

CAPÍTULO 8

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran las gráficas que se obtuvieron como resultado del proceso del secado, así como tablas que contiene el comportamiento de dicho proceso. Las curvas de secado proporcionan la información necesaria para conocer el comportamiento de los granos de elote dentro del lecho fluidizado y así poder evaluar la eficiencia del secado en lecho fluidizado al vacío para estos granos tanto en la calidad de su aspecto físico como en sus propiedades alimenticias.

8.1 Características de las partículas

Antes de comenzar las pruebas fluidinámicas y de secado es necesario conocer las características físicas de las partículas, lo cual permitir la obtención de número de Reynolds, y principalmente para la velocidad mínima de fluidización. Como se puede observar en las Tablas 8.1 y 8.2 las propiedades de los granos de maíz fresco son diferentes a las que se obtuvieron después de someter a los granos al proceso de liofilización.

Tabla 8.1 Propiedades físicas de los granos de maíz fresco.

Densidad. de partícula [kg/m ³]	1161.99
Vol. de partícula [m ³]	2.64E-07
Área de esfera [m ²]	1.99E-4
Diámetro de partícula [m]	7.96E-3
Masa [kg]	2.44E-2
Esfericidad	4.93E-1
porosidad (ε)	5.04E-1
Categoría (7962.4 μm)	D

Tabla 8.2 Propiedades físicas de los granos de maíz liofilizado.

Densidad de partícula[kg/m ³]	802.23
Vol. de partícula [m ³]	2.26E-07
Área de esfera [m ²]	1.79E-4
Diámetro de partícula [m]	7.56E-3
Masa [kg]	1.80E-3
Esfericidad	4.76E-1
porosidad (ϵ)	5.17E-1
Categoría (7562.5 μm)	D

8.2 Pruebas fluidinámicas

Una vez conocidas las propiedades de las partículas, se obtuvo el número de Reynolds y la velocidad mínima de fluidización teóricos para tener una idea del régimen en el que se encontrara el lecho al realizar las pruebas fluidinámicas.

Tabla 8.3 Resultados de números de Reynolds y de Velocidad mínima de fluidización a tres diferentes temperaturas.

T [°C]	Re	U _{mf} [m/s]
60	570.63 (laminar)	1.44
45	607.12 (laminar)	1.41
30	646.02 (laminar)	1.21

8.2.1 Gráficas obtenida en las pruebas fluidinámicas

8.2.1.1

80 kPa

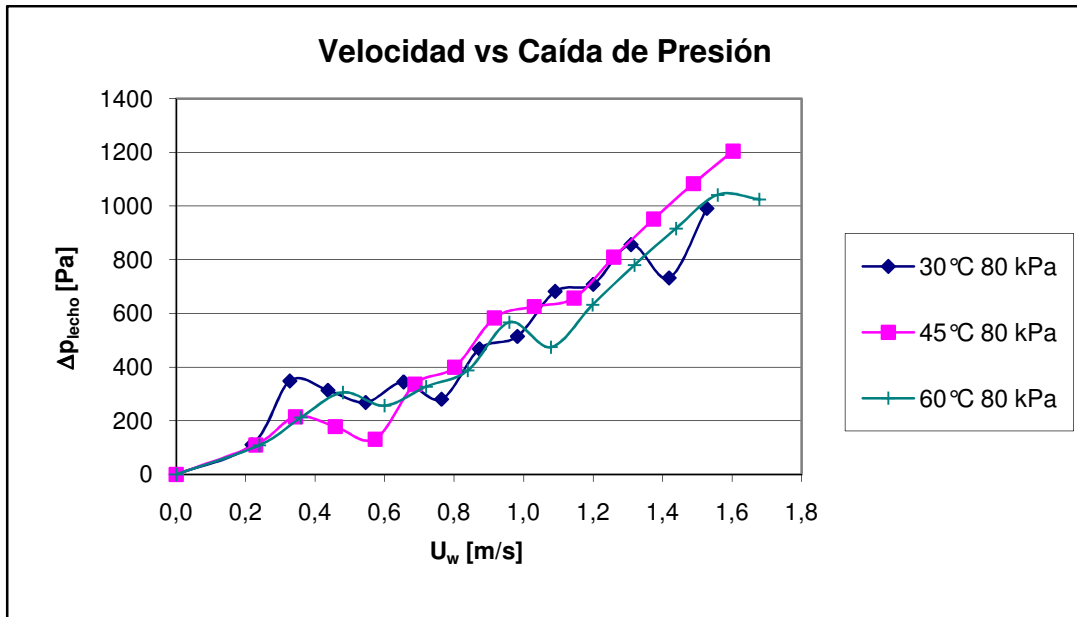


Figura 8.1. Velocidad contra caída de presión.

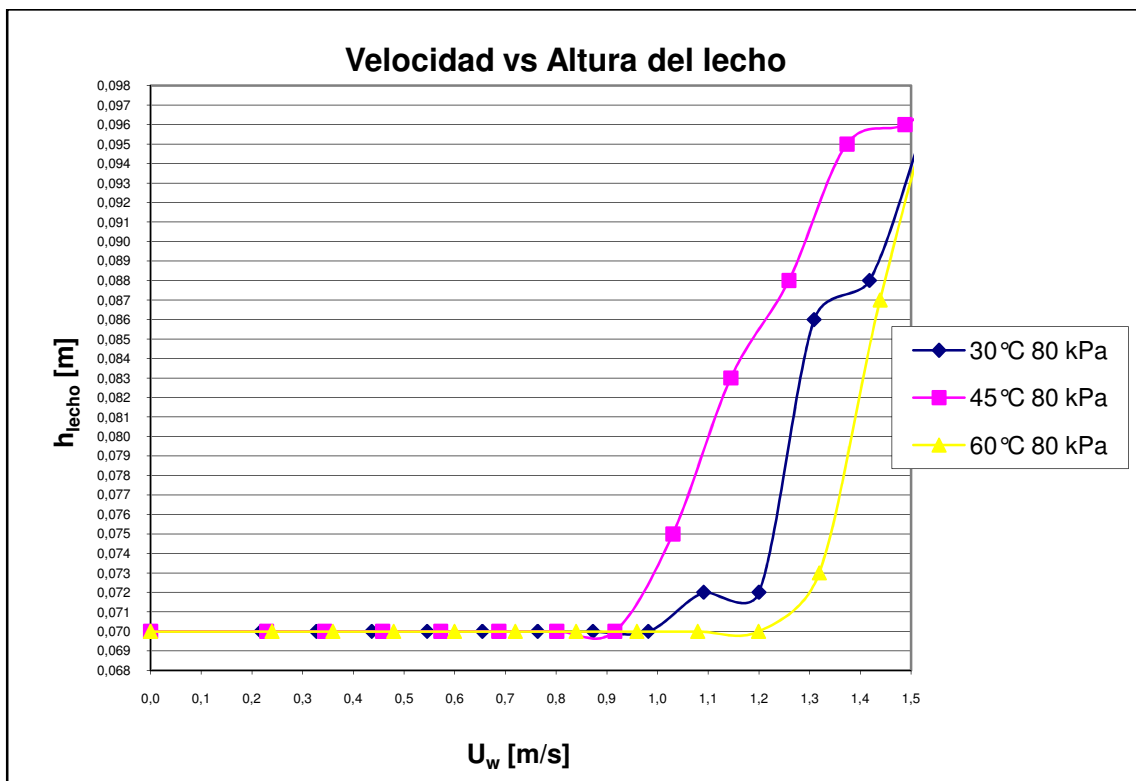


Figura 8.2. Velocidad contra altura del lecho.

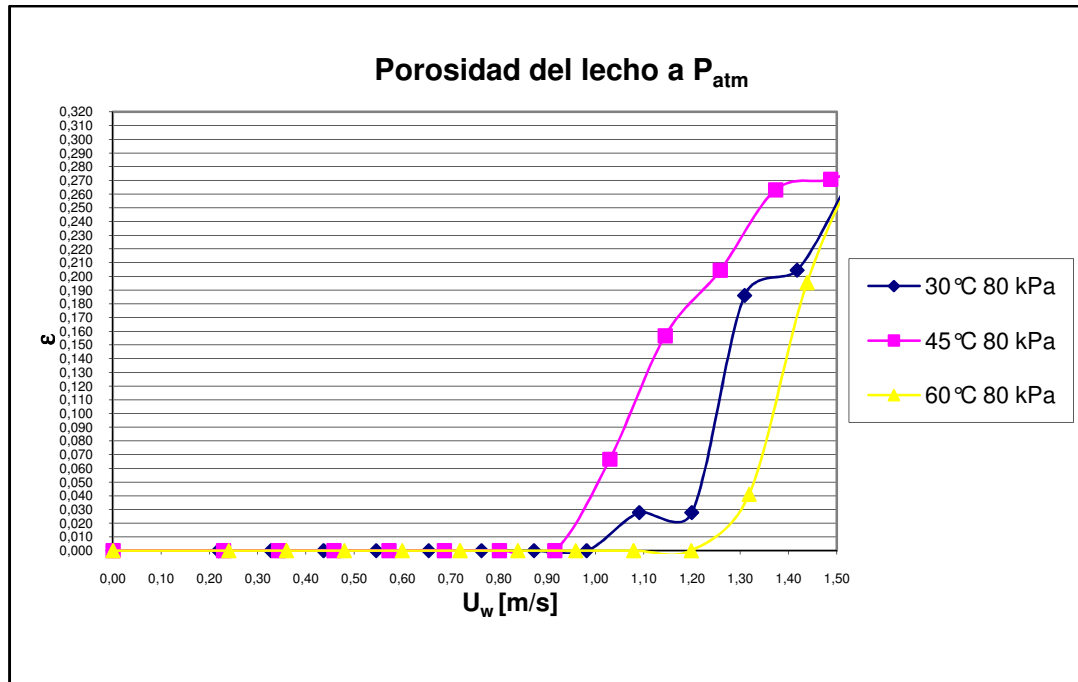


Figura 8.3. Porosidad del lecho.

