

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Análisis Físicos

#### Número de Insectos

En este estudio R. dominica presentó un aumento poblacional estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ), en base al nivel de infestación inicial, incrementándose hasta cerca de 600 insectos/kg de trigo durante un periodo máximo de almacenamiento de 180 días (Apéndice A). El incremento detectado fue mucho más marcado después del segundo tiempo de almacenamiento (90 días), por lo que la población durante el segundo, tercer y cuarto período de muestreo fueron significativos con respecto al inicial ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, al llevar a cabo una comparación de medias entre estos tres períodos, no se encontró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). Odum (1987), menciona que el comportamiento de crecimiento de una población o conjunto de organismos, puede presentar dos tipos de patrón: crecimiento en forma de "J" y crecimiento sigmoideo o en forma "S". En el primero de ellos, la densidad de población aumenta de manera exponencial o geométrica, hasta que falte algún recurso a la población o surja alguna otra limitación. Este crecimiento puede restablecerse en el momento en que se presenten las condiciones para ello. Las poblaciones con este tipo de crecimiento son inestables a menos que estén regulados por factores externos.

Así mismo menciona que en el patrón de crecimiento sigmoideo "S", la autolimitación o autoaglomeración recurrente negativa, reduce la tasa de crecimiento más y más a medida que la población aumenta. Si la limitación es linealmente proporcional a la densidad, se obtiene una curva sigmoidea simétrica, con la densidad nivelándose hasta alcanzar un nivel asintótico superior K, llamado nivel de capacidad de soporte, en virtud de que representa la máxima densidad sostenible. Este patrón mejora la estabilidad, ya que la población se regula por sí misma, no obstante que pueden llegar a presentarse fluctuaciones debido a que la densidad a menudo excede el nivel de soporte.

De acuerdo a lo anterior y con los datos obtenidos en el presente estudio, pudo determinarse que Rhyzopertha dominica presentó un crecimiento sigmoideo o en forma de "S" (Figura 4), es decir, que es regulado por la densidad de la población y no por la falta de alimento o limitaciones generales del ecosistema (Pielou, 1977).

### **Rendimiento de Harina**

La capacidad de extracción de harina de los trigos infestados con diferentes niveles de población de R. dominica, se redujo significativamente en comparación con el rendimiento en el trigo libre de infestación (Apéndice B). En las muestras de trigo con una población de insectos de 571/kg, fue donde presentó la más baja extracción de harina con respecto al control (62.0 y 71.0% de extracción, respectivamente). Si esto se expresa en base a porcentajes,

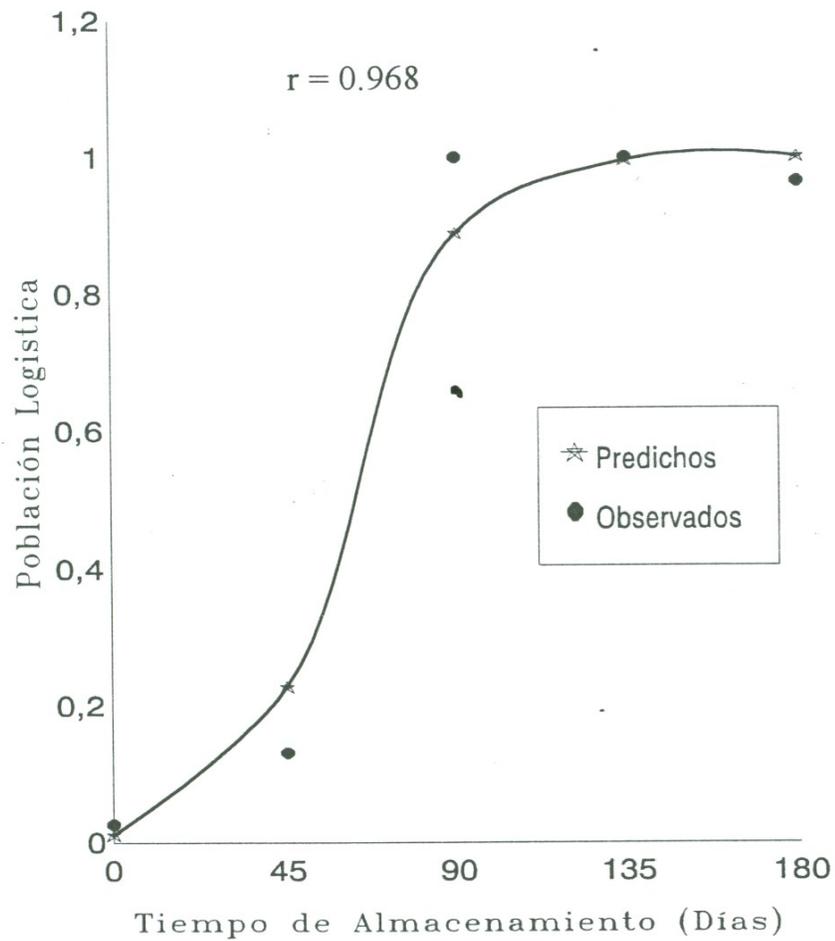


Figura 4. Comportamiento de la población de *Rhyzopertha dominica* F. en grano de trigo almacenado durante seis meses.

