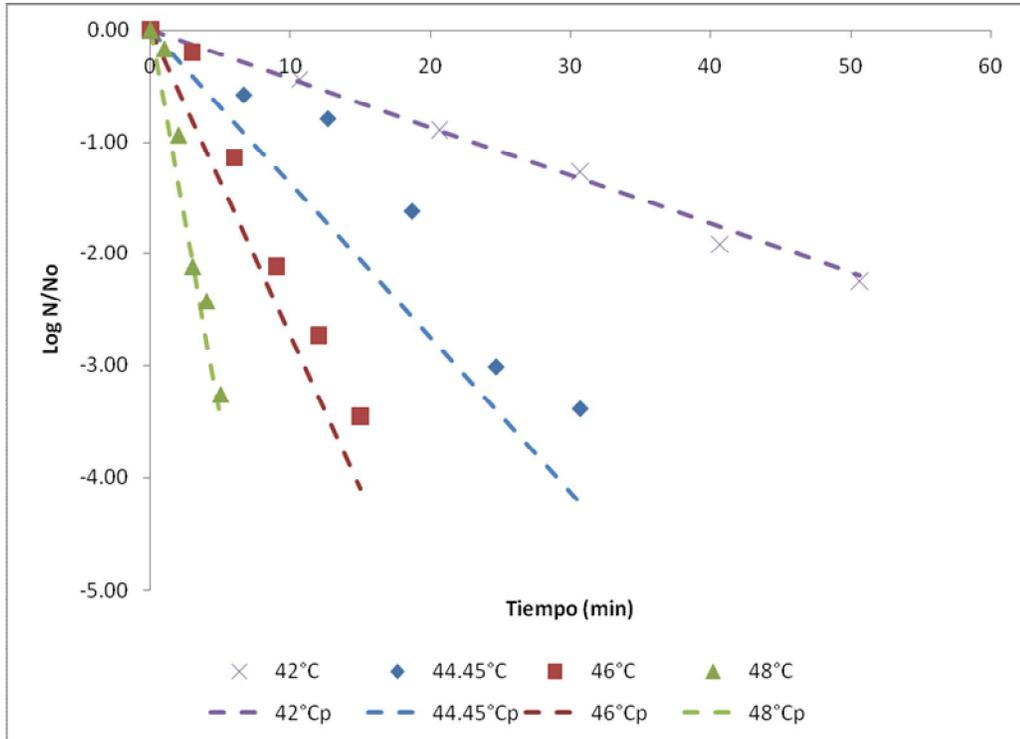


Figura 22. Curva de inactivación de *B. cinerea* en un sistema modelo de fresa (SMF) en función del tiempo y la temperatura. Las líneas - - se refieren a los datos predichos y los puntos a los datos experimentales.

Hay una diferencia importante entre las cinéticas observadas en FE, SMF y buffer, este último reportada por Marquenie *et al.* (2002), donde el buffer muestra una menor resistencia (menores D's, Tabla XVI), seguido del SMF y FE. Esto puede deberse a la presencia de carbohidratos en SMF y FE que dan una mayor protección al microorganismo y donde a mayor concentración de éstos (menor a_w), hay mayor protección, por lo cual FE muestra mayor resistencia que SMF, estas tendencias ya han sido estudiadas por Rieman 1968, McDoonough y Hargrove 1969, Goepfer *et al.*,

1970, y Archer *et al.*, 1998, quienes reportan que el tipo de sustrato y la concentración del mismo pueden alterar el valor de D para microorganismos como *Salmonella* y *Escherichia coli*.

Tabla XVI. Valores de D y z para *B. cinerea* para diferentes temperaturas y sistemas: modelo de fresa (SMF), puré de fresa estéril (FE) y buffer fosfato.

Sistema	T(°C)	D (min)	R ² (D)	z (°C)	R ² (z)
FE	42	46.00	0.976	4.16	0.983
	44	13.84	0.991		
	46	3.85	0.993		
	48	1.76	0.914		
SMF	42	21.98	0.994	5.08	0.994
	44	8.54	0.947		
	46	4.07	0.982		
	48	1.44	0.968		
Buffer fosfato	40	29.95	NR***	4.65	NR
(Marquenie <i>et al.</i> , 2002)	43	6.782	NR		
	45	2.559	NR		
	48	0.607	NR		

*** No Reportado

Por otro lado *B. cinerea* presentó una mayor termosensibilidad (menor z, Figura 24) en FE que en buffer o SMF, esto puede deberse a la presencia de sustancias con actividad fungicida en la fresa como la fitocistatina (Martinez *et al.*, 2005), que atacan al microorganismo y lo dejan más vulnerable.

