

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

Te
UVV
INADU
M672
989
C.2



PROCESO Y SECADO
DE LA PINA ENDULZADA

LUCRECIA GOYZUETA GIORDANI

TRABAJO DE INVESTIGACION PRESENTADO
PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO EN INGENIERIA QUIMICA

GUATEMALA 1989

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

PROCESO Y SECADO
DE LA PINA ENDULZADA

LUCRECIA GOYZUETA GIORDANI

GUATEMALA 1989

PROCESO Y SECADO
DE LA PINA ENDULZADA

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se intentó desarrollar un producto nuevo en el mercado nacional, combinando técnicas de endulzado y secado. Se evaluó y comparó el proceso de secado de la piña en función de dos métodos de endulzado previo y se estudiaron los costos de producción para ambos métodos.

Se diseñaron los dos métodos de endulzado, uno por medio de un jarabe y el otro con azúcar granulada. Se llevó a cabo la experimentación por triplicado en días distintos, secando la piña ya tratada en un túnel de bandejas tipo batch, con ventilador de 1,300 rpm y una salida de aire de 6,250 pies cúbicos por minuto, calentado por la combustión de gas propano.

Con las mediciones y tabulación del peso de la piña a través del tiempo, se llevaron a cabo los cálculos correspondientes al estudio del secado.

Se encontró que, a las condiciones existentes, la humedad del sólido disminuye conforme el tiempo de secado aumenta. Al relacionar Velocidad de secado y Tiempo, o Velocidad de secado y Humedad, no se obtuvo ningún patrón general, debido principalmente a que la temperatura dentro del túnel no se logró mantener constante.

Económicamente hablando, el método de endulzado previo con azúcar resultó ser más conveniente, siendo su costo de Q 3.49/lb mientras que el costo del método con jarabe fue de Q7.65/lb. El tiempo de secado para la piña endulzada con azúcar fue de 11.04 horas en comparación con la piña endulzada con jarabe, que duró 9.54 horas. El producto final del método con azúcar retuvo más humedad y físicamente su superficie era granulosa.

CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	2
III. GENERALIDADES	3
A. PROCESO DEL SECADO	3
B. TIPOS DE MATERIALES	8
C. SECADO DE ALIMENTOS, LAS FRUTAS	10
1. LA PINA	12
IV. METODOLOGIA	14
A. EQUIPO	14
1. FIGURA # 1: Elevacion Secador	15
2. FIGURA # 2: Planta del Secador	16
B. PROCEDIMIENTO	17
1. TABLAS DE CARACTERISTICAS GENERALES	19
V. RESULTADOS Y DISCUSION	22
A. GRAFICAS	26
B. TABLAS DE RESULTADOS	46
VI. CONCLUSIONES	53
VII. RECOMENDACIONES	54
VIII. BIBLIOGRAFIA	55
APENDICE	56
A. DATOS ORIGINALES	57
B. DATOS CALCULADOS	63
C. CALCULO DE MUESTRA	69

LISTA DE GRAFICAS

GRAFICA	PAGINA
V.A.1 GRAFICA # 1: Humedad vrs Tiempo, Método 1, Prueba 1	26
V.A.2 GRAFICA # 2: Humedad vrs Tiempo Método 1, Prueba 2	27
V.A.3 GRAFICA # 3: Humedad vrs Tiempo Método 1, Prueba 3	28
V.A.4 GRAFICA # 4: Humedad vrs Tiempo Método 2, Prueba 1	29
V.A.5 GRAFICA # 5: Humedad vrs Tiempo Método 2, Prueba 2	30
V.A.6 GRAFICA # 6: Humedad vrs Tiempo Método 2, Prueba 3	31
V.A.7 GRAFICA # 7: Velocidad vrs Humedad Método 1, Prueba 1	32
V.A.8 GRAFICA # 8: Velocidad vrs Humedad Método 1, Prueba 2	33
V.A.9 GRAFICA # 9: Velocidad vrs Humedad Método 1, Prueba 3	34
V.A.10 GRAFICA # 10: Velocidad vrs Humedad Método 2, Prueba 1	35
V.A.11 GRAFICA # 11: Velocidad vrs Humedad Método 2, Prueba 2	36
V.A.12 GRAFICA # 12: Velocidad vrs Humedad Método 2, Prueba 3	37
V.A.13 GRAFICA # 13: Velocidad vrs Tiempo Método 1, Prueba 1	38
V.A.14 GRAFICA # 14: Velocidad vrs Tiempo Método 1, Prueba 2	39
V.A.15 GRAFICA # 15: Velocidad vrs Tiempo Método 1, Prueba 3	40
V.A.16 GRAFICA # 16: Velocidad vrs Tiempo Método 2, Prueba 1	41
V.A.17 GRAFICA # 17: Velocidad vrs Tiempo Método 2, Prueba 2	42
V.A.18 GRAFICA # 18: Velocidad vrs Tiempo Método 2, Prueba 3	43

LISTA DE TABLAS

TABLA		PAGINA
IV.B.1.1	TABLA # 1: Características de Métodos Prueba 1	19
IV.B.1.2	TABLA # 2: Características de Métodos Prueba 2	20
IV.B.1.3	TABLA # 3: Características de Métodos Prueba 3	21
V.B.1	TABLA # 4: Resultados de Pruebas Método 1	46
V.B.2	TABLA # 5: Resultados de Pruebas Método 2	47
APENDICE		
A.1	TABLA # 6: Método 1, Prueba 1	55
A.2	TABLA # 7: Método 1, Prueba 2	56
A.3	TABLA # 8: Método 1, Prueba 3	57
A.4	TABLA # 9: Método 2, Prueba 1	58
A.5	TABLA # 10: Método 2, Prueba 2	59
A.6	TABLA # 11: Método 2, Prueba 3	60
B.1	TABLA # 12: Método 1, Prueba 1	61
B.2	TABLA # 13: Método 1, Prueba 2	62
B.3	TABLA # 14: Método 1, Prueba 3	63
B.4	TABLA # 15: Método 2, Prueba 1	64
B.5	TABLA # 16: Método 2, Prueba 2	65
B.6	TABLA # 17: Método 2, Prueba 3	66

I. INTRODUCCION

El trabajo que se presenta a continuación trata sobre el secado de la piña endulzada previamente.

El propósito del mismo, fue comparar dos métodos de endulzado y encontrar el más conveniente para un estudio posterior sobre el proceso del secado de la piña, así como crear un producto nuevo en el mercado.

Se trabajó con un túnel de secado de bandejas tipo batch, con una salida de aire de 6,250 pies cúbicos por minuto.

A partir de los datos experimentales, se obtuvieron curvas de Humedad vrs. Tiempo, Velocidad de secado vrs. Humedad Media, y Velocidad de Secado vrs. Tiempo. Se calcularon también resultados del rendimiento de la piña como producto final y datos de costos de producción para ambos métodos.

Con el presente trabajo, se trata de proporcionar al lector una idea general sobre el tema, quien se puede beneficiar de él sin ahondar en su estudio y a la vez proporcionar la información base para aquél que desee profundizar más.

II. OBJETIVOS

1. Desarrollar un producto nuevo en el mercado nacional, combinando técnicas de endulzado y secado.
2. Evaluar y comparar el proceso de secado de la piña en función de dos métodos de endulzado previo.
3. Estudiar los costos de producción de ambos métodos y encontrar el más económico.

III. GENERALIDADES

A. PROCESO DE SECADO

Durante una operación de secado se lleva a cabo la transferencia de un líquido desde un sólido húmedo hasta una fase gaseosa no saturada. Comúnmente se dice que el secado es la remoción de humedad de una sustancia.

Un sólido húmedo se puede secar por evaporación de la humedad en una corriente gaseosa, o bien sin el beneficio del gas para llevarse el vapor. Cuando se logra un proceso de evaporación de una solución por medio de la ebullición sin haber un gas presente para acarrear con la humedad, el proceso no es considerado como secado. (2)

Por ejemplo, en el proceso de preparación de leche evaporada, pasta de tomate y sopas condensadas, se remueve una parte de agua del producto, pero dicho proceso no es considerado como un secado.

Se debe tener una corriente gaseosa para conocer el proceso como secado.

El estudio del secado y el cálculo del tamaño o condiciones del secador a usar dependen mucho del material a tratar.

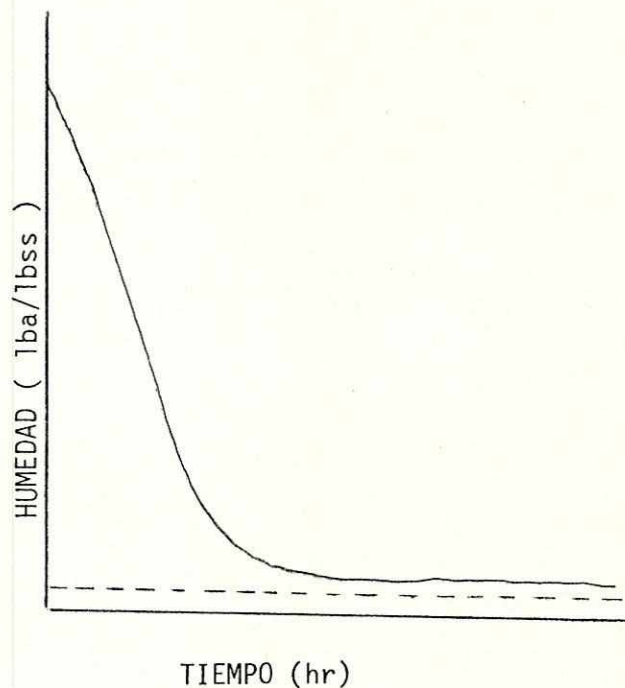
Además, hay que tomar en cuenta los factores físicos que afectan al producto como la temperatura, velocidad de aire, geometría y otros. (5)

Puede mencionarse el caso de la madera. Si el secado de ésta no es el correcto, la humedad puede emigrar hacia el aire secante por difusión a través de las paredes de las fibras, proceso que es muy lento y hará que se seque antes la superficie, ocasionando fisuras y alabeos.

Un sólido seco es un producto valioso; su forma, color, estabilidad, adhesividad y su facilidad de venta, dependen grandemente del proceso de secado al cual ha sido sometido.