71.0% de extracción, respectivamente). Si esto se expresa en base a porcentajes, se puede observar que las pérdidas que se presentaron fluctuaron entre el 2 y 9%, las cuales fueron altamente significativas ( $p < 0.01$ ) y que dependieron tanto del nivel de insectos como el tiempo de almacenamiento (Figura 5).

De acuerdo Liscombe (1962), cuando se utiliza grano dañado por insectos, es difícil obtener una buena separación de las distintas fracciones del grano durante las operaciones premolienda, y como resultado, una alta proporción de harina es eliminada. Aparentemente los insectos también pueden llegar a causar una oclusión en los conductos de los molinos, ya que las larvas perforan el grano y posteriormente producen seda, la cual tapa las salidas de harina en el molino.

Además, hay que considerar que la alimentación del insecto en estudio, en este caso R. dominica F., se caracteriza por ser un insecto primario que pertenece a los perforadores de la madera, los cuales en su estado adulto expelen polvo al cavar, y que está compuesto por materia fecal y partes del endospermo principalmente. En el caso de las larvas, éstas también se alimentan de partículas del endospermo libre, o bien se introducen al interior del grano para alimentarse y desarrollarse hasta alcanzar su estado adulto (Mills y Pedersen, 1991).

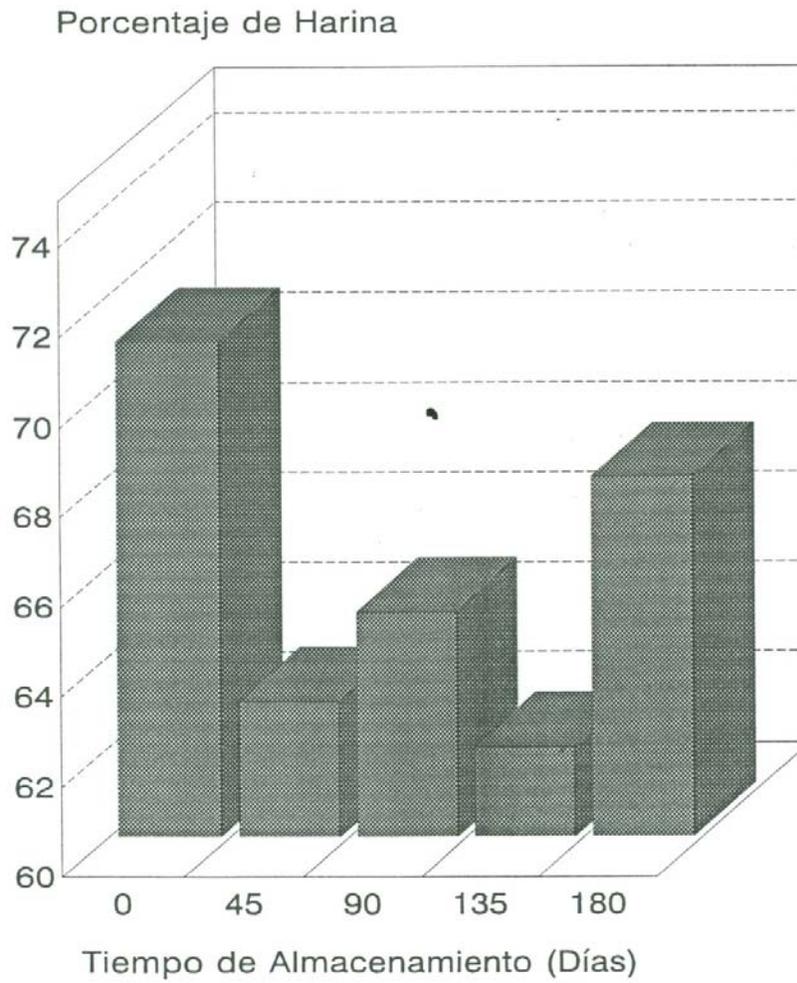


Figura 5. Rendimiento de harina de trigo infestado con *Rhizopertha dominica* F. durante seis meses de almacenamiento.

### **Color (Reflectancia Relativa)**

Regularmente la determinación de color en harina de trigo es enfocada básicamente a la medición de la blancura. Sin embargo, tomando como base el principio del reflectómetro sobre el registro de luz absorbida por el color negro o la reflejada por el color blanco, resulta de gran ayuda su utilización en granos que han sido dañados en su estructura física por el ataque de insectos, por ello un grano entero reflejará menos la luz que uno que esté quebrado o perforado.

El espectrómetro Agron cuenta con una escala de lectura de 0 a 100%. Por ello en este estudio primeramente se estandarizó el espectro en un rango tal, que si se llegase a presentar alguna variación de lectura, ésta tuviera la misma probabilidad de fluctuación hacia ambos lados durante los seis meses del estudio. Por ello, para el caso del grano de trigo entero el valor inicial de reflectancia fue de 45.