8.2.1.2 67 kPa

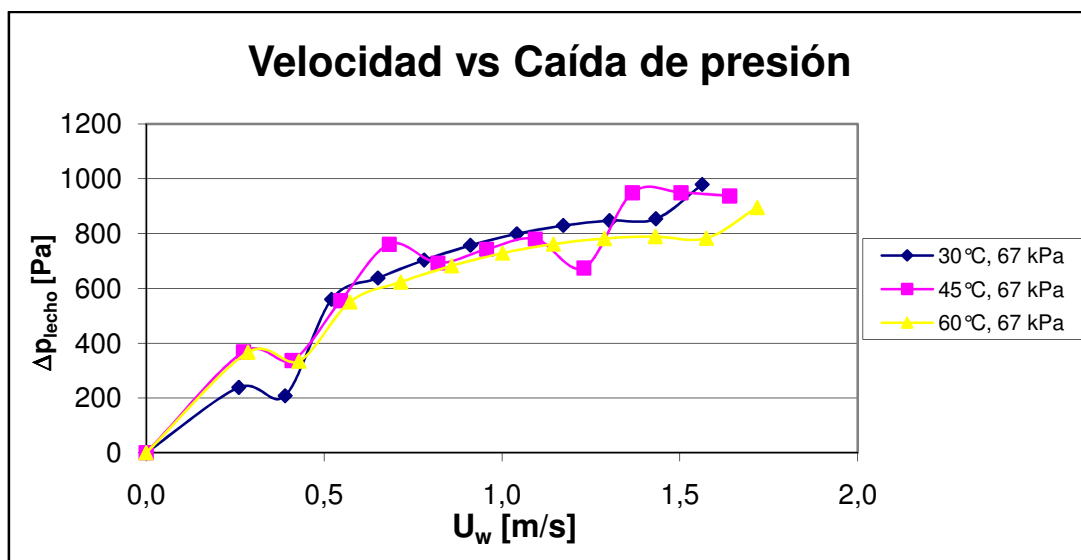


Figura 8.4. Velocidad contra caída de presión.

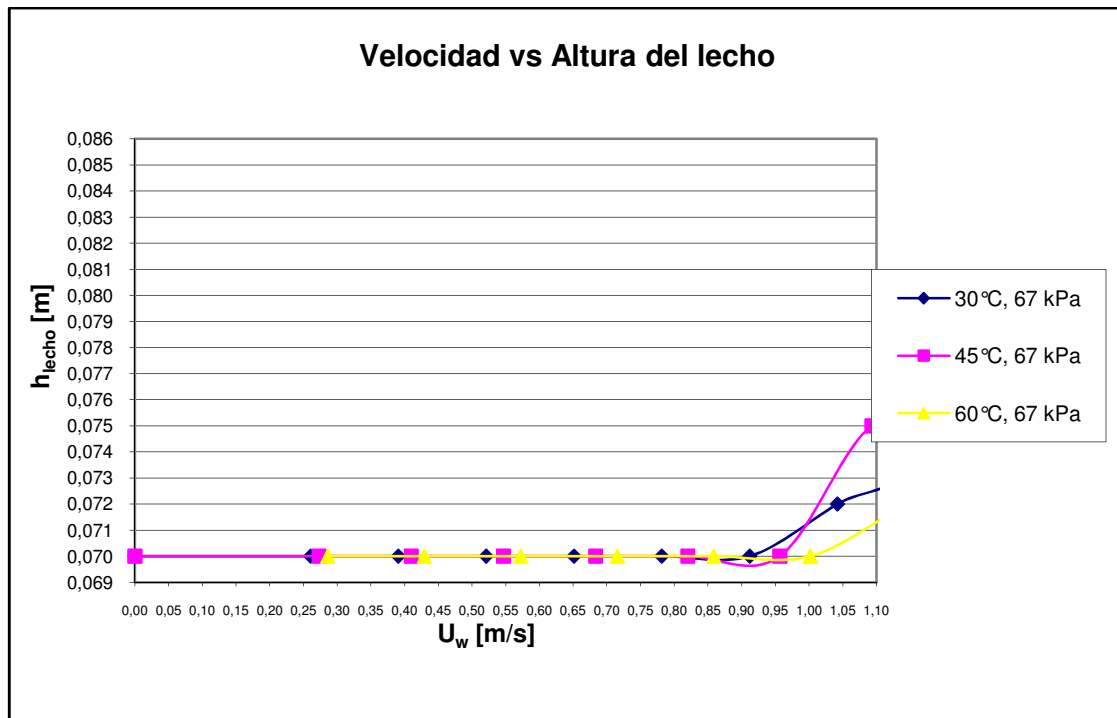


Figura 8.5. Velocidad contra altura del lecho.

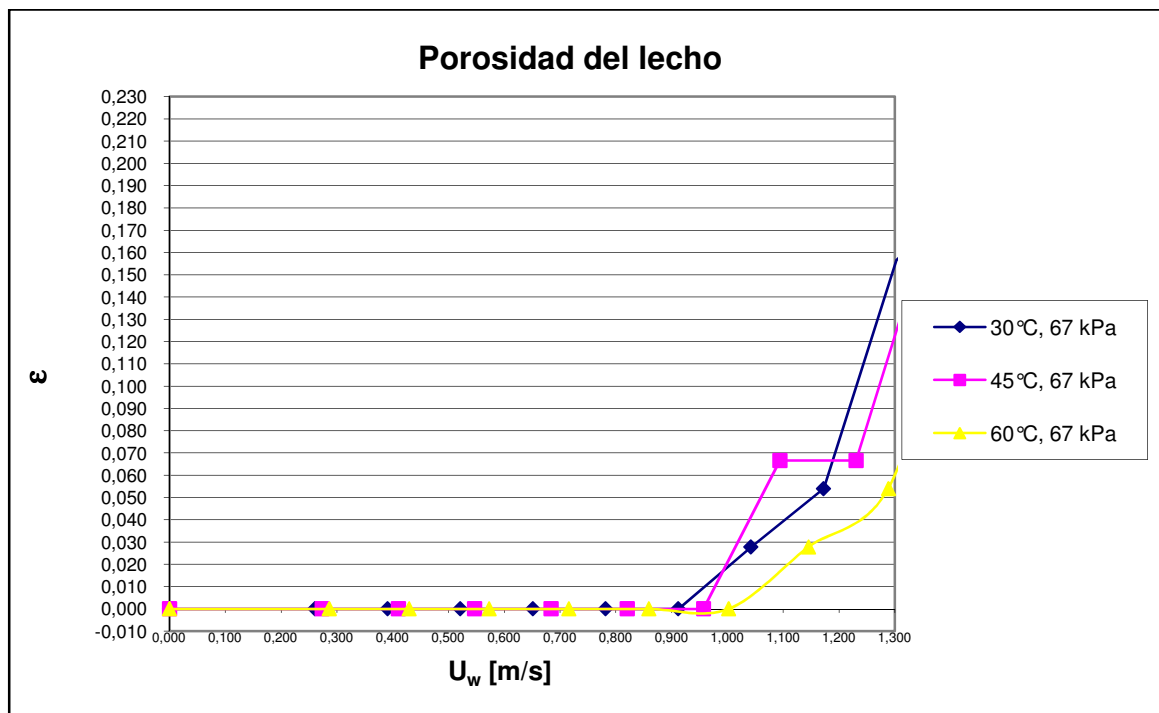


Figura 8.6. Porosidad del lecho.

8.2.1.3 kPa

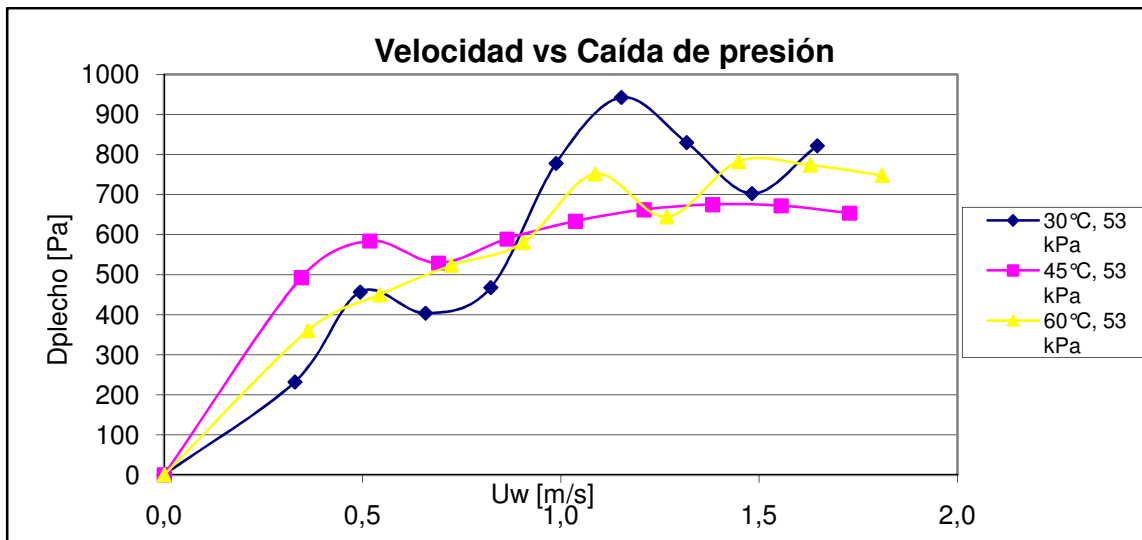


Figura 8.7. Velocidad contra caída de presión.

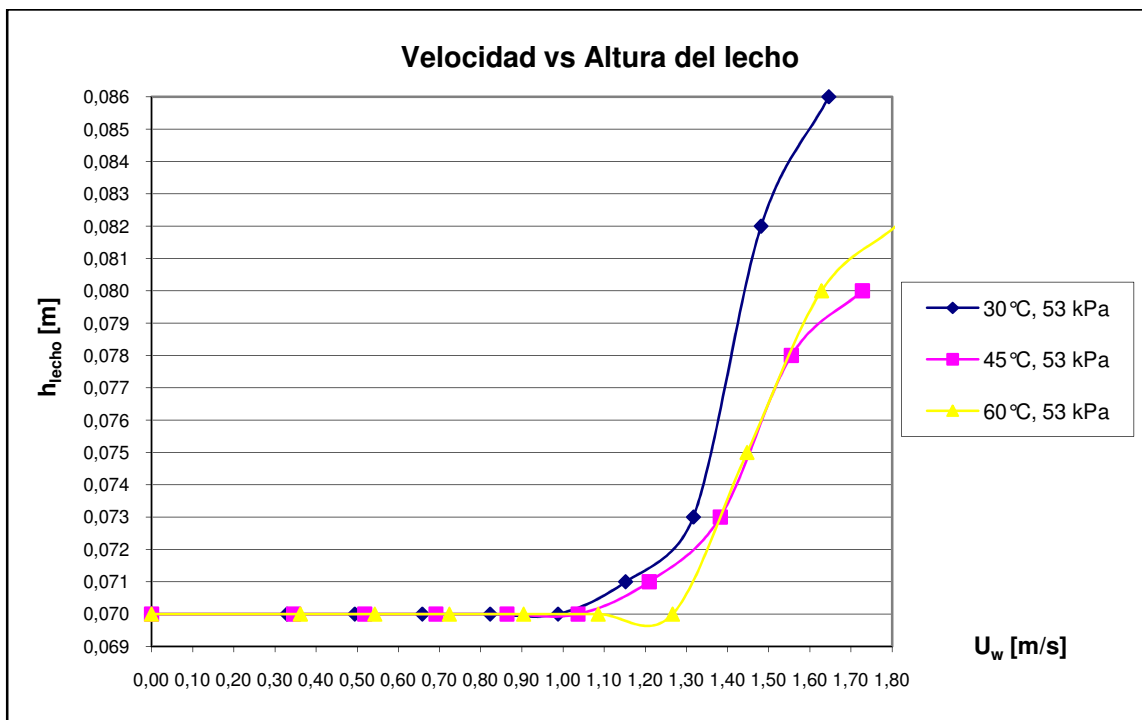


Figura 8.8. Velocidad contra altura del lecho.