Cuando se quiere estudiar el efecto del secado en cierto material de interés, a ciertas condiciones operacionales, se lleva a cabo un secado experimental. Al llevar a cabo éste, se consideran en el estudio las propiedades físicas del material antes y después del secado y se relacionan las variables de contenido de humedad y tiempo de secado para estudiar su comportamiento. Estos datos se grafican humedad en base seca versus tiempo de

secado. Al obtener la curva, se encuentra el caso de cómo un sólido seco va perdiendo humedad, primero por evaporación de un área saturada con disminución de área gradual, y por último, por evaporación de la humedad en el interior del sólido. El comportamiento general, se ejemplifica con la siguiente gráfica:

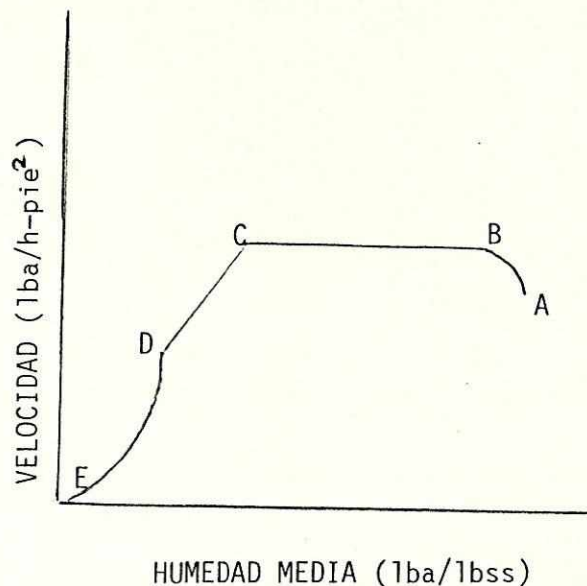


Esta curva indica claramente que a medida que el tiempo de secado avanza, la humedad en el sólido disminuye. (2)

En la práctica, puede tomar unas 4 hoas remover un 90% de humedad en el producto, pero puede tomar otras 4 horas la remoción del restante 10% de humedad.

La humedad cero nunca se logra en condiciones prácticas de operación. (5)

Para estudiar mejor este proceso, se diferencia esta curva y se encuentra la velocidad de secado y la humedad del material en base seca, con lo que al graficar velocidad de secado vrs. humedad se obtiene una curva mucho más interesante, que en comportamiento generalizado se observa así:



Esta curva ilustra que el proceso de secado no es continuo o en otras palabras, no se comporta de igual forma siempre. No gobierna un solo mecanismo. Al secar un sólido húmedo con un gas a una temperatura y humedad fijas, siempre aparece un patrón general. Al haber contacto entre la muestra y el medio de secado, la temperatura del sólido se ajusta hasta alcanzar un estado estable. La temperatura del sólido y la velocidad de secado pueden aumentar o disminuir para alcanzar esa estabilidad. (2)

La forma de la curva típica varía con el tipo de material, el tipo de secador, condiciones de secado como temperatura, humedad, velocidad de aire, dirección de aire, grueso del material y otros factores. (5)

La primera parte de la curva, representada por el segmento AB, es un período de calentamiento del sólido. Es un período inestable donde la temperatura del sólido no ha alcanzado la estabilidad con la del medio. Dependiendo del sólido, esta forma presentada para el segmento AB puede variar significativamente.

Cuando se logra la estabilidad, la temperatura del sólido es igual a la de bulbo húmedo del medio de secado. Las temperaturas dentro del sólido tienden a igualarse también, y al ocurrir esto la velocidad de secado permanece

constante. Este período se conoce como Período de Velocidad Constante, y está representado por el tramo BC. En este tiempo, la superficie expuesta está saturada de agua y la cantidad de humedad que se transfiere al gas desde ésta se ve reemplazada continuamente por el movimiento del líquido desde el interior del material. La velocidad de este movimiento de humedad del interior hacia la superficie varía, dependiendo de la estructura del sólido, aunque este movimiento es lo suficientemente rápido para mantener la condición de saturación en la superficie, y la velocidad de secado está controlada por la velocidad de transferencia de masa a la superficie que se está evaporando.

Se sabe que los sólidos que tienen espacios vacíos abiertos, relativamente grandes, tienen un movimiento que está regido por la tensión superficial y las fuerzas gravitacionales dentro del sólido. Con los que tienen espacios pequeños, fibrosos o amorfos, el movimiento del líquido se lleva a cabo por difusión a través del sólido.

El secado en sí, se lleva a cabo por difusión de vapor de la superficie saturada hacia el ambiente. La temperatura en la superficie saturada se mantiene constante, no importando el sólido, ya que el calor que llega a la superficie es llevado por la humedad que viene de la superficie caliente.

El período de velocidad constante se termina cuando el sólido alcanza un contenido crítico de humedad (punto C en la gráfica).

Después de alcanzar un contenido crítico de humedad, la temperatura de la superficie aumenta y la velocidad de secado decae con rapidez. Este período, llamado de Velocidad Descendente, representado por el segmento CD en la curva, y el Segundo Período de Velocidad Descendente, señalado como DE. El valor de la humedad crítica depende de la velocidad de secado, el grueso del material, los factores que influyen en el movimiento de la humedad, y sobre todo, de la historia del secado. Se ha encontrado que la humedad crítica aumenta al aumentar la velocidad de secado y al aumentar el grosor de la masa a secar.

Lo que ocurre aquí es que la superficie empieza a agotarse de líquido, ya que el movimiento de líquido hacia la superficie es menor a la velocidad de transferencia de masa desde la superficie, y llega a un punto donde el área de superficie saturada de líquido ya no es significativa. La parte superficial que está saturada se seca entonces por transferencia convectiva de calor desde la corriente de gas secante y la transferencia de masa hacia la misma. El vapor en este momento se difunde desde el interior hasta la superficie y continúa la difusión a la corriente de gas.

Pero este paso es muy lento en comparación con la transferencia convectiva desde la superficie saturada.

El Segundo Período comienza cuando al seguirse secando, se llega a un punto donde la superficie evaporada ya no está saturada, y la evaporación entonces se mueve hacia el sólido. Al ir disminuyendo la humedad, la trayectoria de difusión del calor y masa crece más y se llega a una humedad de equilibrio, donde ya no habrá más secado. Este punto (E), el último en la curva, se alcanza cuando la presión de vapor en el gas de entrada de secado es igual a la presión de vapor sobre el sólido. Esta humedad de equilibrio es el contenido más bajo de humedad que puede obtenerse en el sólido a tratar, bajo las condiciones de secado que se usaron. (6)

Esta humedad definitiva se logra a una temperatura constante, con lo que al variar esta, variará la concentración de aquélla. Esta humedad depende de la naturaleza de los sólidos. Por ejemplo, en materiales orgánicos, como madera, papel, jabón y alimentos, la humedad varía en un intervalo amplio, mientras que en los inorgánicos, porosos, no higroscópicos que son insolubles en el líquido y no tienen propiedades de adsorción, las humedades de equilibrio están cercanas a cero, no importando la temperatura y humedad del ambiente. Además, depende del tamaño de la partícula y de la superficie específica. (2)

Cabe mencionar también que un mismo sólido, al estar humedecido con distintos líquidos, se comportará de distinta manera y su humedad en equilibrio variará. (4)

B. TIPOS DE MATERIALES

Los materiales, según su comportamiento durante el secado, se pueden dividir en dos grupos:

a) GRANULARES O CRISTALINOS: Tienen humedad en los espacios entre partículas o en los poros de poca profundidad de superficies abiertas. El movimiento de la humedad en estos es libre y ocurre por fuerzas gravitacionales y de tensión superficial. En estos materiales se observa que el período de velocidad constante continúa con valores de humedad bajos. Estos sólidos son en su mayoría, inorgánicos y no se ven afectados por el proceso de secado. Esto da la ventaja de lograr un proceso económico, al no tener pérdidas del material o deterioro de las propiedades del mismo.

Como ejemplos de éstos están las rocas trituradas, amarillo de cromo, catalizadores, fosfatos y otros.

b) ORGANICOS: Son materiales amorfos, fibrosos o en forma de gel. Estos retienen humedad como parte integral de la estructura sólida o se queda atrapada dentro de las fibras o poros finos del sólido. El movimiento de la humedad en estos materiales es lento y se presenta por difusión del líquido a través de la estructura sólida. Presentan períodos muy cortos de velocidad constante. La mayor parte del proceso de secado está controlado por la velocidad de difusión del líquido a través del sólido. La parte global del secado ocurre durante el segundo período de velocidad descendente. (4)

Con estos materiales se obtienen humedades críticas un poco altas. Lo que ocurre es que gran cantidad de agua se mantiene atrapada en la estructura, y la presión de vapor se reduce mucho. Las capas de la superficie tienden a secarse antes que el interior, pues es difícil que salga esta humedad. Al tener una velocidad de secado alta, el material se puede desmoronar al originar cambios de humedad en la muestra. Otras veces puede crear capas impermeables que eviten el secado interno, y así se deteriore el sólido. Por ello, las condiciones deben escogerse con cuidado, teniendo en cuenta que estas no afecten la calidad del producto y la economía del proceso.

Como ejemplo de estos materiales están los huevos, detergentes, gomas, cereales, almidón, sangre de animales, frutas y demás alimentos. (6)

Algunos alimentos son llevados a porcentajes de humedad entre 1 y 5%, para evitar cambios en sus propiedades físicas. Poseen también estabilidad de almacenamiento a temperatura ambiente, por espacio de uno o más años. (5)

C. SECADO DE ALIMENTOS-LAS FRUTAS

La razón principal por la cual se deshidratan los alimentos es por preservación. Entre otras razones están el reducir el tamaño en bulto y economizar en el transporte y almacenaje de los mismos pues se trata de volúmenes menores. (5)

Las frutas deshidratadas se usan principalmente en productos de panadería, salsas y para comer como refrigerio. En países donde no hay fruta fresca a lo largo del año, se consume la fruta deshidratada en abundancia. En operaciones militares éstas frutas secas han simplificado los problemas de acarreo de alimentos, peso y espacio.

El precio de las frutas deshidratadas es sensible a la cosecha y al método, y por ello se ha estudiado a fondo para crear mejores métodos de secado de frutas. (7)

Los alimentos suelen subdividirse en partes antes de ser secados. El objeto de esto es lograr que la velocidad de transferencia de calor y masa aumente al tener un área superficial mayor que está en contacto con el medio de secado. Al mismo tiempo, se pretende tener una mayor superficie por donde puede salir la humedad.

Los alimentos poseen en su tejido natural, estructuras celulares que contienen humedad dentro de sus células. Al estar vivo el tejido, las paredes celulares y las membranas retienen la humedad. Al morir el tejido, estas membranas se vuelven permeables a la humedad, lo mismo que al ser cocinadas. Un alimento cocinado se secará más rápidamente que uno fresco.

Aunque las células del tejido estén muertas, éstas retienen cierto grado de elasticidad, se arrugan o estiran dependiendo el esfuerzo al que estén sometidas. Si este esfuerzo es excesivo, su límite de elasticidad se excede y no regresan a su forma original al removerse el esfuerzo.