El espectro utilizado en este estudio, tanto para grano como para harina fue el azul, dado que es el recomendado para granos y productos de molienda claros, de acuerdo al manual del equipo. Los resultados de la evaluación de color en el grano de trigo presentaron diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0.01$ ). Presentándose en el grano infestado un aumento progresivo en las lecturas de reflectancia relativa. Este comportamiento es válido, si se toma en cuenta que el insecto estudiado se caracteriza por ser del tipo barrenador y

que al alimentarse tiende a romper la estructura física del grano. Lo anterior trae consigo que al efectuar las evaluaciones en granos con una población creciente, su daño sea mayor, y por lo tanto, mayor su capacidad de reflectar la luz, dando con ello un mayor valor al estimado inicialmente. Aquí, tanto el factor tiempo como la población de insectos influyeron en los resultados (Apéndice C).

En cuanto a los valores de reflectancia en la harina obtenida del trigo infestado, pudo observarse que los cambios fueron mínimos con respecto al control sin infestar. Una posible explicación respecto a este comportamiento, es que debido a que se trabajó con grano entero infestado, y el tipo de daño que causa el insecto es precisamente al grano, la reflectancia no se vio seriamente afectada. Sin embargo, estos cambios sí fueron significativos ( $P < 0.05$ ), determinándose que fueron ocasionados por efecto de la infestación (Tabla 6).

### Análisis Químico

#### **Determinación de Humedad y Proteína**

El análisis en contenido de humedad y proteína realizado al grano de trigo al inicio y durante los tiempos de almacenamiento del estudio, demostró una diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) para los valores de humedad, más no así para proteína. De acuerdo al análisis estadístico, esta diferencia

Tabla 6. Porcentajes de reflectancia relativa en grano infestado y en harina obtenida a partir de ellos, durante seis meses de almacenamiento.

Almacenamiento (Días)	Grano		Harina
	Azul	Verde	Azul
0	45	46	54
45	45	45	55
90	48	47	53
135	50	48	59
180	61	47	56

\* = Porcentaje de reflectancia relativa, promedio de nueve muestras.

1 = Disco de calibración 00-24

2 = Disco de calibración 00-56

3 = Disco de calibración 56-90

fue atribuida tanto al nivel de infestación como al tiempo de almacenamiento. La variación en humedad durante los distintos tiempos puede ser atribuida a los niveles de infestación, así como a la temperatura y humedad relativa registrados en el almacén durante el período de almacenamiento (Tabla 7).

En el caso de los valores de proteína, aún cuando no se encontraron niveles de significancia, es claro observar un aumento en su concentración conforme asciende la población de R. dominica. Lo anterior puede ser atribuido a que el método utilizado determina nitrógeno total, el cual puede provenir no sólo de las proteínas del grano, sino también de excreciones de los insectos, tal como el ácido úrico y restos de insectos los cuales pudieron aumentar los valores de nitrógeno obtenidos que se detectaron como proteína (F.A.O. 1983).

### **pH y Acidez**

De acuerdo al análisis de varianza realizado, se observó que el tiempo de almacenamiento y la población de insectos tuvieron un efecto altamente significativo ( $p < 0.01$ ) sobre el pH, detectándose los mayores cambios en las medias de los tratamientos de 135 y 180 días de almacenamiento. Sin embargo, las medias de 0, 45 y 90 días no presentaron cambios significativos ( $p > 0.01$ ) (Figura 6).

El aumento de pH observado posiblemente haya sido ocasionado por el incremento de ácidos grasos libres y a la excreción de ácido úrico, producto de la actividad metabólica del insecto .

1  
 Tabla 7. Composición química de grano de trigo infestado con *Rhizopertha dominica* durante seis meses de almacenamiento.

Almacenamiento (Días)	Número de Insectos por Kg de Trigo	gr/100 gr			
		Humedad	Cenizas	Extracto Etéreo	Proteína (N x 5.7)
0	0	8.0	1.7	2.0	11.3
45	75	9.8	1.6	2.0	12.6
90	571	10.7	1.5	3.7	13.2
135	571	10.0	1.4	3.4	12.9
180	551	10.0	1.8	2.7	11.8

1 = Expresado en base seca. Cada valor es el promedio de nueve replicas.