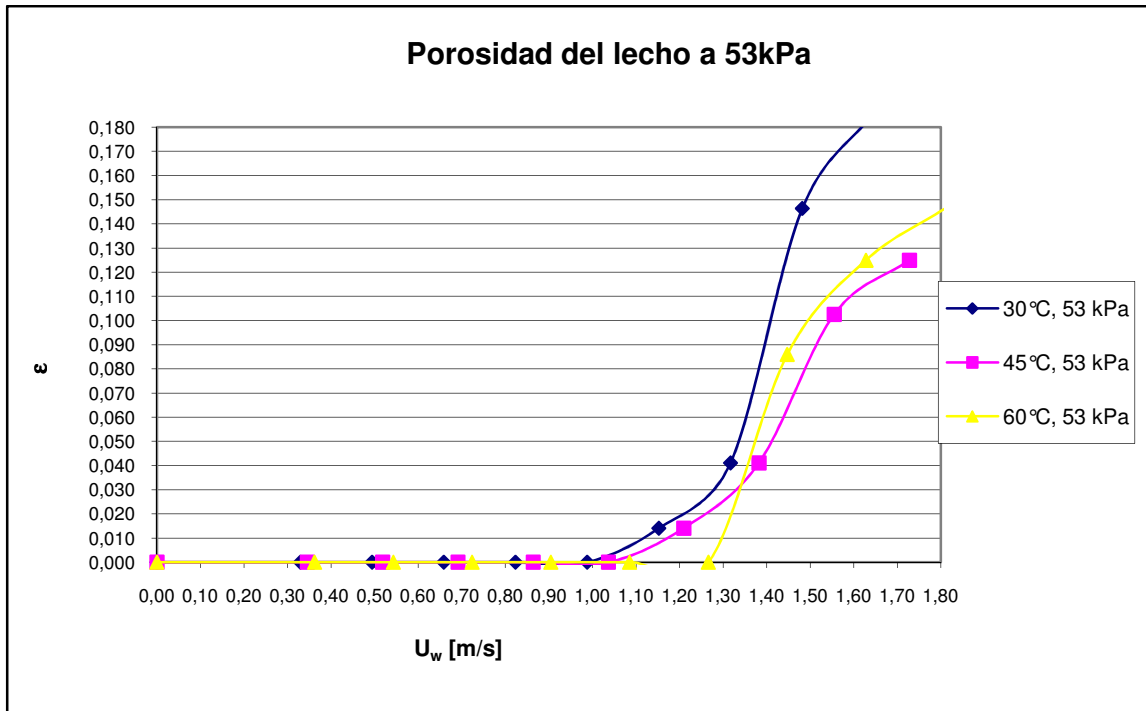


Figura 8.9. Porosidad del lecho.

Las velocidades mínimas de fluidización fueron obtenidas al sacar un promedio de dos puntos de la gráfica de velocidad contra altura del lecho, (el primer punto de la velocidad es cuando el lecho se encuentra todavía estático y el segundo punto en cuando el lecho se encuentra fluidizando) las velocidades mínimas de fluidización experimentales a 80 kPa son:

Tabla 8.4 Velocidades experimentales

Temperatura (°C)	U_{mf} (m/s)
60	1.230
45	1.041
30	1.028

mínimas de fluidización

En las figuras 8.10 y 8.11 se puede observar el comportamiento de la velocidad mínima de fluidización experimental con respecto a la presión y temperatura de operación. Se presenta un comportamiento poco similar a lo que se esperaba, aunque las tendencias son parecidas. Estos resultados pueden deberse a algunos problemas que se presentaron en el equipo durante los experimentos como lo fueron la fuga de aire y pérdida de vacío en ciertos momentos; así como posibles errores de lectura.

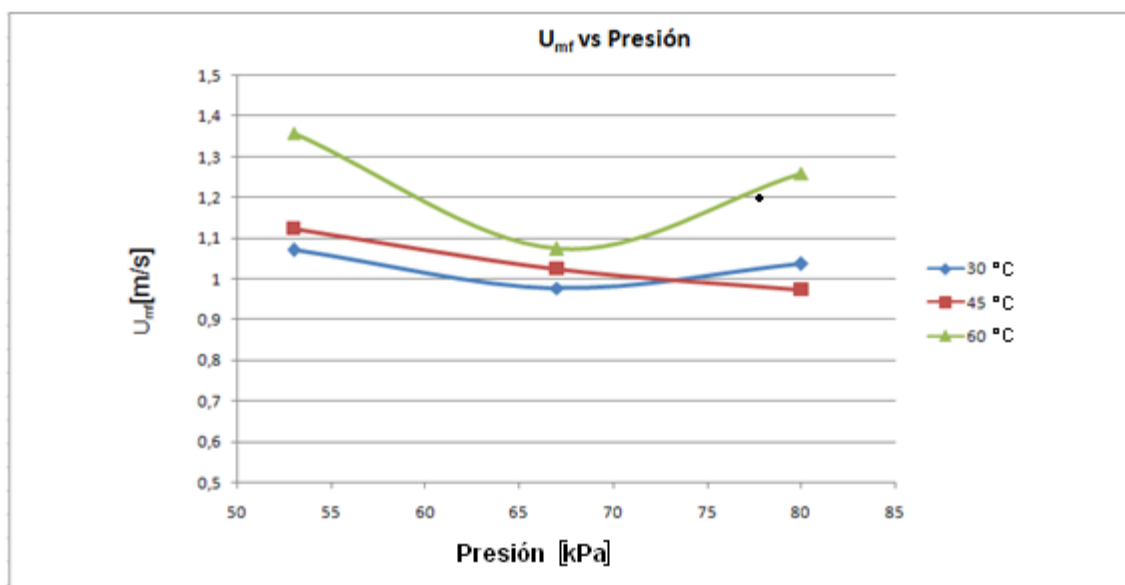


Figura 8.10. Velocidad mínima de fluidización contra presión.

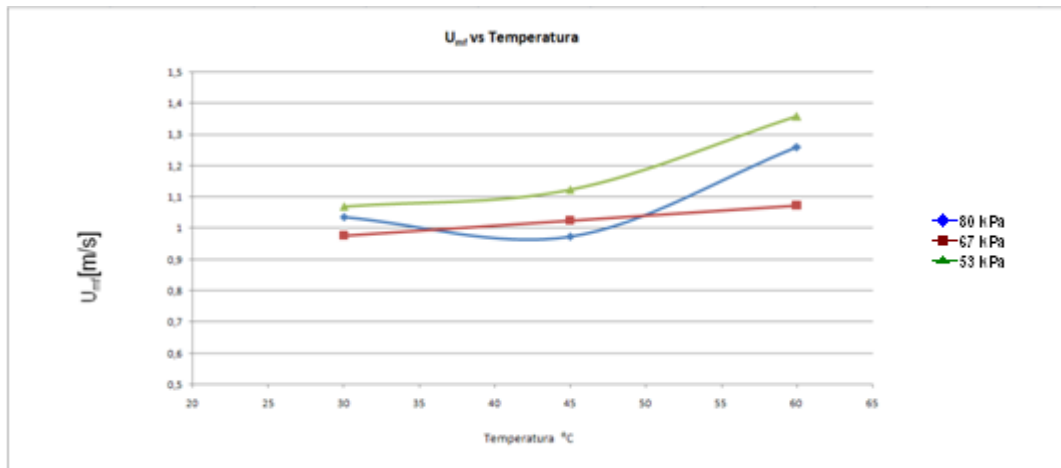


Figura 8.11. Velocidad mínima de fluidización contra temperatura.

8.3 Pruebas de secado

Para una mejor comprensión del comportamiento de las partículas durante el proceso de secado se presentaron graficas que describen la forma en que el lecho se comporto mientras se llevaba a cabo el secado, así mismo se incluyen tablas en las que se compraran como influyo la temperatura el tiempo en que tardaron en fluidizar las partículas en la humedad inicial de los granos (humedad cuando comenzó a fluidizar)

Las curvas de secado se graficaron tomando en cuenta la humedad relativa de la partícula contra el tiempo. Cabe mencionar que el tiempo que se graficó tiene como inicio el momento en que la partícula comenzó a fluidizar, ya que el objetivo del presente trabajo es conocer el comportamiento de los granos en un lecho fluidizado.

Ya que los datos se comenzaron a tomar en el momento que empezó a fluidizar el lecho y el tiempo de secado fue de 60 minutos, la humedad absoluta de las partículas no fue la misma en ningún caso.

Ya que los tiempos más bajos de fluidizar fueron los que se llevaron a cabo con presión atmosférica, las predicciones de que a mayor flujo de aire y temperatura las partículas tendrán menor porcentaje de humedad, si se cumplieron con dicha presión.

Estas tendencias se aprecian mejor en las graficas obtenidas, en dichas graficas se representa la humedad relativa de la partícula contra tiempo.