Se ha encontrado que al tener alimentos con alto contenido de azúcar, el tiempo de secado es mayor a los que lo tienen en contenido bajo, debido a que el soluto, el azúcar, se concentra más en la humedad retenida, con lo que crea un descenso en el secado.

En alimentos con cierto contenido de azúcar, se ha encontrado que al secarse la humedad escapa por las paredes

celulares y las membranas por difusión, dejando el soluto en el fondo. En otros casos se ha encontrado que la humedad viaja con todo y soluto por los capilares hasta la superficie, donde se evapora y deja el soluto depositado. Físicamente, esto se observa en productos finales duros.

También se ha visto que algunas frutas, al estar almacenadas por cierto tiempo, forman en su superficie una granulación que se conoce como azucaramiento. Esta formación da una apariencia no deseada, pues se asemeja al crecimiento de colonias de hongos. Además, afecta la calidad, pues imparte una textura arenosa o granulosa. Este problema se ha minimizado, vendiendo estas frutas secas con humedad alta. (7)

Las frutas deshidratadas deben guardarse en materiales a prueba de humedad. La eficacia de estos materiales depende de la sensibilidad de absorber humedad.

Se ha encontrado que la velocidad de transmisión de vapor en ciertos materiales, expresada en gramos que lo atraviesan en 24 horas, a 100 F, con humedad relativa de 90%, es la siguiente (1):

MATERIAL	VELOCIDAD		
1. Sarán	1.5 - 5		
2. Celofán			
-laqueado	3 - 15		
-con capa polímero	8 - 14		
-capa de politilón	18 y mas		
3. Polietileno			
-baja densidad	18		
-densidad media	8 - 15		
-densidad alta	8 - 10		
4. Con polipropileno	8 - 10		
5. Con poliéster	15		
6. Con poliéstireno	100 y mas		
7. Con acetato		muy	alto

C.1 LA PIÑA

En este trabajo, se trató la PIÑA tipo Cayena, fruta tropical que se puede cultivar desde el nivel del mar hasta elevaciones de 1,525 metros de altura, intervalo que cubre áreas semi áridas y áreas muy húmedas.

Existe gran variedad de piñas, siendo las más importantes las siguientes:

a) CAYENA LISA: De buena calidad para envasado y tiene mayor aceptación comercial que otras variedades por su magnífica calidad. Sus frutos son de forma cilíndrica, más o menos de 2 kg de peso; la pulpa es de color amarillo o amarillo intenso y las hojas tienen espinas en la punta.

b) ESPAÑOLA ROJA: Puede transportarse grandes distancias sin muchos problemas. Sus frutos son pequeños, ovalados, de 1 kg de peso aproximadamente, con color de pulpa amarillo pálido. Es muy recomendable para exportación en fresco.

c) PILON DE AZUCAR: Tiene una pulpa blanca y es muy apreciada, aunque no es buena para transportarla grandes distancias. Se recomienda para mercado local.

d) MONTUFAR: Tiene una pulpa amarilla, es de forma cónica y pesa entre 1 y 1.5 kg. Resiste muy poco al transporte. Es de buena calidad para el consumo fresco.

En Guatemala, la piña se cosecha principalmente en los meses de mayo a agosto, pero todo el año se puede encontrar a la venta. Se cosecha casi madura para consumo local, y lo único que no tolera son heladas.

Actualmente, Hawai, Malaya, Cuba y Puerto Rico cultivan la piña a escala de exportación, y en Centro América se cultiva a escala comercial y semi-comercial para exportación y consumo interno. (3)

La piña deshidratada se deja usualmente en contenidos de humedad entre el 30 al 35%. (1) El jugo de ésta puede ser deshidratado también y convertirse en polvo. Este polvo es higroscópico, y se reconstituye con agua para producir una bebida de piña instantánea.

Las temperaturas altas de deshidratación causan una pérdida de sabor y color, y aunque existen tratamientos para evitar el cambio de color, siempre varía un poco.

Para deshidratar la piña se debe seleccionar esta, cuando está madura y no lastimada, de primera clase. Se lava con agua fría, se pela, se le quitan los ojos, se corta, se le hace algún tipo de tratamiento previo y finalmente se seca. (1)

IV. METODOLOGIA

A. EQUIPO:

El secador usado en este experimento fue un secador de bandejas tipo batch, compuesto por un túnel de secado con capacidad de 5 carros, cada uno con 60 bandejas.

Cada bandeja está hecha de un aro de metal, con malla plástica como fondo, unida al aro con hilo nylon.

El túnel tiene un ventilador de 1,300 rpm con un volumen de aire en la salida de 6,250 pies cúbicos/minuto, y posee una polea de 8 pulgadas.

Se encontró que la velocidad de salida del aire, en el túnel, disminuye conforme la distancia aumenta, de acuerdo con la tabla siguiente de mediciones realizadas:

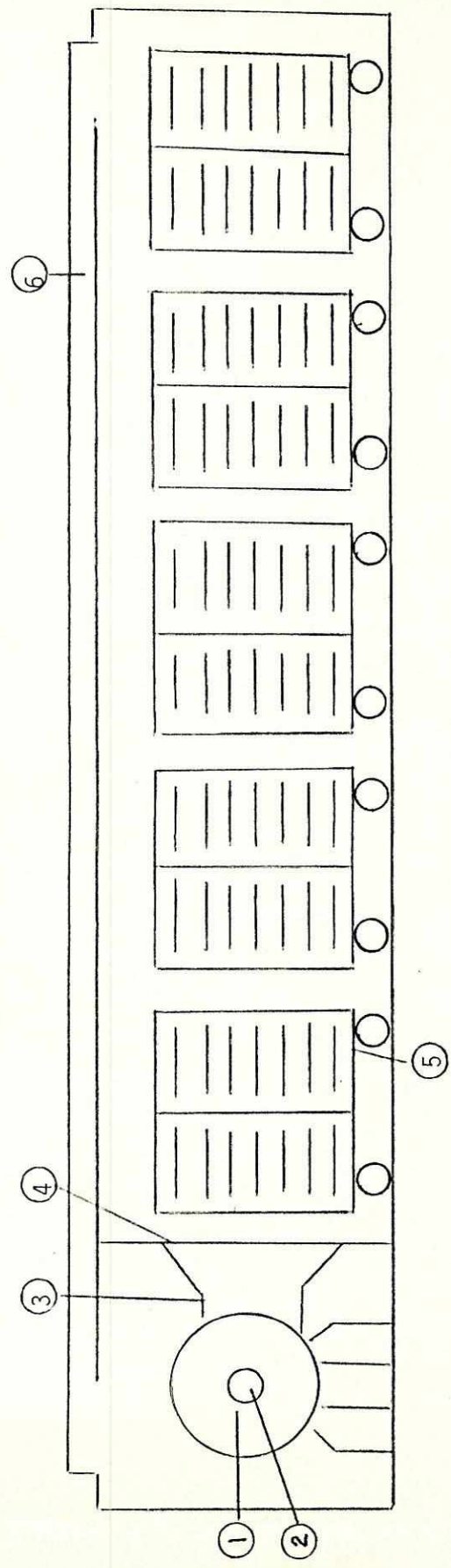
DISTANCIA (pies)	VELOCIDAD (pie/min)
0.0	500
5.58	135
11.48	62
16.08	39
21.33	37
26.25	8

A continuación, se presentan figuras esquemáticas que representan el túnel de secado utilizado:

A. MATERIAL Y EQUIPO

1. FIGURA # 1

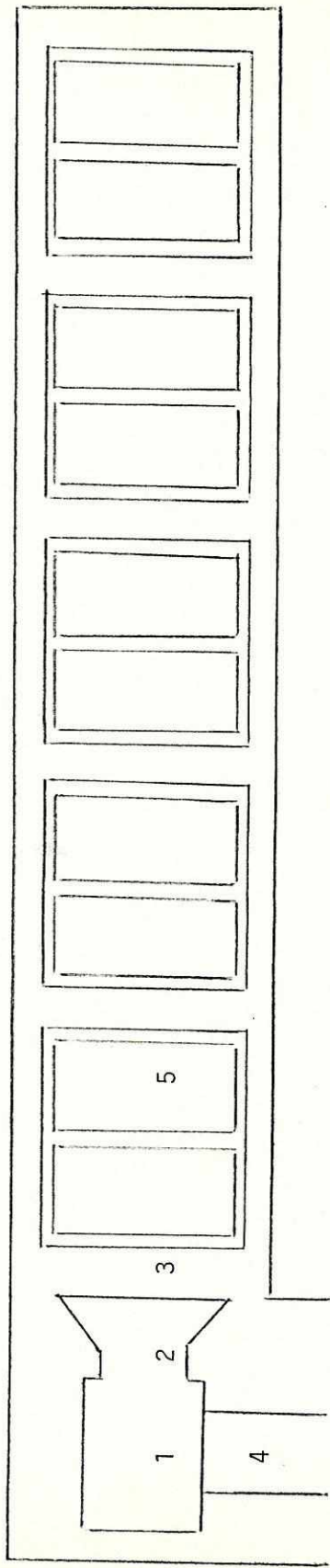
ELEVACION DEL TUNEL DE SECADO



- 1. VENTILADOR
- 2. QUEMADOR
- 3. ESTRANGULACION
- 4. LAMINA PERFORADA
- 5. CARROS
- 6. RECIRCULACION DE AIRE

2. FIGURA # 2

PLANTA DEL TUNEL DE SECADO



- 1. VENTILADOR
- 2. ESTRANGULACION
- 3. LAMINA PERFORADA
- 4. QUEMADOR
- 5. CARROS

B. PROCEDIMIENTO:

Para llevar a cabo el proceso experimental de endulzado y secado de la piña se siguieron los siguientes pasos:

1. Se diseñaron dos métodos de endulzado de la piña, previo a su secado. Dichos métodos se describen a continuación:

a) METODO 1:

-Se pesaron dos libras de agua y una libra de azúcar, para hacer el jarabe.

-Se calentó esta solución en una olla hasta llegar a los 180 F.

-Al alcanzar esta temperatura, se colocó la piña en trozos de 1cm X 1cm X 1cm durante 2 minutos, agitando constantemente.

-Se sacaron los trozos de piña, dejando escurrir la solución y sumergiéndolos inmediatamente en agua caliente, a una temperatura de 100 F, por espacio de 1 minuto.

-Se sacaron los trozos de piña, dejándolos escurrir y poniéndolos en la bandeja, bien distribuidos, listos para meter al secador.

b) METODO 2:

-Se metió la piña en trozos de 1cm X 1cm X 1cm, en agua en ebullición, por espacio de 2 minutos.