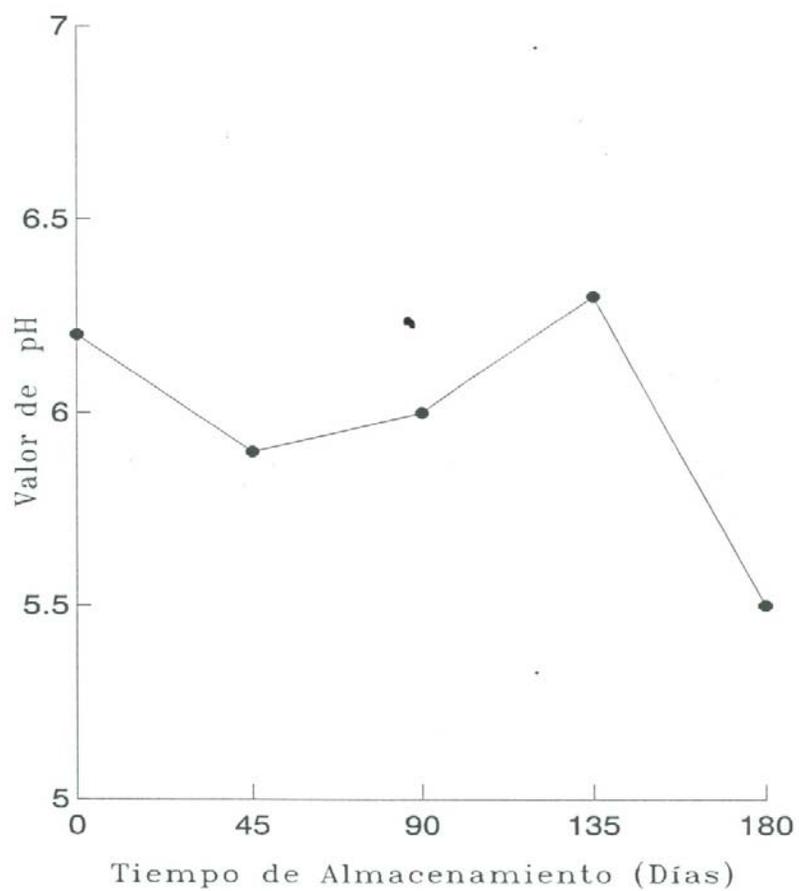


Figura 6. Valores de pH en grano de trigo infestado con *Rhizopertha dominica* F. durante seis meses de almacenamiento.

Respecto a la acidez se puede apreciar que los mayores cambios son a los 90 y 135 días, siendo sus medias estadísticamente diferentes ( $p < 0.01$ ). Los cambios presentados durante estos tiempos están altamente relacionados con la población de insectos, dado que son los períodos donde se presentó mayor abundancia poblacional de insectos (Figura 7).

Los cambios deteriorativos presentados en las grasas o aceites de granos pueden ocurrir por acción oxidativa, dando con ello sabores y olores a rancio; o bien, pueden ser debido a dos tipos de reacciones: rancidez oxidativa y rancidez hidrolítica. Esta última es ocasionada por la acción de la enzima lipasa sobre los enlaces éster de los triacilglicéridos, dando lugar a la formación de ácidos grasos libres. En los granos de cereales, especialmente en trigo, esta deterioración es debida a la alta actividad lipásica del salvado principalmente, ya que éste es constituido por el pericarpio y el germen, siendo este último el que presenta la mayor actividad. La acción hidrolítica es acelerada por efecto de la humedad y altas temperaturas; además, se ha observado que también la presencia de mohos e insectos en el grano aceleran estos cambios.

La rancidez oxidativa es ocasionada principalmente por la acción directa del oxígeno sobre las dobles ligaduras. Este tipo de oxidación es regularmente observada en los productos molidos más que en grano entero, ya que éste se encuentra protegido por su estructura cerrada (Pomeranz, 1992; Barnes y Galliard, 1991).

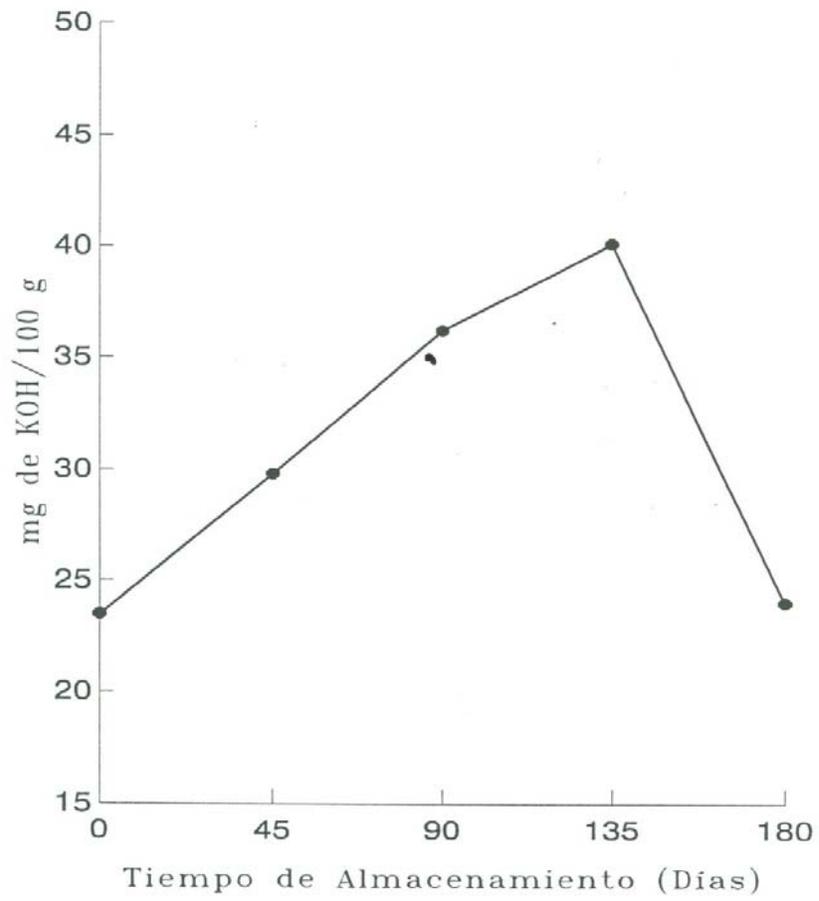


Figura 7. Acidez de grasa en grano de trigo infestado con Rhyzopertha dominica F. durante seis meses de almacenamiento