8.3.1 Análisis de las curvas de secado

8.3.1.1 Primera velocidad

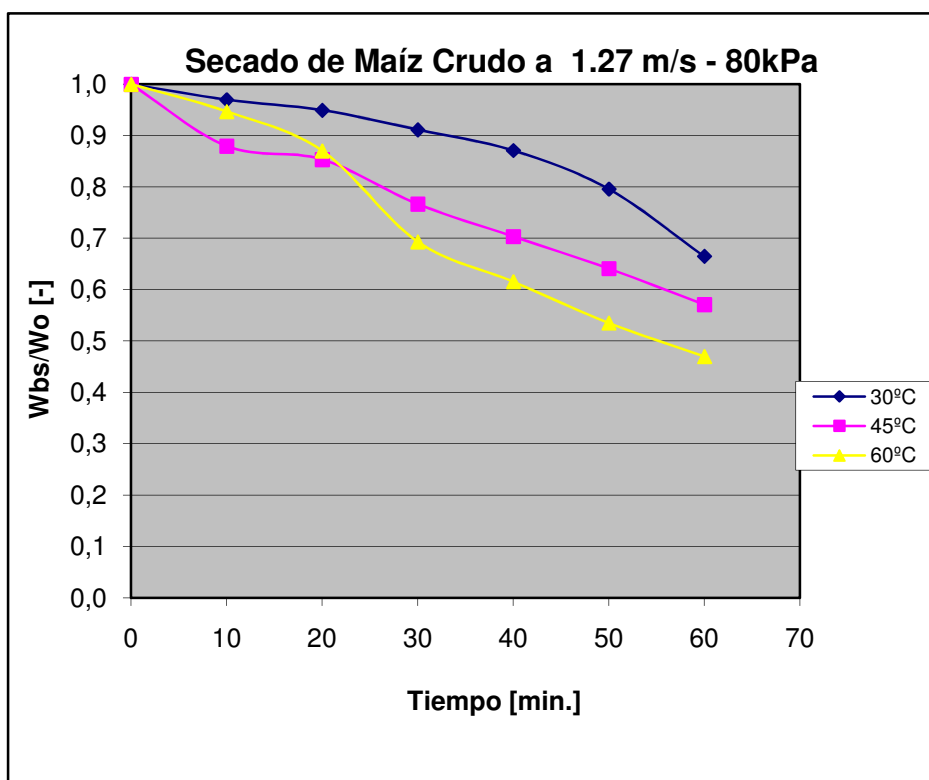


Figura 8.12. Efecto de la temperatura en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.27 m/s y 80 kPa

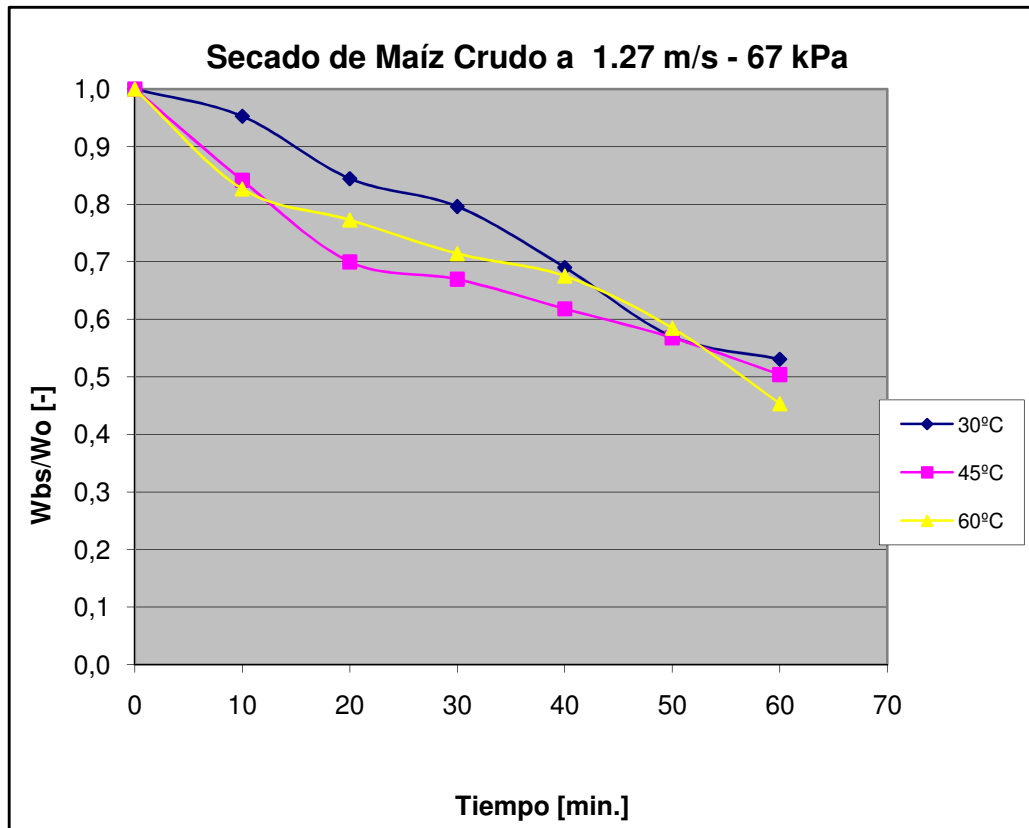


Figura 8.13. Efecto de la temperatura en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.27 m/s y 67 kPa

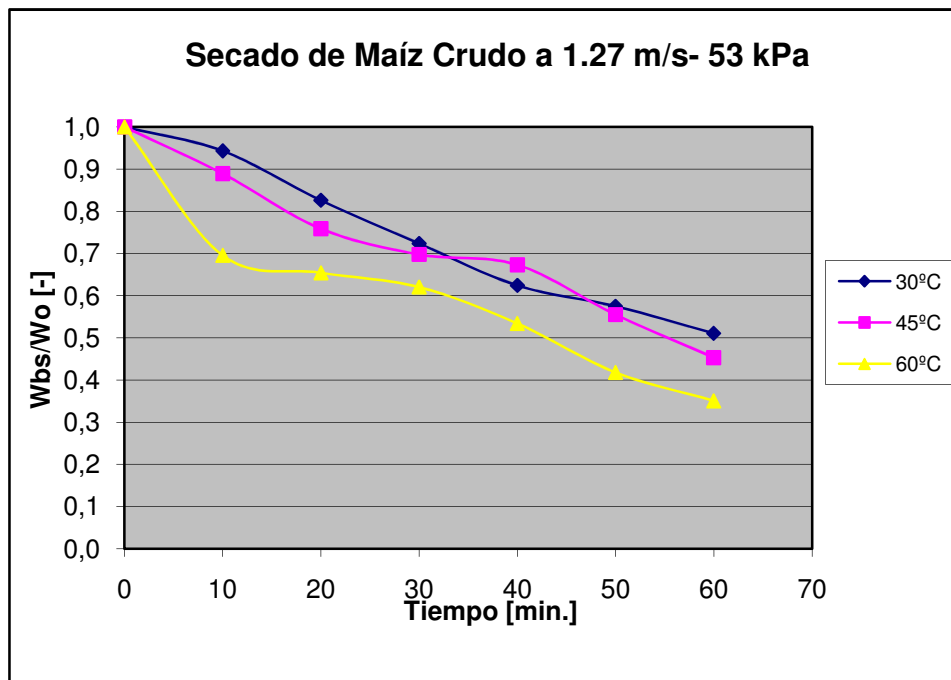


Figura 8.14. Efecto de la temperatura en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.27 m/s y 53 kPa

En las gráficas anteriores se puede observar que el efecto de la temperatura fue como se esperaba, a 30°C se encuentra el más alto grado de humedad y en 60°C el

porcentaje de humedad es el menor; y con 45°C la humedad se encuentra en un nivel intermedio a los dos anteriores. A pesar de que el comportamiento de la curva no fue como se esperaba los resultados en general concuerdan con los experimentos realizados anteriormente con diferentes partículas

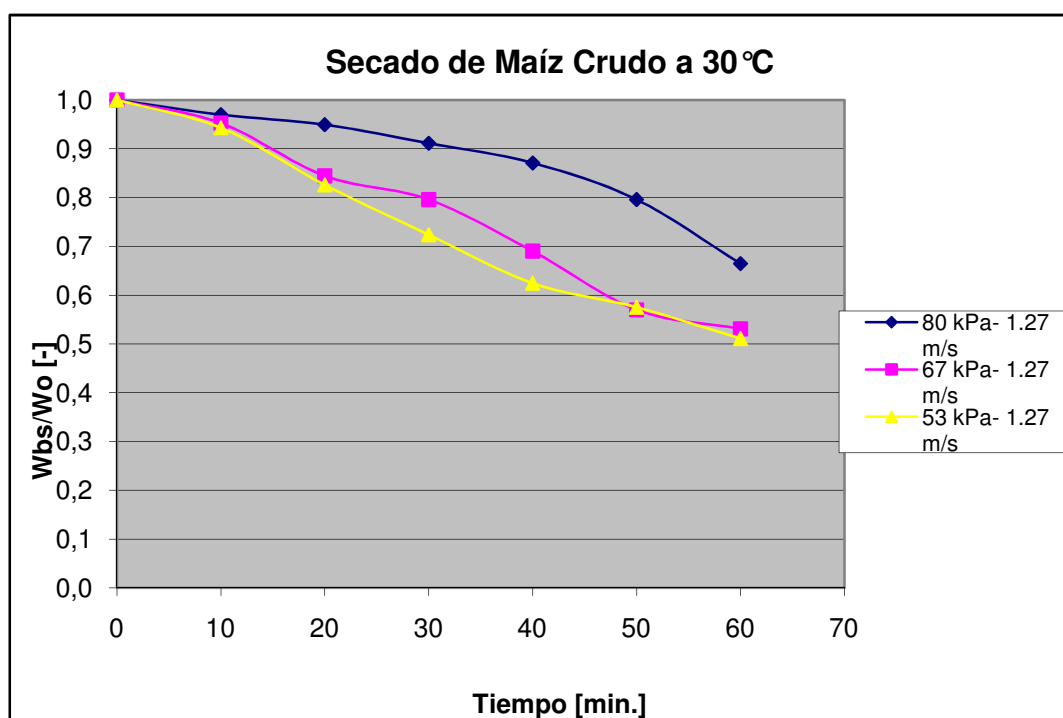


Figura 8.15. Efecto de la presión en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.27 m/s y 30°C