-Se sacaron los trozos, dejándolos escurrir y, sobre una mesa muy limpia, se espolvorearon con azúcar, utilizando la misma cantidad que se usó en la solución del método 1, que será la necesaria para cubrir todas las superficies del trozo de piña.

-Después de 40 minutos de reposo se colocaron los trozos directamente a la bandeja para secarlos.

Ambos métodos se trabajaron en triplicado.

2. Una vez definidos los métodos, se procedió a fijar las fechas de trabajo para las distintas pruebas, las cuales fueron el 5, 6 y 10 de abril de 1989. Un día antes a cada fecha, el proveedor de piñas llevó la cantidad pedida, de 10 piñas.

3. En cada día escogido, se procedió a partir cada piña y quitarle cáscara y corazón, y cortarla en trozos de aproximadamente 1 X 1 X 1 cm. Ya cortados se siguieron los pasos descritos en el método 1 y en el método 2, utilizando

la misma cantidad de piña en ambos métodos.

4. Una vez preparados (endulzados) los trozos, se procedió a introducirlos en el túnel de secado, en el cual se usaron únicamente cuatro bandejas, fijadas al centro, del lado más cercano a la salida del aire. La muestra experimental en sí se puso en pequeñas bandejas, fáciles de sacar para ser pesadas fuera del túnel, siempre, estando éstas en las mismas bandejas donde se encontraba el resto de la piña. La llave del gas se abrió completamente para lograr la mayor temperatura posible que según mediciones, ha llegado a ser de 155 F.

5. Cada cierto tiempo, sin espacio constante entre medición y medición, se procedió a sacar la bandeja de cada método, lo más rápido posible y pesarla en una balanza que se encontraba fuera del túnel. Este proceso se continuó hasta que después de consecutivas mediciones de peso, este no varió más, con lo que se dejó enfriar la piña y se pesó. Luego se empacó el producto terminado en bolsa de polietileno, que se sellaron.

6. Después de realizados los dos métodos, en tres distintos días, se procedió a tabular los datos, llevar a cabo los cálculos con gráficas y tablas, y realizar el informe presentado.

A continuación, se presentan las tablas 1, 2 y 3, que indican las características generales de los dos métodos en sus diferentes corridas: prueba 1, prueba 2 y prueba 3.

1. TABLAS DE CARACTERISTICAS

TABLA # 1
 CARACTERISTICAS DE METODOS 1 Y 2
 PRUEBA 1

CONDICIONES	METODO 1	METODO 2
PESO DE LA BANDEJA	0.44 lb	0.43 lb
AREA DE LA BANDEJA	0.844 pie ²	0.844 pie ²
PESO DE PINAS ENTERAS	21 lb	20 lb
PESO DE CASCARAS	4.5 lb	5 lb
PESO DE DESPERDICIO	6 lb	6.5 lb
PESO DE BANDEJA MAS PINA PARA SECAR	1.25 lb	1.25 lb
HUMEDAD FINAL MEDIDA	.18 lba/lbss	.20 lba/lbss

TABLA # 2
 CARACTERISTICAS DE METODOS 1 Y 2
 PRUEBA 2

CONDICIONES	METODO 1	METODO 2
PESO DE LA BANDEJA	0.42 lb	0.45 lb
AREA DE LA BANDEJA	0.844 pie ²	0.844 pie ²
PESO DE PINAS (5)	8 lb	9 lb
PESO DE CASCARAS	2.5 lb	2.5 lb
PESO DE DESPERDICIO	3 lb	2.5 lb
PESO DE BANDEJA MAS PINA PARA SECAR	0.97 lb	1.03 lb
HUMEDAD FINAL MEDIDA	17%	21%

TABLA # 3
 CARACTERISTICAS DE METODOS 1 Y 2
 PRUEBA 3

CONDICIONES	METODO 1	METODO 2
PESO DE LA BANDEJA	0.44 lb	0.44 lb
AREA DE LA BANDEJA	0.844 pie ²	0.844 pie ²
PESO DE PINAS ENTERAS	6.88 lb	6.5 lb
PESO DE CASCARAS	1.25 lb	0.625 lb
PESO DE DESPERDICIO	1.84 lb	1.45 lb
PESO DE BANDEJA MAS PINA PARA SECAR	1 lb	1 lb
HUMEDAD FINAL MEDIDA	.185 lba/lbss	.215 lba/lbss

V. RESULTADOS Y DISCUSION

A. COMPORTAMIENTO DURANTE EL SECADO / GRAFICAS DE SECADO

A través de las curvas de HUMEDAD VERSUS TIEMPO, gráficas # 1 a 6 logradas para los dos métodos ensayados, puede verse que en todas ellas se obtuvo el comportamiento típico para un proceso de secado. A medida que el tiempo de secado avanza, la humedad disminuye, lo cual da una primera idea de que el proceso sí funcionó.

Profundizando más en el proceso, se obtuvieron las Gráficas 7 a 12 de VELOCIDAD DE SECADO VERSUS HUMEDAD, donde se ve claramente que dichas curvas no se asemejan a la teórica, ni tratándose del mismo método. (Método 1, Gráficas 7 a 9, y Método 2, Gráficas 10 a 12). Al tratarse de tres pruebas distintas para un mismo método, (triplicado) se buscó encontrar una concordancia y confiabilidad en los resultados.

Se sabe que al secar un sólido húmedo con un gas a una temperatura y humedad fijas, siempre existe un patrón general.(2) Al tratarse del mismo método, debería de haber condiciones iguales o al menos parecidas, y es aquí donde está el primer fallo del proceso experimental. La temperatura, parámetro que debió permanecer constante, no lo estuvo nunca, como indica la siguiente tabla, obtenida de los datos medidos en las Tablas 6,7 y 8, que se encuentran en el Apéndice A, para el Método 1:

	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
A los +/- 130 min.	130 F	100 F	125 F
Al final del secado	140 F	140 F	100 F

Con estas variables no constantes, no se puede obtener un patrón general para las tres pruebas de un mismo método, sino únicamente ver que se trata de tres pruebas a condiciones diferentes. Debemos considerar, entonces, cada prueba en forma individual.

Se podría pensar también que si la temperatura promedio del secado total es igual o muy parecida, entre las pruebas, el proceso en sí se debería comportar en forma parecida, pero tenemos que dicha temperatura tampoco fue exactamente igual:

TEMPERATURAS PROMEDIO

	METODO 1	METODO 2
PRUEBA 1	139.69 F (59.83 C)	141.25 F (60.69 C)
PRUEBA 2	121.33 F (49.63 C)	129.61 F (54.23 C)
PRUEBA 3	120.00 F (48.89 C)	116.56 F (46.98 C)

Otra dificultad en estas comparaciones es el hecho de que el sólido no puede tener un comportamiento patrón debido a que la temperatura está variando constantemente dentro de una misma prueba, por lo que el sólido no logra estabilizarse. Esto hace difícil lograr un patrón general y explica por qué las gráficas 7 a 12 no poseen una forma estable, sino variaciones de punto a punto tan grandes.

Las variaciones de temperatura se atribuyen a que el túnel de secado no posee un control de temperatura, no se puede mantener una temperatura deseada. El aire que entra al túnel se calienta con un quemador de gas, alimentado por gas propano. La presión del tanque de gas varía conforme se va vaciando y conforme el clima, con lo que la cantidad de gas y la presión a la que llega al quemador, varía grandemente. Esto hace que la llama que calienta el aire también varíe, calentándolo más o menos al entrar al secador, con lo que la temperatura que se lee dentro del túnel varía.

Para tener un buen proceso de secado, donde se puedan obtener Curvas de VELOCIDAD DE SECADO VERSUS HUMEDAD MEDIA, con un comportamiento típico, debemos tener un control de temperatura para poder fijarla.

Además, la humedad y el flujo másico de aire son variables que también deben mantenerse bajo control, cosa que tampoco se logró en los experimentos realizados, principalmente debido al diseño del equipo utilizado.

Recordemos que al empezar el secado, la temperatura del sólido se ajusta hasta alcanzar un estado estable. La temperatura del sólido y la velocidad de secado pueden aumentar o disminuir para alcanzar esta estabilidad. (2) En el caso estudiado, puede verse que en las mismas gráficas, 7 a 12, inicialmente hay un comportamiento extraño, pues el sólido está tratando de estabilizarse, y como en todas las pruebas las temperaturas eran distintas, el patrón puede variar de una a otra, con lo que el primer segmento de las curvas obtenidas se puede aceptar como normal.

Una vez alcanzada la estabilidad, el material debía comportarse en forma normal y constante, cosa que no se logró en el experimento en donde la velocidad de secado varió de punto a punto. Se puede notar en ciertas gráficas, como en la #8, (Prueba 2 del Método)1, que hay un segmento recto, el cual pertenece a tres puntos (Tabla #3) que tienen una misma temperatura, de 100 F, con lo que a condiciones estables, sí se logra una velocidad de secado constante. En esta misma gráfica, se observa que después de esta estabilización viene una variación donde la velocidad decae, a la misma temperatura, con lo que se demuestra el período de velocidad descendente. Este período se puede observar claramente, también, en la Gráfica #7, unos puntos que enfocan la velocidad de secado cada vez menor. Estos puntos corresponden a temperaturas estables entre 150-155 F, como se puede ver en la Tabla #1.

En la Gráfica #11, se observa un comportamiento más estable. Al ver en la Tabla #9, (Método 2, Prueba 2, Apéndice B), se observa que al final de esta prueba se mantuvo la temperatura a 140 F. La Gráfica # 11 de dicha tabla, demuestra que en realidad la velocidad de secado fue disminuyendo, siempre con algunas variaciones pero no tan grandes.