En este estudio, la deterioración quizá estuvo regulada casi exclusivamente por el oxígeno, dado que aquí se manejó grano de trigo dañado por el insecto, el cual ocasionó perforaciones en el grano y aumentó la exposición de manera directa al oxígeno de las dobles ligaduras de los ácidos grasos insaturados presente. Tomando en consideración que en la determinación de acidez, lo que se titula son los ácidos grasos libres producidos por efecto de la deterioración, quizás al incrementar la población de insectos, se aumentó el número de granos dañados y con ello también el contenido de ácidos grasos libres (Apéndice D).

Es conocido que durante la deterioración de ácidos grasos existe la formación de compuestos secundarios de degradación como son los hidroperóxidos, aldehídos y cetonas entre otros, los cuales no pueden ser detectados por el método empleado en este estudio, razón por la que probablemente los valores obtenidos durante la última etapa del almacenamiento se ven disminuidos drásticamente (Pomeranz,1992: Salunkhe, 1985).

### Evaluaciones Reológicas

#### **Comportamiento Farinográfico**

En la realización de esta prueba se evaluaron los parámetros de absorción de agua (AA), tiempo de desarrollo (TD) y estabilidad (E) de las masas. El comportamiento que exhibieron las harinas de trigos infestados de acuerdo al

análisis de varianza fue altamente significativo ( $p < 0.01$ ) para algunos de los parámetros evaluados.

El porcentaje de absorción de agua en la harina varió significativamente ( $P < 0.05$ ), el cual se atribuyó al factor tiempo de acuerdo al análisis estadístico. Sin embargo, en nuestro estudio, la absorción de agua no fue una medición determinante en la calidad de la harina, puesto que ésta variación fue de acuerdo al porcentaje de humedad de la harina inicial y el ajuste de la curva del farinógrafo sobre la línea de las 500 Unidades Brabender (U.B.).

El segundo parámetro medido en los farinogramas fue el tiempo de desarrollo máximo, el cual se mide a partir de que se adiciona la primera cantidad de agua a la harina, hasta el desarrollo máximo de la masa, antes de que comience a dar indicios de debilitamiento. Al comparar los valores de las harinas de trigos infestados con el control, se encontró una diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ), atribuyéndosele tanto al tiempo de almacenamiento como al nivel de infestación en el grano. Lo anterior podría, quizás, indicar que se presentó un daño en la calidad del gluten, dando como resultado una masa más débil al aumentar la población de R. dominica, presentándose así el menor tiempo de desarrollo en las muestras del tercer muestreo.

La estabilidad disminuyó con respecto al valor inicial, variación considerada altamente significativa ( $p < 0.01$ ) en relación al número de insectos

y tiempo de almacenamiento. Lo anterior dió como resultado una harina con características débiles y de poca tolerancia al mezclado (Tabla 8).

Para el índice de tolerancia, se encontró que permaneció casi constante, sin embargo los cambios presentados, aún cuando fueron mínimos, se atribuyeron a la población de insectos. El índice de tolerancia está relacionado con la fuerza de la masa, la cual al mantenerse casi en los valores iniciales, indica junto con las medidas de desarrollo máximo y estabilidad, que se trata de una masa con características débiles, por el cuadro que presenta y que ello es debido al daño que causó el insecto en el grano de trigo (Apéndice E).

#### **Comportamiento Amilográfico**

La temperatura de gelatinización del almidón de las harinas de trigos infestados presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), la cual fue atribuída a la población de insectos. Sin embargo, al efectuar una comparación de medias entre cada uno de los tiempos, no se encontró diferencia entre los tres primeros periodos de almacenamiento con respecto al control. No así para el último tiempo (180 días), el cual presentó diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) de su valor promedio con respecto al resto de los tiempos (Apéndice F).

En el caso de la viscosidad de la harina, se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), entre los valores de cada uno de los tiempos de almacenamiento. No obstante, al comparar las medias de cada uno de los

Tabla 8. Comportamiento farinográfico de harina de trigo infestado con *Rhyzopertha dominica* F. durante el tiempo de almacenamiento.