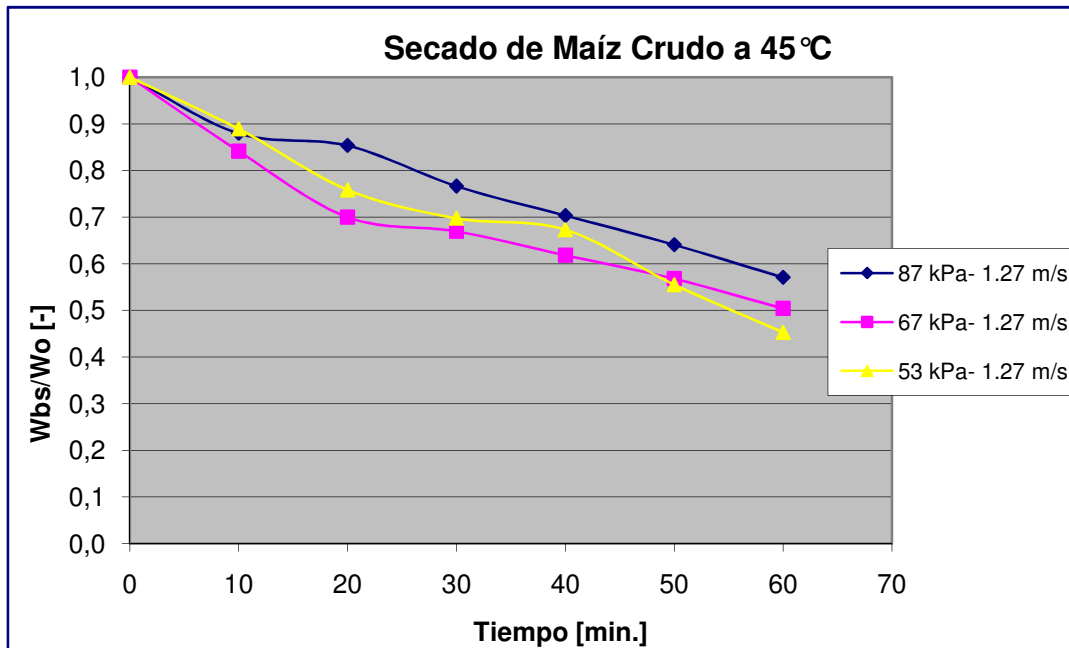


Figura 8.16. Efecto de la presión en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.27 m/s y 45°C

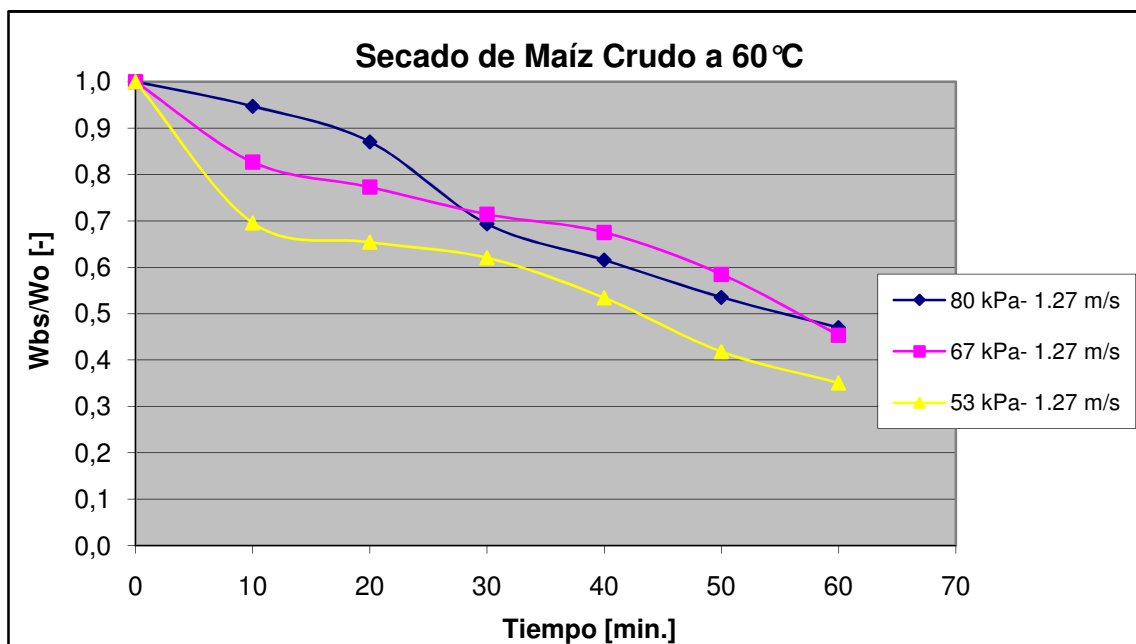


Figura 8.17. Efecto de la presión en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.27 m/s y 60°C

En estas gráficas es notorio que el grado de vacío influyó de manera considerable en la humedad final de la partícula, ya que como se puede observar con 53

kPa, es decir el mayor grado de vacío, el porcentaje de humedad relativa fue el menor en los tres diferentes casos de temperatura.

De la misma manera, la temperatura fue un parámetro importante para el porcentaje de humedad, ya que como se observa con 30°C la humedad mas baja se encuentra entre 0.5 y 0.6 de humedad relativa, con 45°C la humedad más baja se encuentra entre 0.4 y 0.5 y finalmente con 60°C se registra la menor humedad cuyo intervalo está entre 0.3 y 0.4.

8.3.1.2 Segunda velocidad

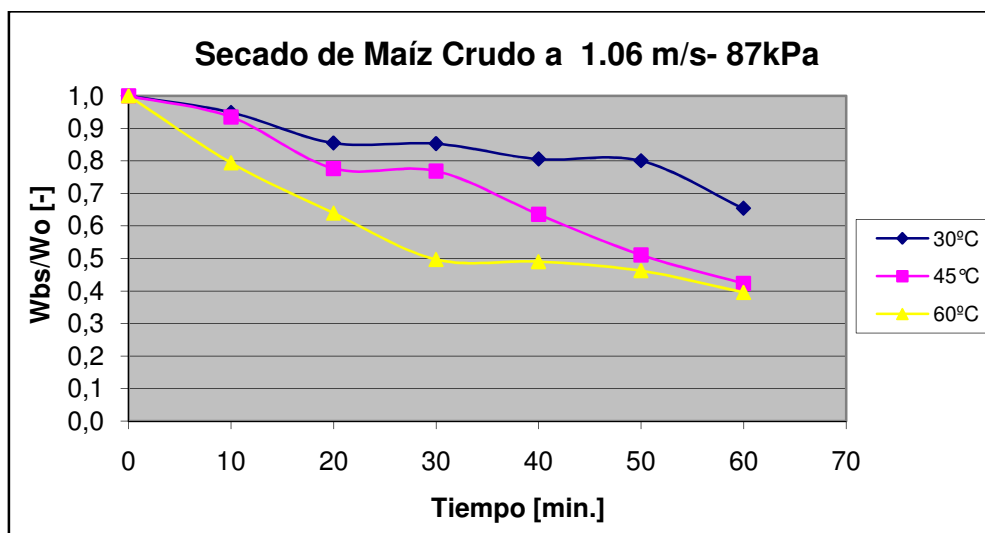


Figura 8.18. Efecto de la temperatura en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.06 m/s y 80 kPa

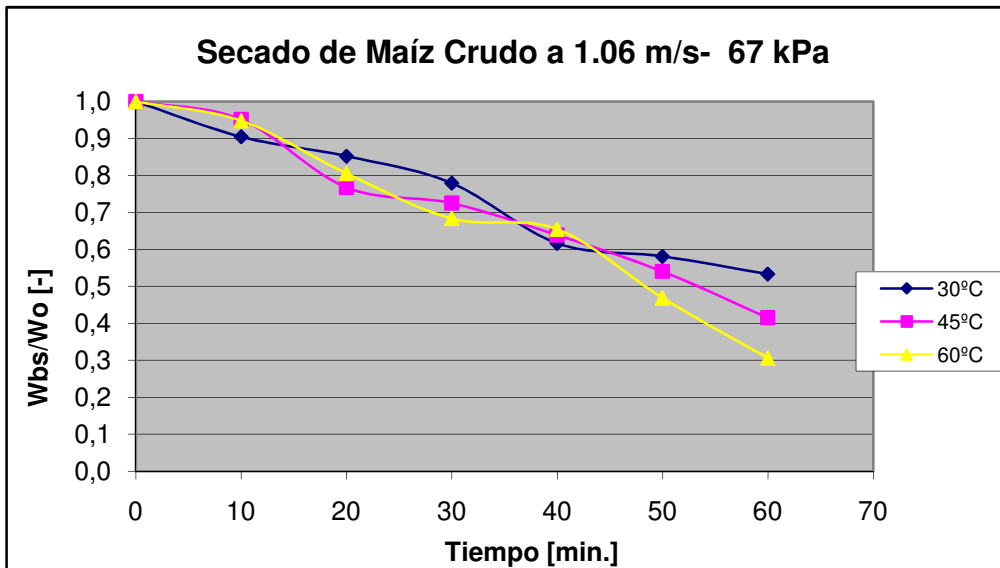


Figura 8.19. Efecto de la temperatura en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.06 m/s y 67 kPa

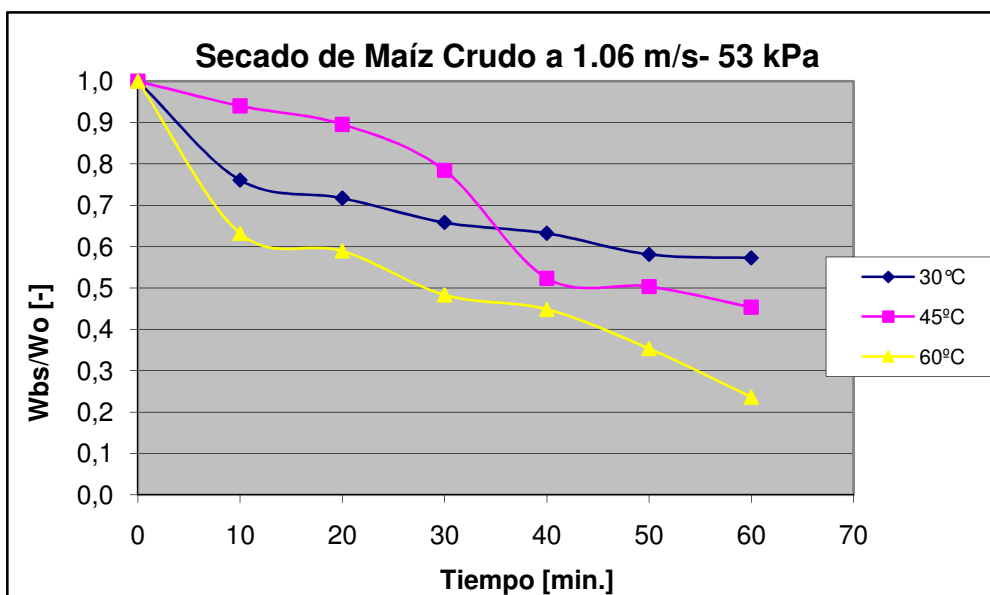


Figura 8.20. Efecto de la temperatura en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.06 m/s y 53 kPa

Estas gráficas muestran una vez más que a mayor temperatura el nivel de humedad es menor, de la misma forma al observar el grado de vacío de las tres gráficas (Figuras 8.7, 8.8 y 8.9) se nota que la remoción de humedad es mayor cuando el secado se llevo a

cabo con mayores niveles de vacío. A pesar de esto, las variaciones no son considerablemente grandes entre presiones y temperaturas de operación.