Las gráficas 13 a 18 son otra forma de representar el proceso obtenido. El tipo de gráfica de VELOCIDAD DE SECADOR VRS. TIEMPO indica cuánto dura cada período de

25

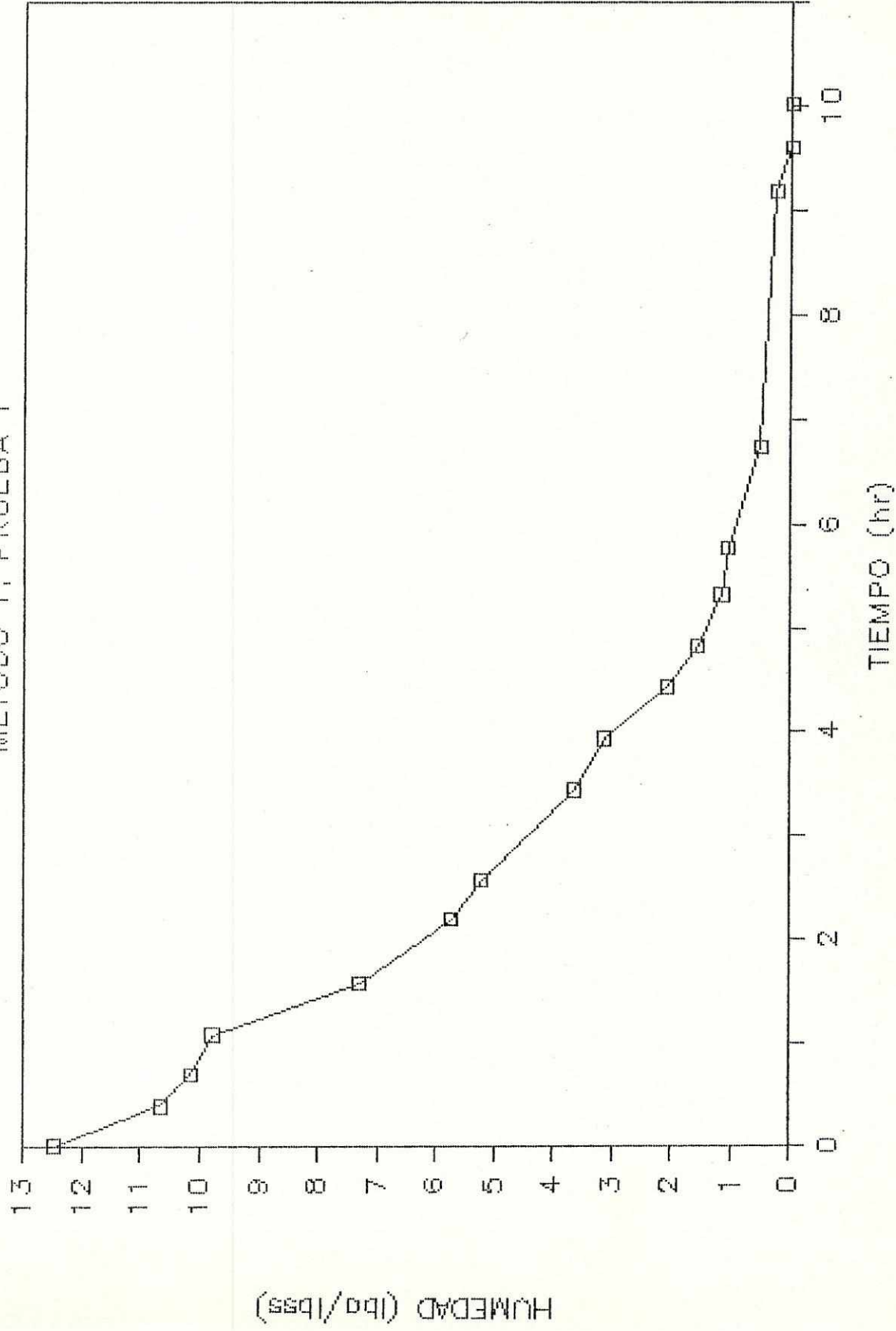
velocidad. Dichas gráficas no fueron tampoco de mucha ayuda, dado los inconvenientes que ya se mencionaron. Como ejemplo de utilidad se puede observar la Gráfica # 14, (Método 1, Prueba 2), donde el período de velocidad constante, compuesto por 4 puntos, duró aproximadamente 1.4 horas.

Estos puntos pertenecen a la temperatura de 100 F, como se ve en la Tabla #3, con lo que de nuevo se demuestra que a condiciones estables, sí se logra el comportamiento teórico.