Almacenamiento (Días)	Número de insectos por Kg de trigo	Evaluaciones		
		AA	TD	E
0	0	50.84 <sup>a</sup>	3.50 <sup>c</sup>	15.58 <sup>b</sup>
45	75	51.55 <sup>b</sup>	3.05 <sup>bc</sup>	14.85 <sup>b</sup>
90	571	52.83 <sup>c</sup>	3.00 <sup>b</sup>	10.37 <sup>a</sup>
135	571	49.78 <sup>a</sup>	2.61 <sup>a</sup>	11.88 <sup>a</sup>
180	551	51.32 <sup>b</sup>	2.77 <sup>ab</sup>	10.27 <sup>a</sup>

Números con letras diferentes por columna son significativamente distintos a un alfa de 0.01

AA = Absorción de agua (ml/100g)

TD = Tiempo de desarrollo (min)

E = Estabilidad

tiempos, solamente el segundo (90 días) presentó diferencia significativa con respecto al resto de los tiempos (Apéndice F).

En el análisis gráfico (Figura 8 y 9) puede observarse que durante el último periodo de almacenamiento se presentó un incremento en la temperatura de gelatinización, la cual trajo como consecuencia un aumento en la viscosidad de las pastas. Posiblemente este comportamiento pudiera explicarse en base a la acción de las secreciones y excreciones de los insectos, así como al ácido úrico y enzimas que afectaron los puentes de hidrógeno de las zonas amorfas del almidón, provocando una mayor absorción de agua y, consecuentemente, un aumento en la viscosidad. De igual forma, un incremento en la viscosidad revela la habilidad de los gránulos de almidón de hincharse libremente antes del rompimiento físico.

Así mismo, se puede observar en las figuras 8 y 9, que en la región formada entre los periodos de 0 a 90 días de almacenamiento, se presentó una declinación en la viscosidad de la pasta, en el control y en el infestado. Durante el primer tiempo de almacenamiento en la muestra control hubo una reducción de la temperatura de gelatinización, lo cual trajo consigo a su vez una disminución en la viscosidad. Estos cambios aquí presentados quizá pudieran ser atribuidos en el caso de la harina infestada al aumento drástico que se da en la población y en la muestra control quizá al efecto del tiempo de almacenamiento.

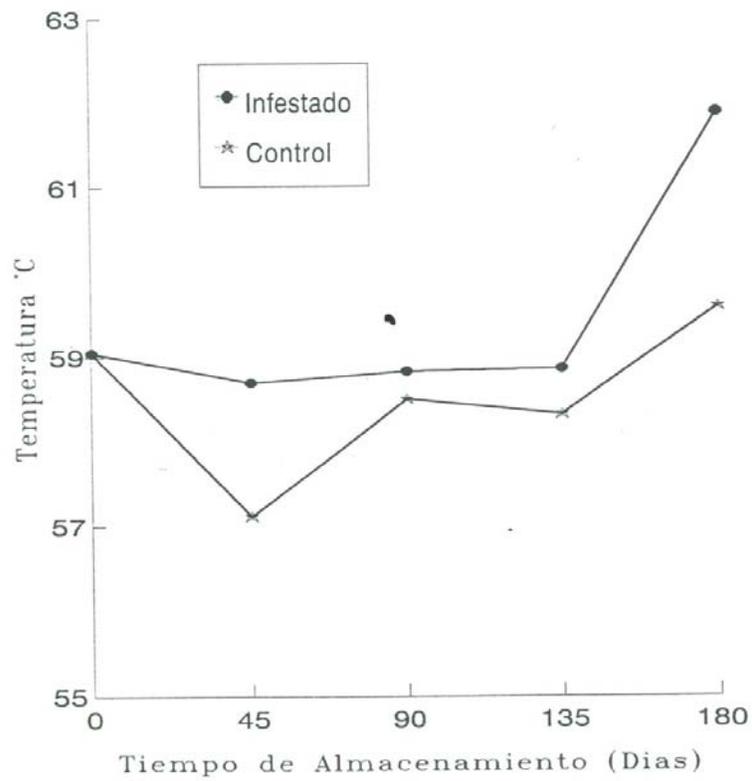


Figura 8. Temperatura de gelatinización de la harina de trigo infestado con *Rhizopertha dominica* F. durante los seis meses de almacenamiento