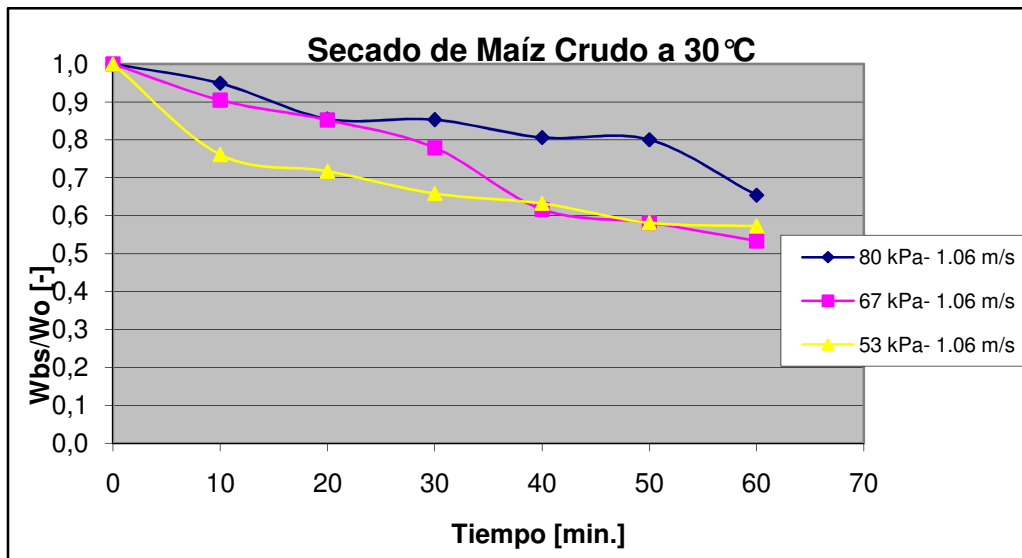


Figura 8.21. Efecto de la presión en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.06 m/s y 30°C

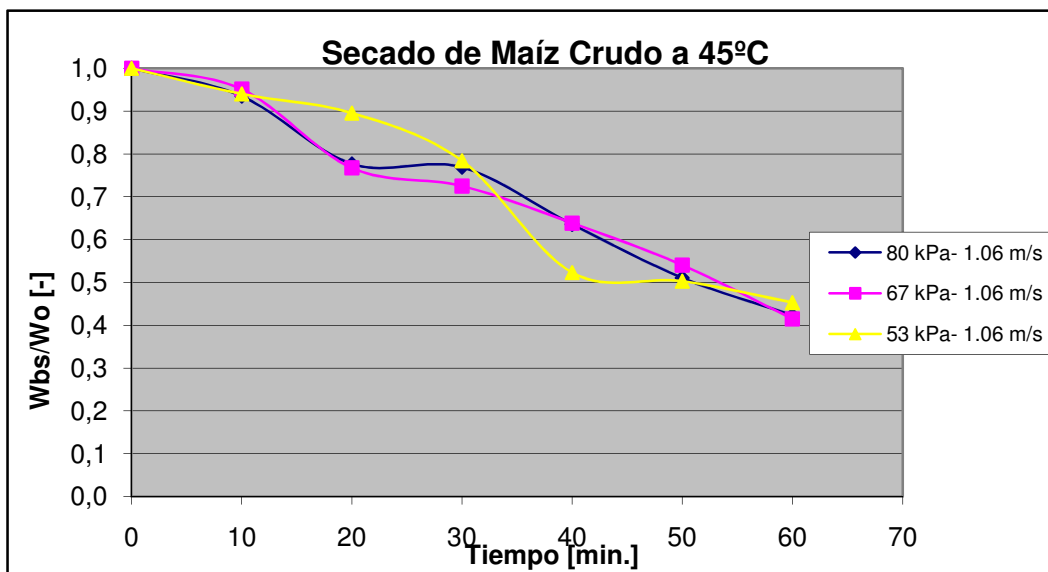


Figura 8.22. Efecto de la presión en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.06 m/s y 45°C

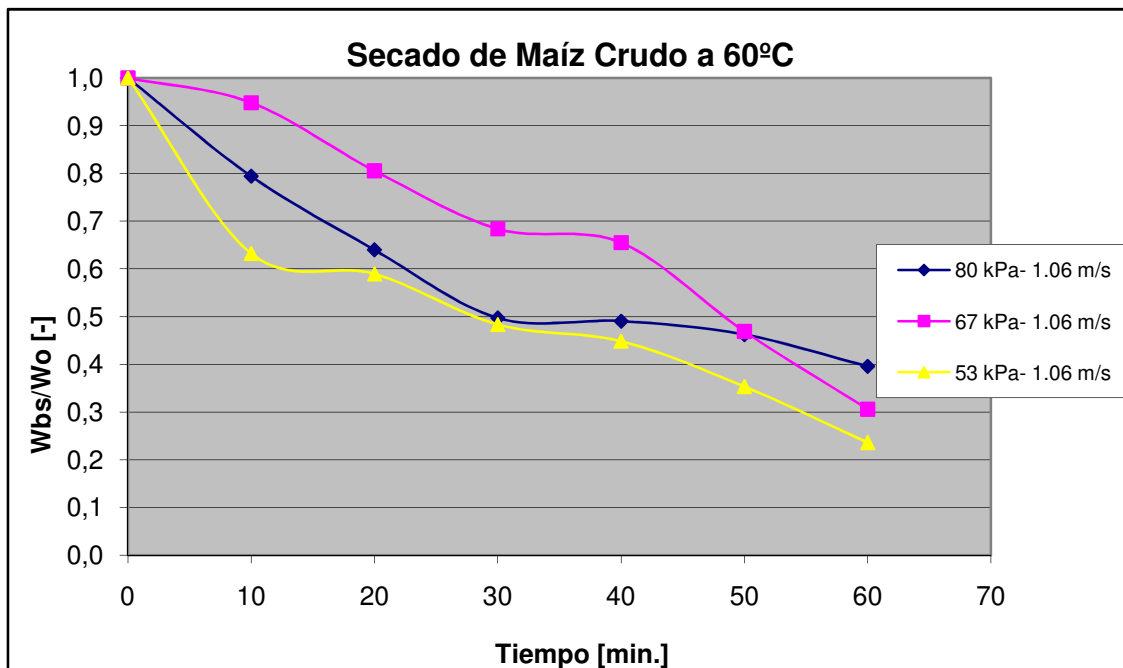


Figura 8.23. Efecto de la presión en el secado de granos de elote con una velocidad en la columna de 1.06 m/s y 60°C

En estas gráficas en cuanto al grado de vacío, el comportamiento del lecho no es precisamente el que se esperaba, sin embargo al enfocarse en el efecto de la temperatura se observa que los niveles de humedad son menores cuando la temperatura es más elevada y en este caso los cambios si son relativamente notorios entre temperaturas.

Al observar cuidadosamente las tablas 8.1 y 8.2 así como todas las gráficas obtenidas, es posible decir que en las velocidades altas el efecto de la presión es notorio, ya que el tiempo que las partículas estuvieron dentro de la columna de fluidización fue relativamente bajo, por el contrario en las velocidades bajas el tiempo los granos de maíz comenzaron a fluidizar después de periodos de tiempo prolongados, por lo cual el efecto del vacío no se puede percibir. Por lo tanto en estas pruebas (velocidades de flujo bajas) el tiempo fue el factor determinante en la humedad final de las partículas.

8.3.1.3 Efecto de la velocidad

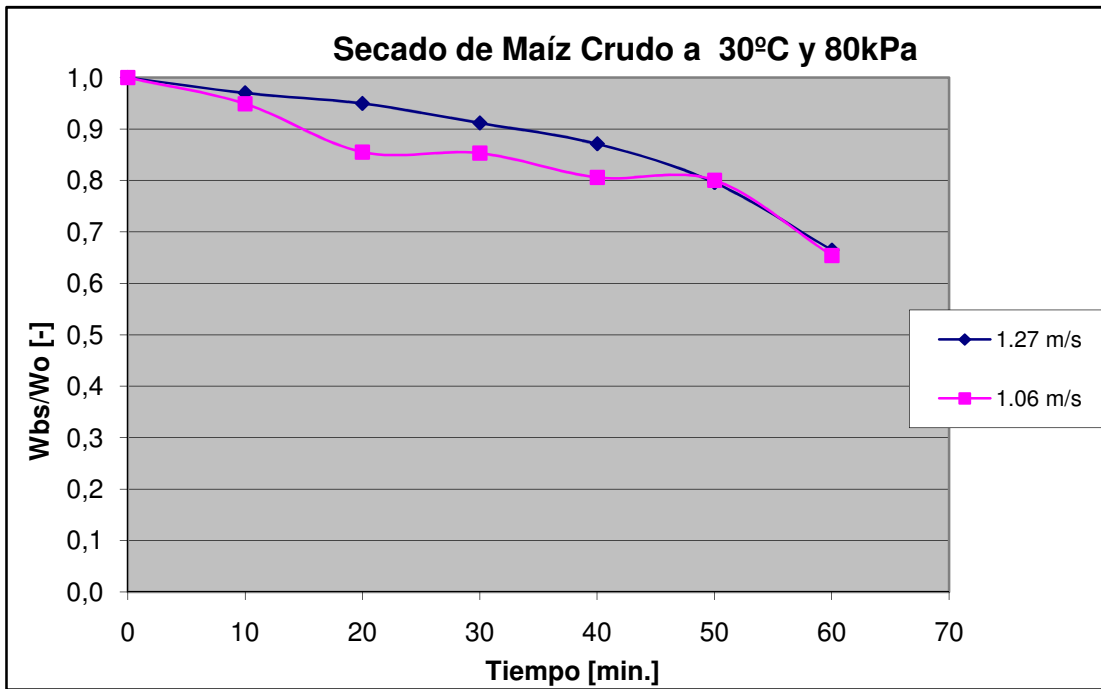


Figura 8.24. Efecto de la velocidad en la columna en el secado de granos de elote con 30°C y 80 kPa