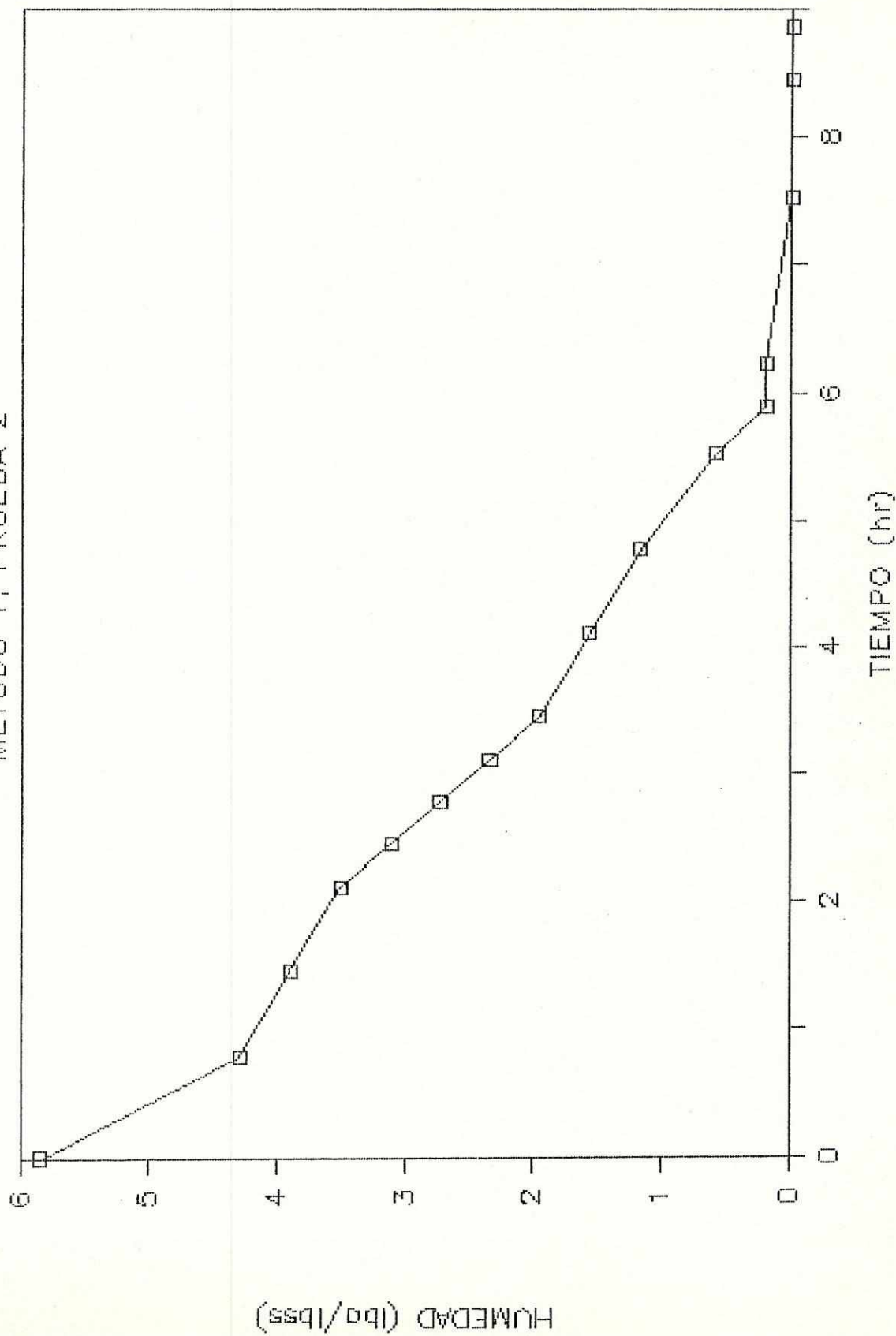
GRAFICA # 1: HUMEDAD VRS. TIEMPO

METODO 1, PRUEBA 1



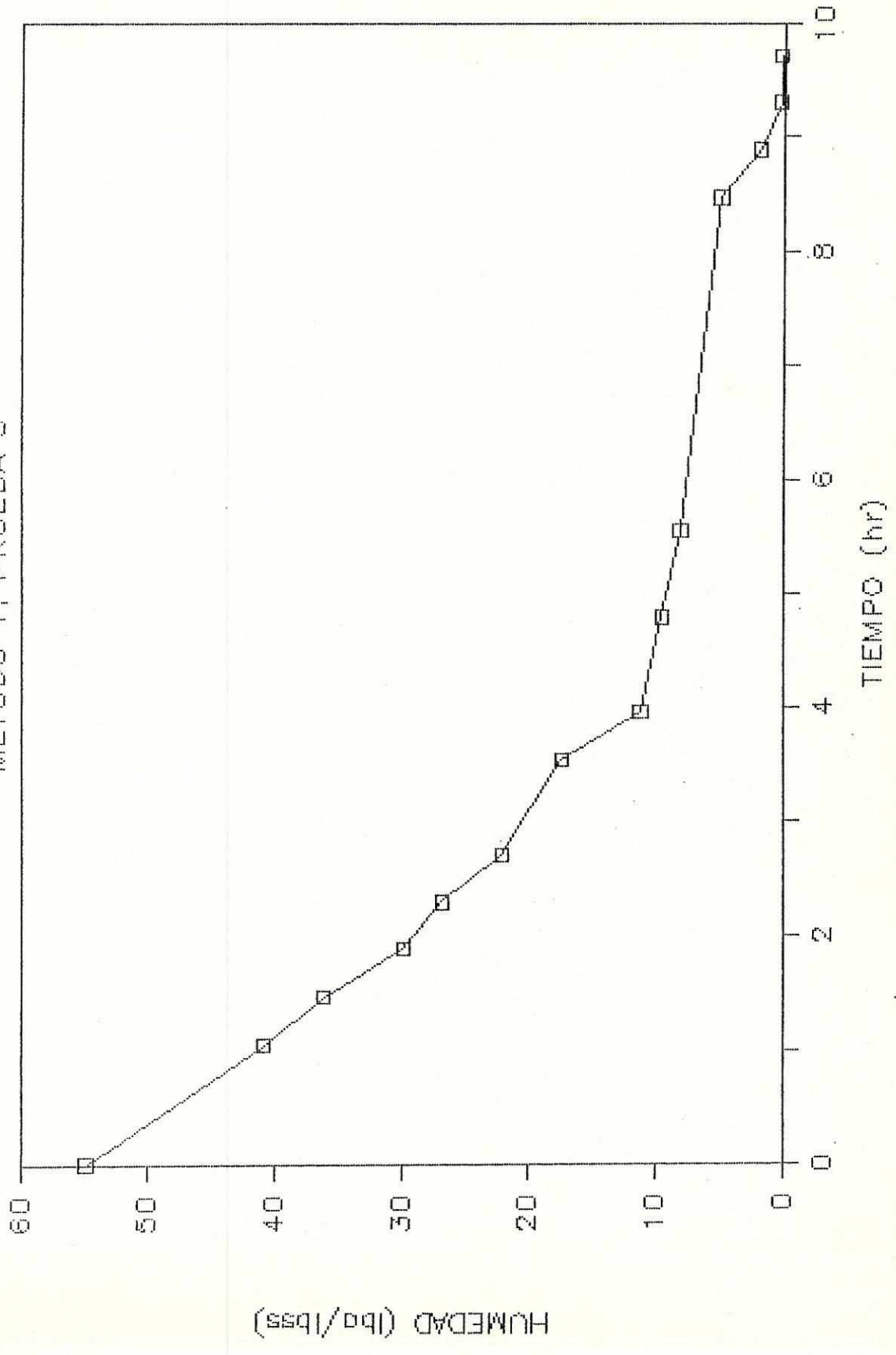
GRAFICA # 2: HUMEDAD VRS. TIEMPO

METODO 1, PRUEBA 2



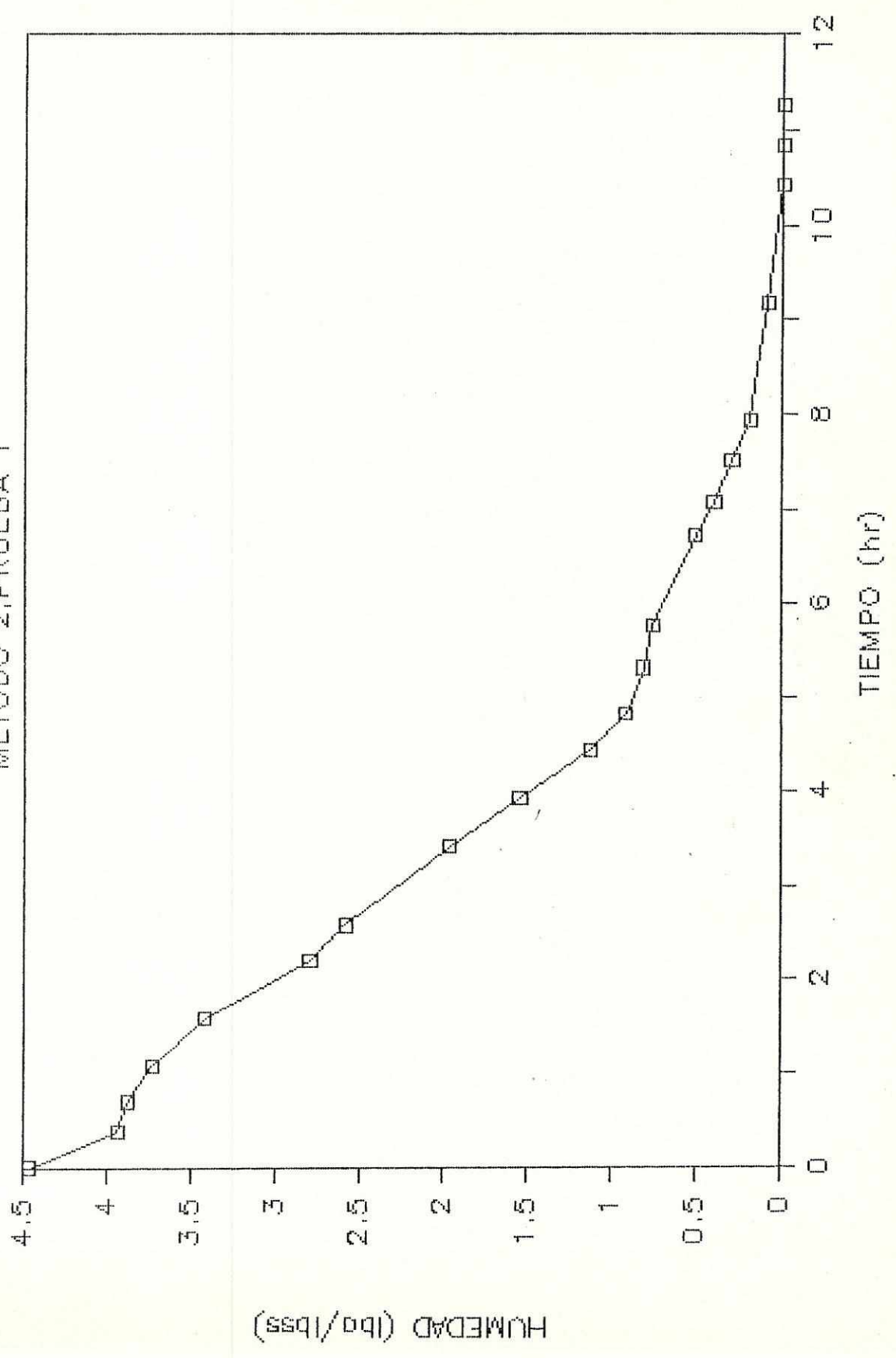
GRAFICA # 3: HUMEDAD VRS. TIEMPO

METODO 1, PRUEBA 3



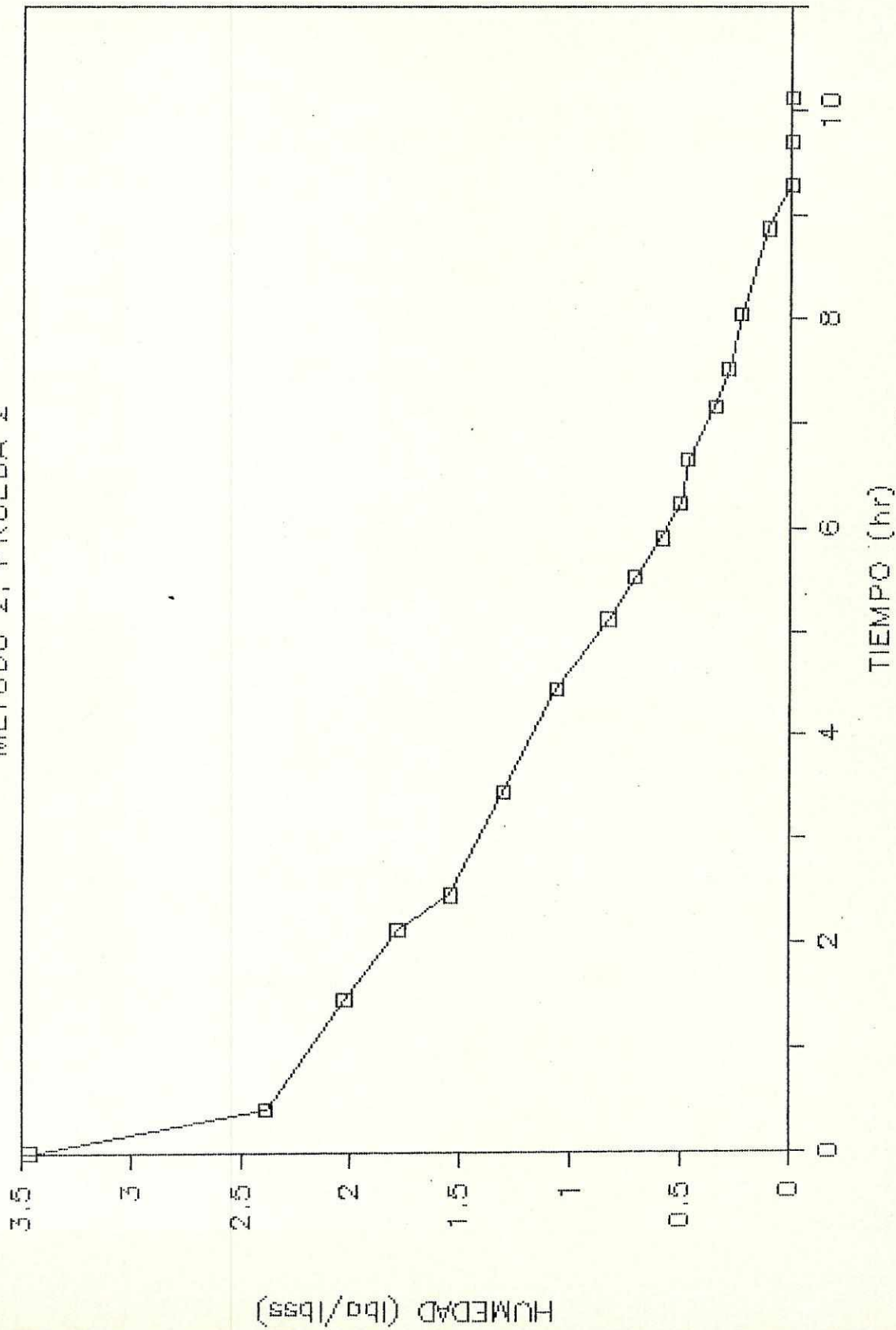