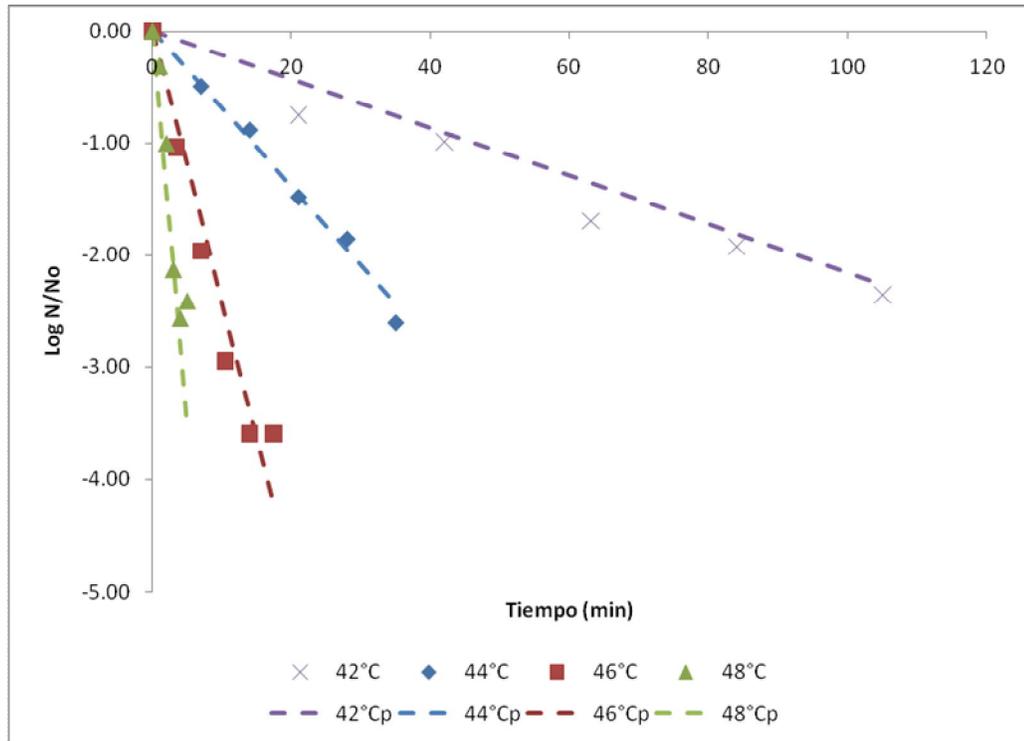


Figura 23. Curva de inactivación de *B. cinerea* en fresa esterilizada en función del tiempo y la temperatura. Las líneas - - se refieren a los datos predichos y los puntos a los datos experimentales.

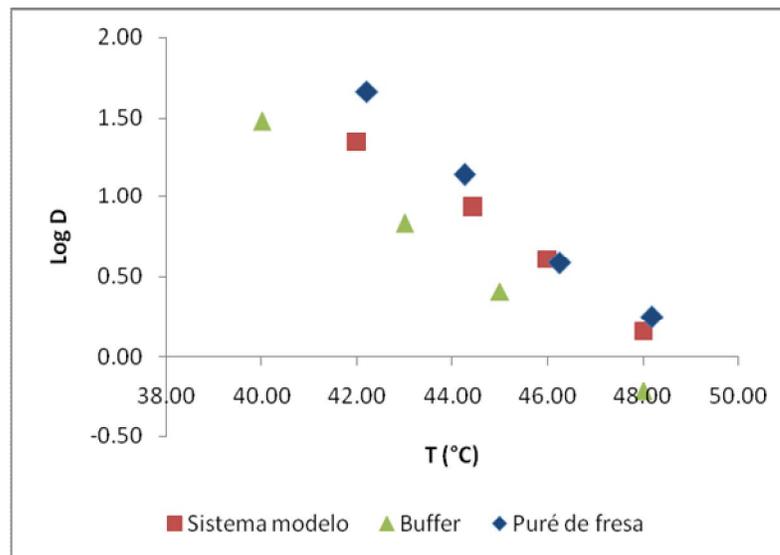


Figura 24. Curva del Log D contra temperatura para la inactivación de *B. cinerea* en fresa esterilizada, un sistema modelo y un buffer.