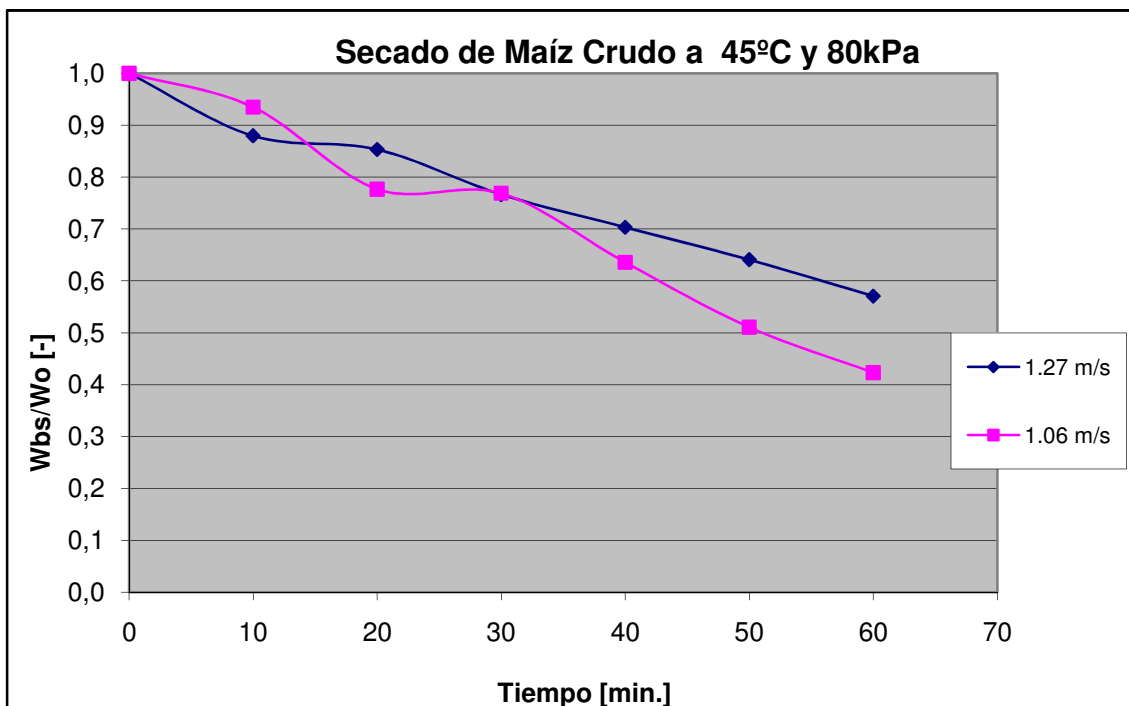


Figura 8.25. Efecto de la velocidad en la columna en el secado de granos de elote con 45°C y 80 kPa

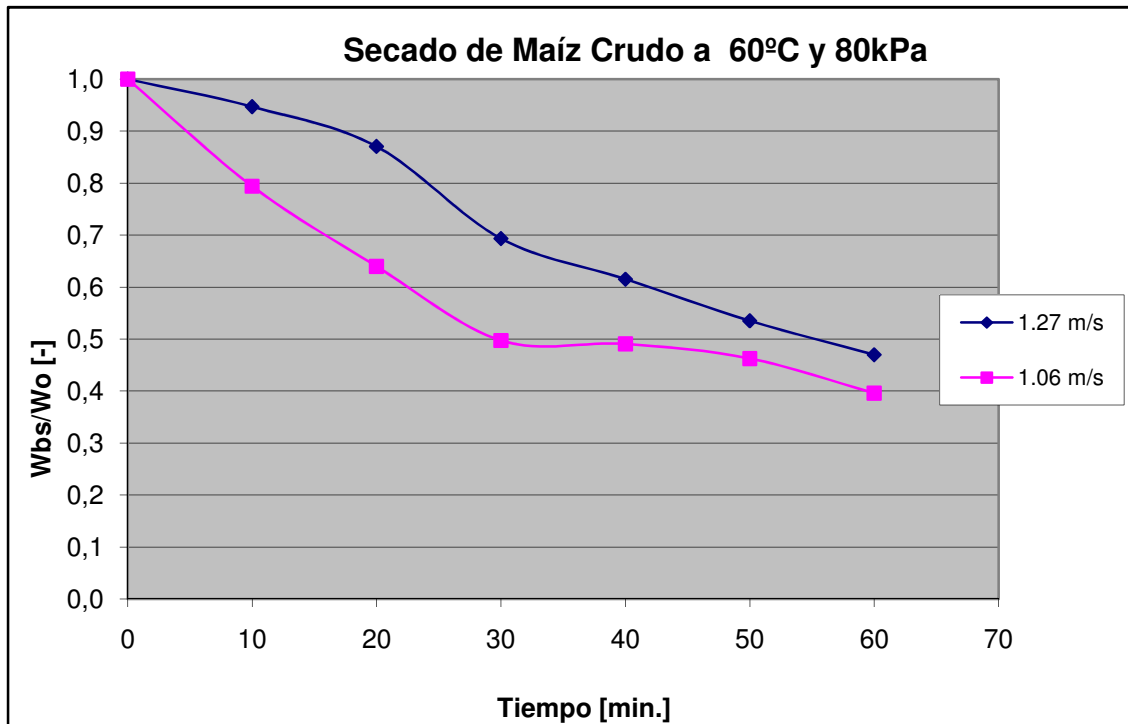


Figura 8.26. Efecto de la velocidad en la columna en el secado de granos de elote con 60°C y 80 kPa

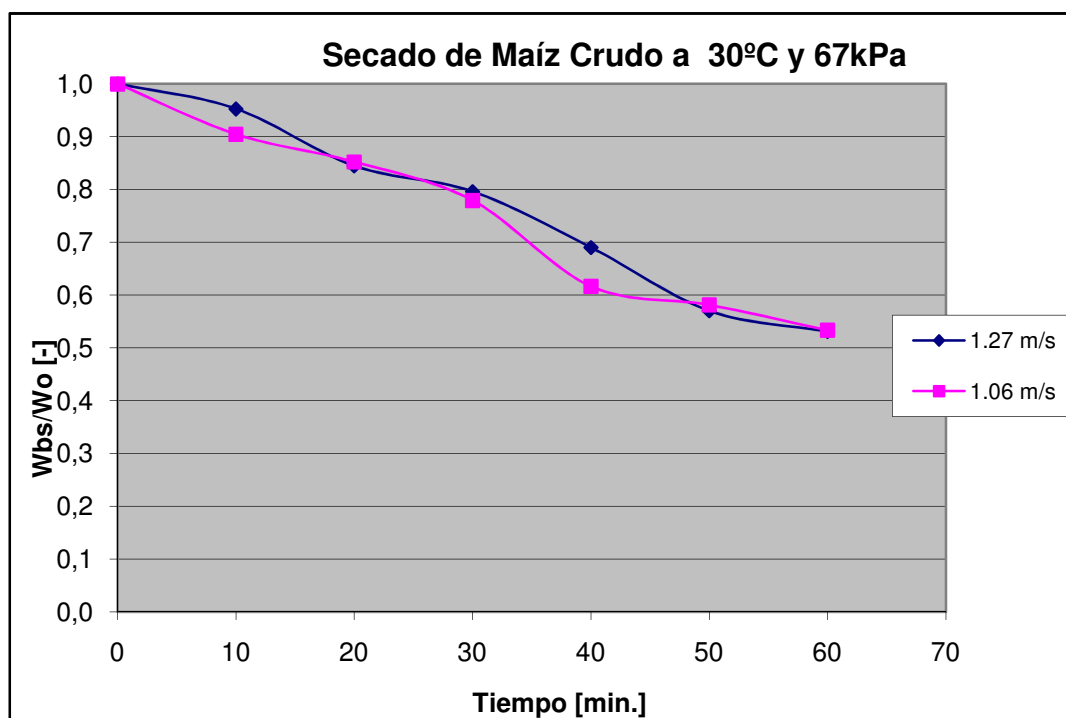


Figura 8.27 Efecto de la velocidad en la columna en el secado de granos de elote con 30°C y 67 kPa

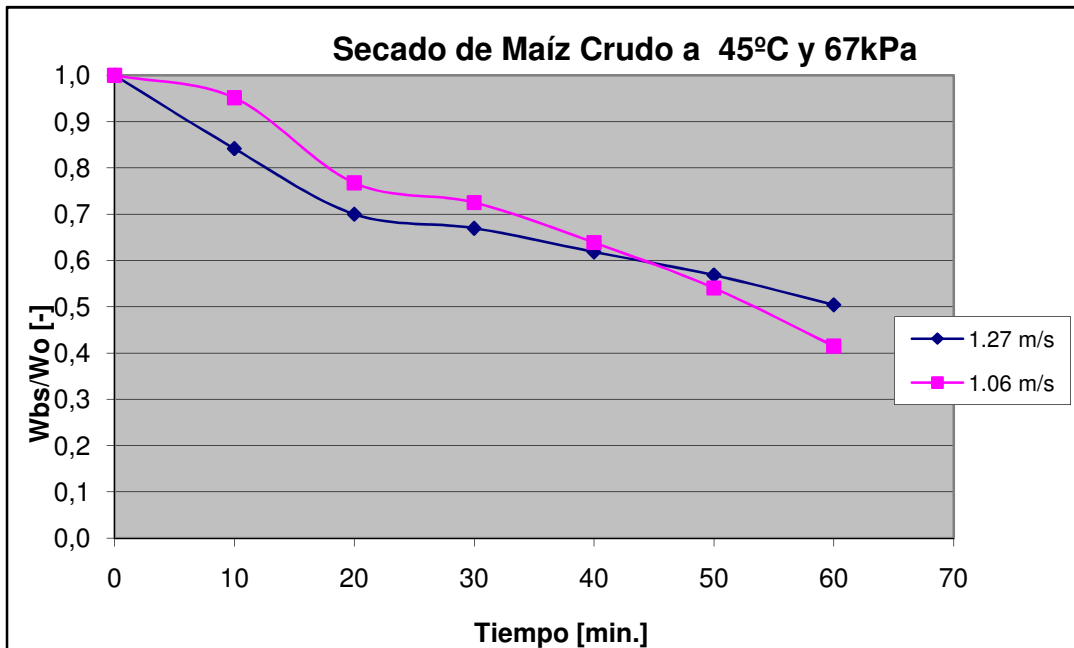


Figura 8.28. Efecto de la velocidad en la columna en el secado de granos de elote con 45°C y 67 kPa