GRAFICA # 4: HUMEDAD VRS. TIEMPO

METODO 2, PRUEBA 1



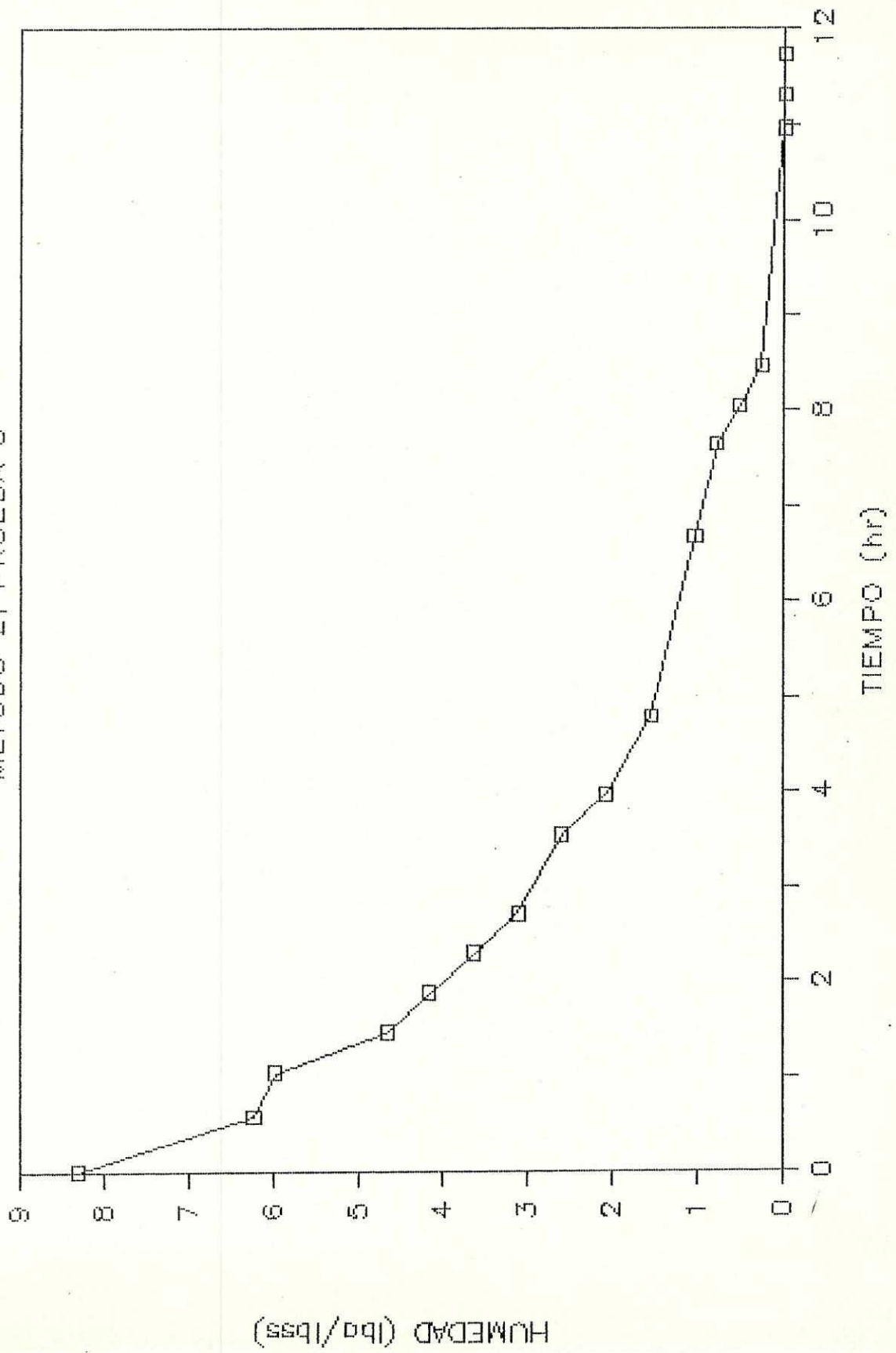
GRAFICA # 5: HUMEDAD VRS. TIEMPO

METODO 2, PRUEBA 2



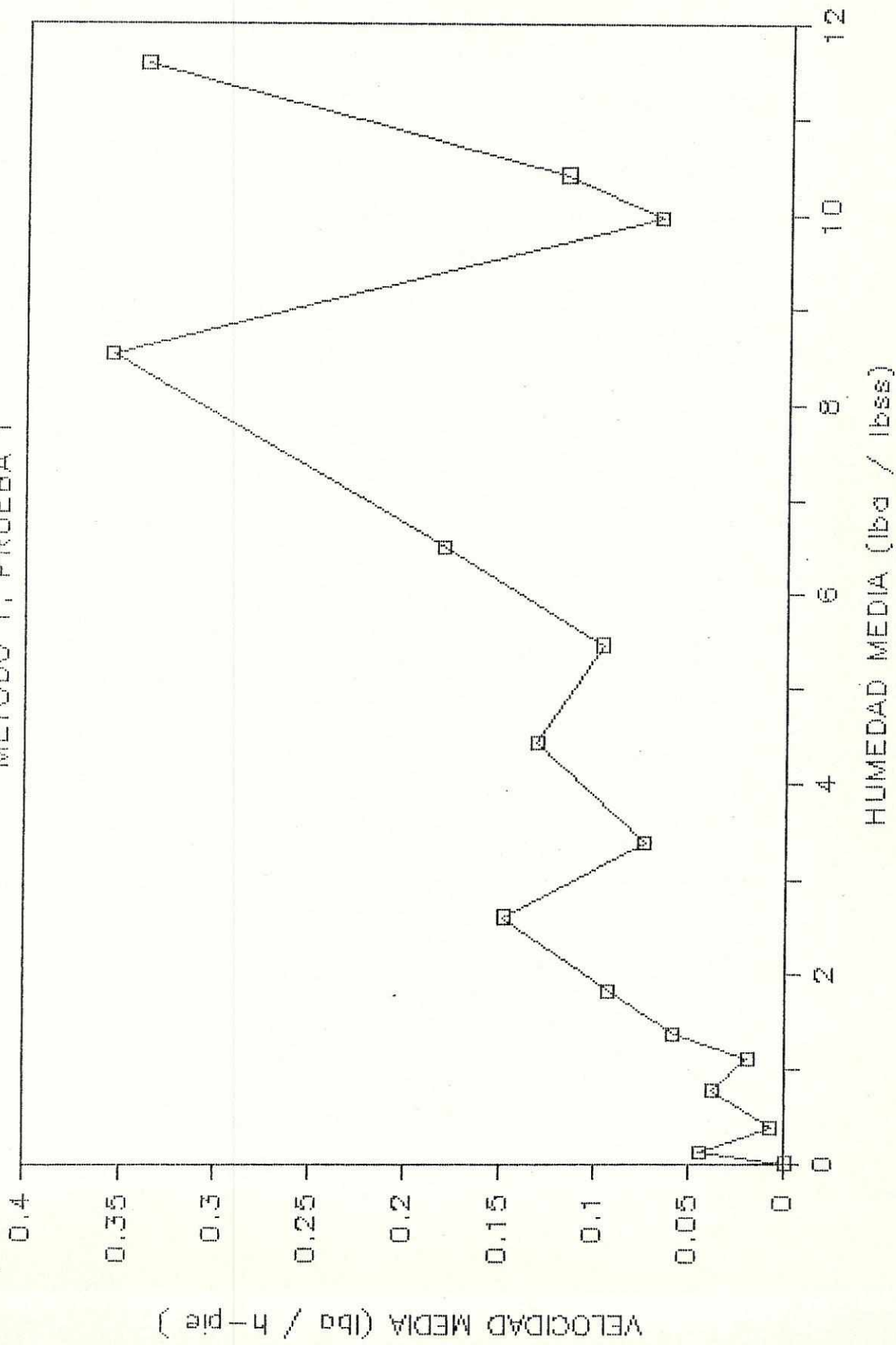
GRAFICA # 6: HUMEDAD VRS. TIEMPO

METODO 2, PRUEBA 3



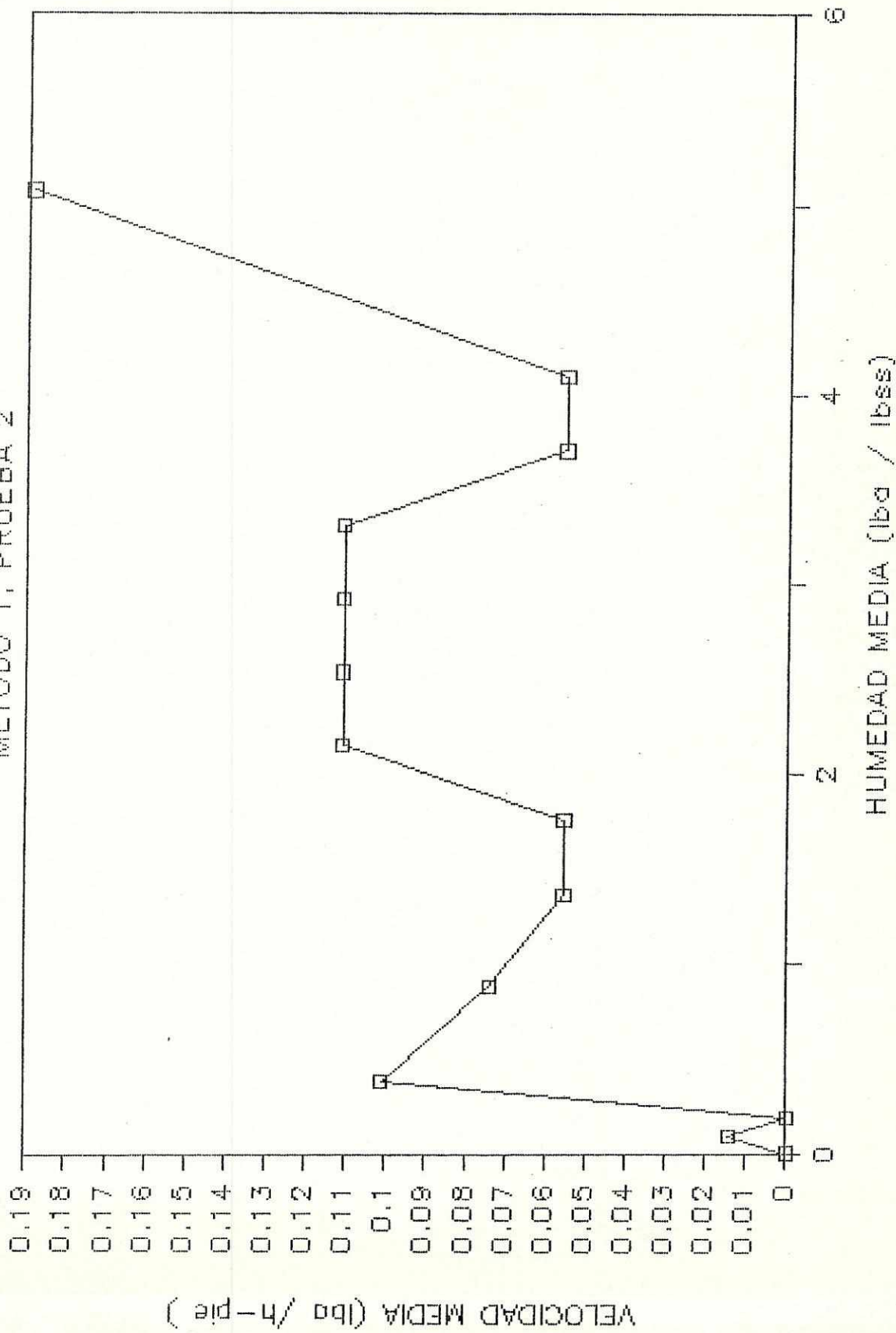
GRAFICA # 7: VEL. MEDIA VRS. HUMEDAD