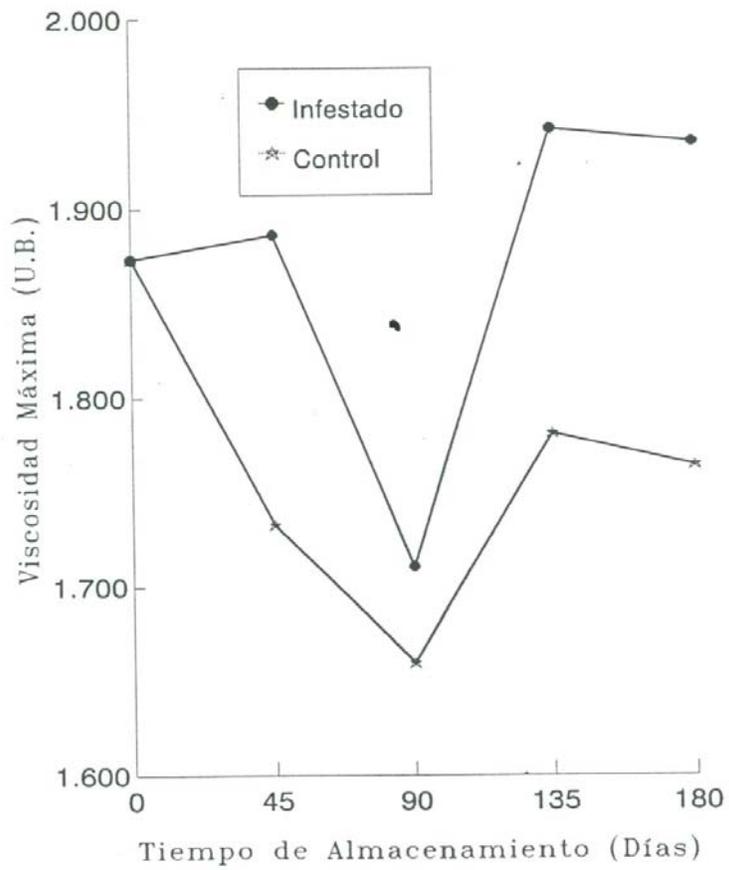


Figura 9. Viscosidad máxima presentada en la harina de trigo infestado con *Rhizopertha dominica* F. durante los seis meses de almacenamiento.

Los valores del tiempo de caída presentaron una diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ) con respecto al control. Se observó una disminución en el tiempo de caída al aumentar la población de insectos y el tiempo de almacenamiento (Figura 10).

Se considera que una harina de trigo tiene un mínimo aceptable de calidad panadera si el índice de caída no es inferior a 160 seg y no es superior a 350 seg. Es decir, cuando las concentraciones de actividad alfa amilásica es muy alta, ésta atacará al almidón y dará una miga pegajosa del pan. Por otro lado, cuando la actividad baja, la miga del pan tendrá características secas.

La disminución en el número de caída determinada en este estudio, nos indica que se trata de una harina en cual posiblemente los gránulos del almidón se encuentren dañados, lo cual ocasiona que se produzca un aumento en la temperatura de gelatinización, pero presentan una caída más drástica, tal como se pudo apreciar en este caso. Lo anterior ocasionó además que se tenga por lo tanto un pan con características pobres, de un bajo volumen y altura.

### **Panificación**

Para este caso las mediciones hechas a los panes elaborados fueron: altura, volumen y peso. Para altura y peso se presentó una disminución en los valores obtenidos, la cual fue atribuida al tiempo de almacenamiento. En esta medición se presentó una reducción cercana al 16% con respecto al control (Figura 11 y 12).

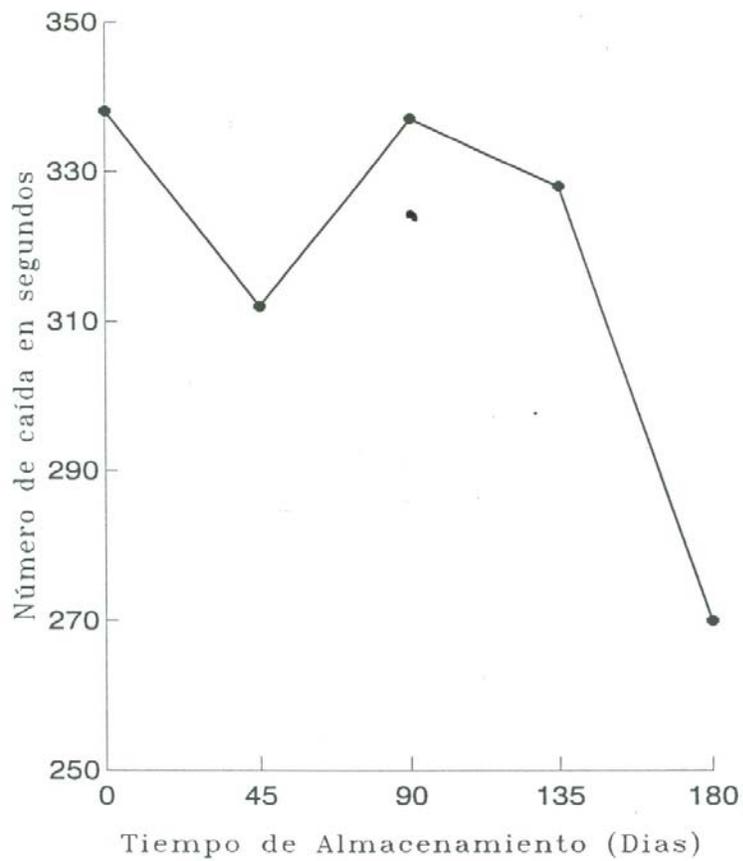


Figura 10. Valores de número de caída (corregidos al 14 % de humedad) de harina de trigo infestado con *Rhyzopertha dominica* F. durante seis meses de almacenamiento.