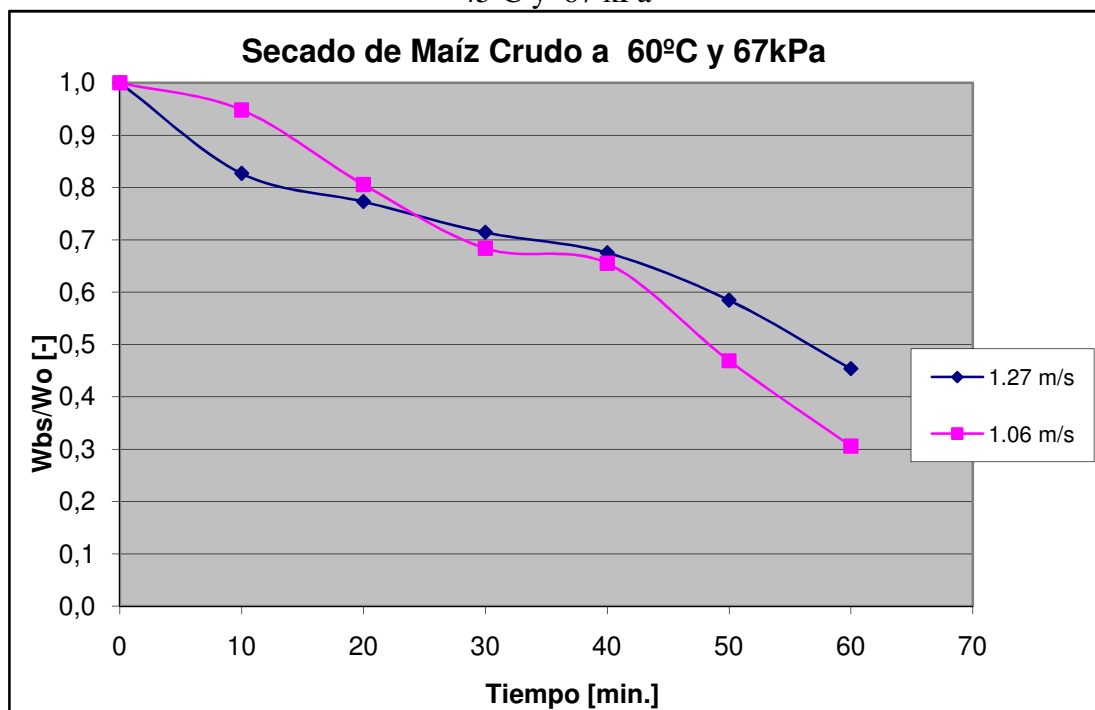


Figura 8.29. Efecto de la velocidad en la columna en el secado de granos de elote con 60°C y 67 kPa

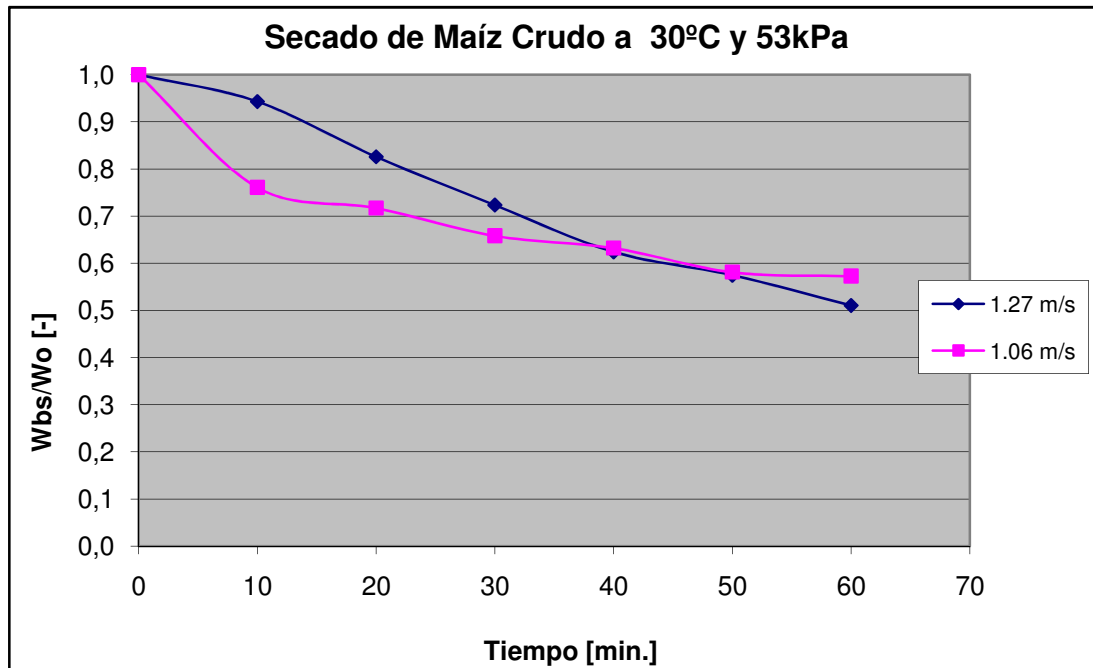


Figura 8.30. Efecto de la velocidad en la columna en el secado de granos de elote con 30°C y 53 kPa

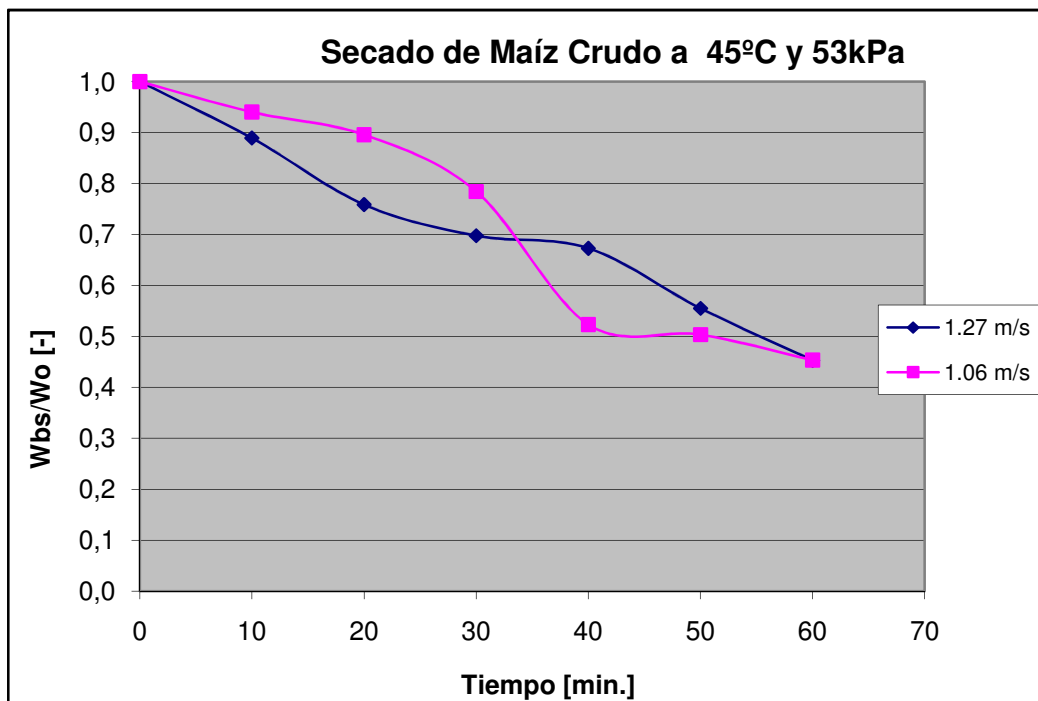


Figura 8.31. Efecto de la velocidad en la columna en el secado de granos de elote con 45°C y 53 kPa

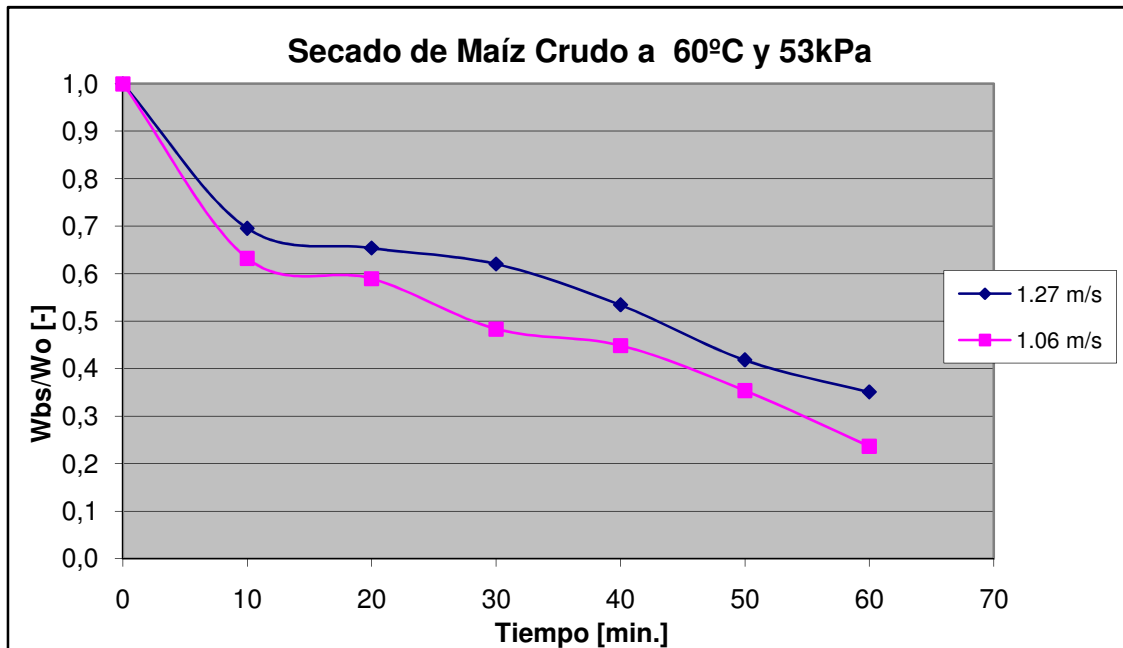


Figura 8.32. Efecto de la velocidad en la columna en el secado de granos de elote con 60°C y 53 kPa

8.4 Apreciaciones Generales

Cómo se puede observar en las gráficas casi en todas se sigue la tendencia que se esperaba, es decir a mayor temperatura y flujo de aire la remoción de humedad es mejor. Sin embargo en las últimas gráficas se observa que la diferencia entre velocidades en la columna no cambia de manera significativa, es más se puede notar que la segunda velocidad 1.06 m/s obtuvo una menor humedad que la 1.27 m/s, esto puede ser debido a que al trabajar con esta velocidad el tiempo que tarda en fluidizar es mayor y como se sabe la eficiencia de la bomba que genera vacío disminuye conforme avanza el tiempo; aunque es importante recalcar que las condiciones del lecho eran monitoreadas durante todo el proceso de secado.

Por otro lado de acuerdo con las mismas gráficas pero tomando en cuenta el trabajo realizado Torres (2004) es notorio que en las temperaturas mas altas y un mayor grado de vacío se obtiene humedades menores, es decir bajo estas condiciones el lecho fluidizado obtiene mejores resultados en un proceso de secado.

De la misma manera se realizaron las gráficas de la velocidad de secado (dC/dt), contra humedad(C), para observar el comportamiento de las partículas. Estas se muestran detalladamente en el apéndice F