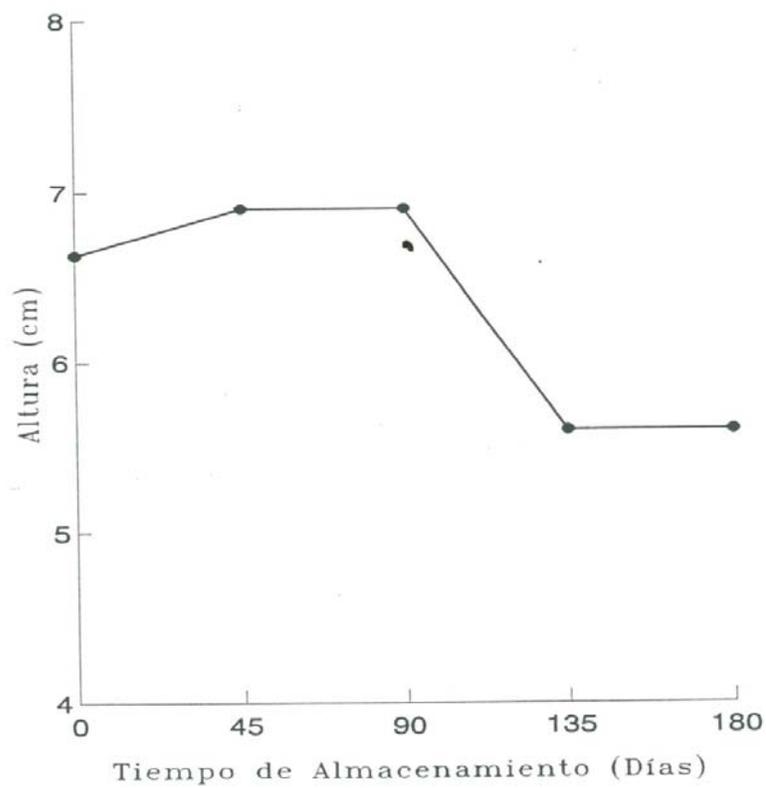


Figura 11. Altura de los panes elaborados con harina de trigo infestado con Rhizopertha dominica F. durante seis meses de almacenamiento.

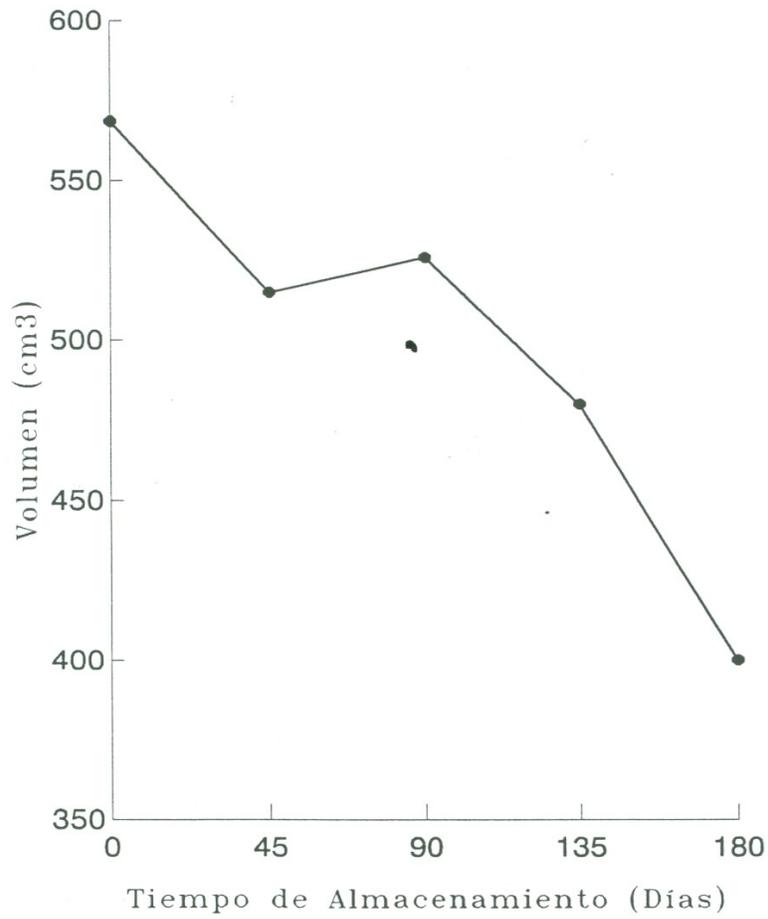


Figura 12. Volumen de los panes elaborados con harina de trigo infestado con Rhizopertha dominica F. durante los seis meses de almacenamiento.

En el volumen del pan se observó una reducción cercana al 36%, con respecto al control, la cual fué atribuida al aumento de población existente en el grano de trigo, lo cual trajo consigo una harina de pobre calidad panadera.

El análisis estadístico realizado demostró que había diferencia altamente significativa entre las muestras con respecto al control ( $p < 0.01$ ), sin embargo al realizar la comparación de medias no se encontró diferencia entre las medias correspondientes a los 90, 135 y 180 días. Además, estas variaciones presentadas fueron atribuidas tanto al nivel de infestación, como al tiempo de almacenamiento.

Cabe hacer mención que los panes elaborados con las harinas procedentes de trigos infestados presentaron olores desagradables, apariencia pegajosa y oscurecimiento de la miga y una reducción en el tamaño de la rebanada de pa (Apéndice G)