METODO 1, PRUEBA 1



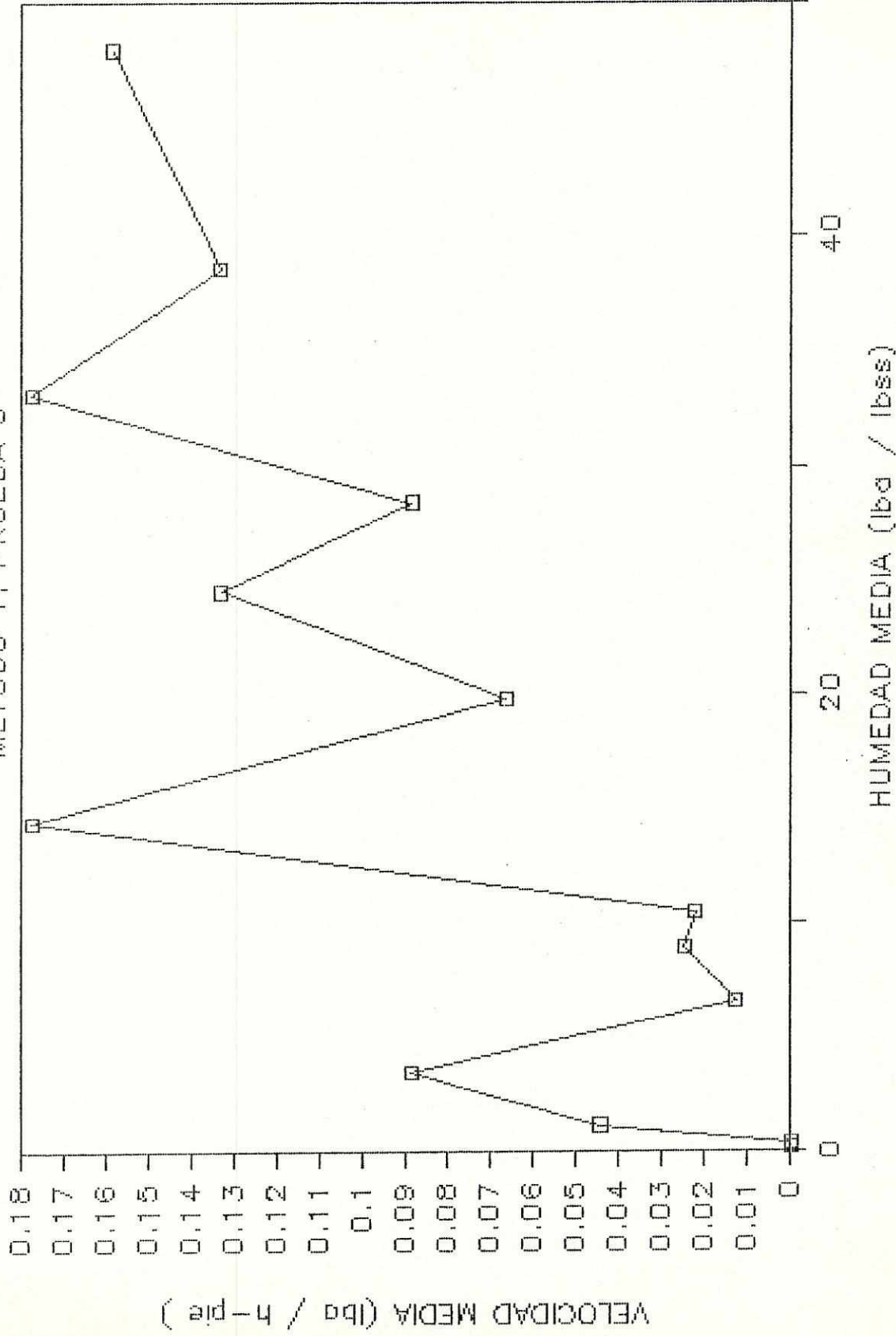
GRAFICA # 8: VEL. MEDIA VRS. HUMEDAD

METODO 1, PRUEBA 2



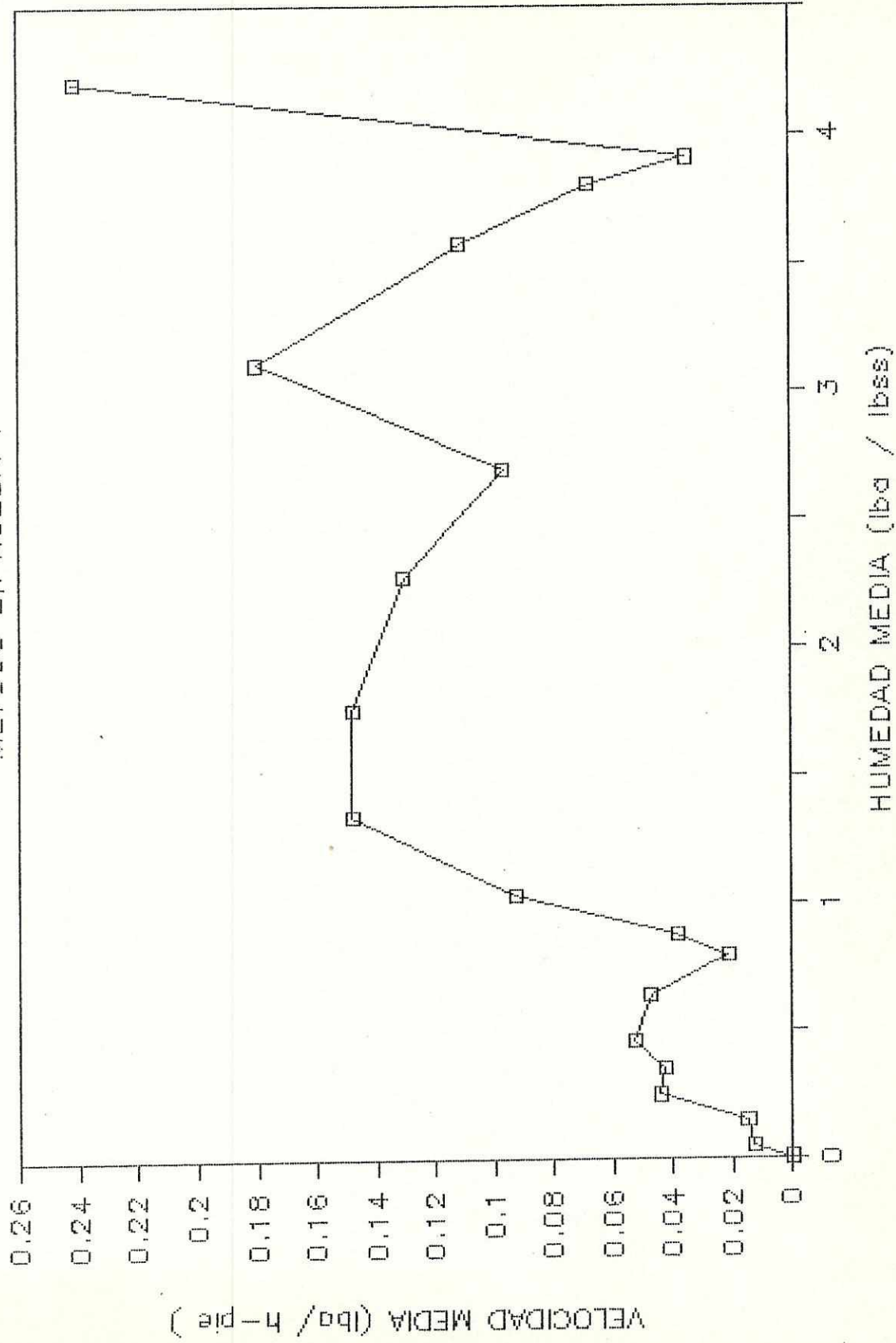
GRAFICA # 9 : VEL. MEDIA VRS. HUMEDAD

METODO 1, PRUEBA 3



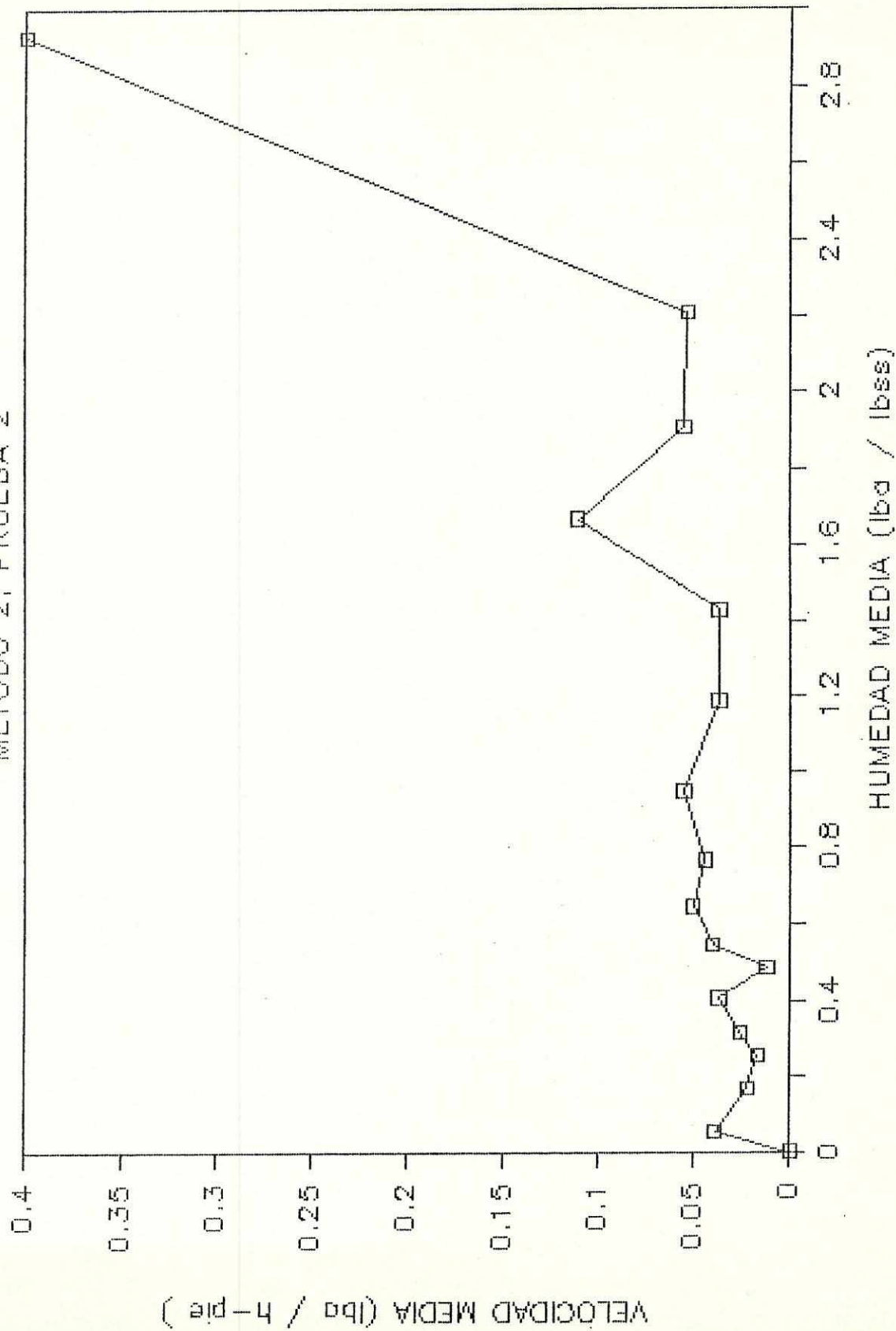
GRAFICA # 10: VEL. MEDIA VRS. HUMEDAD

METODO 2, PRUEBA 1



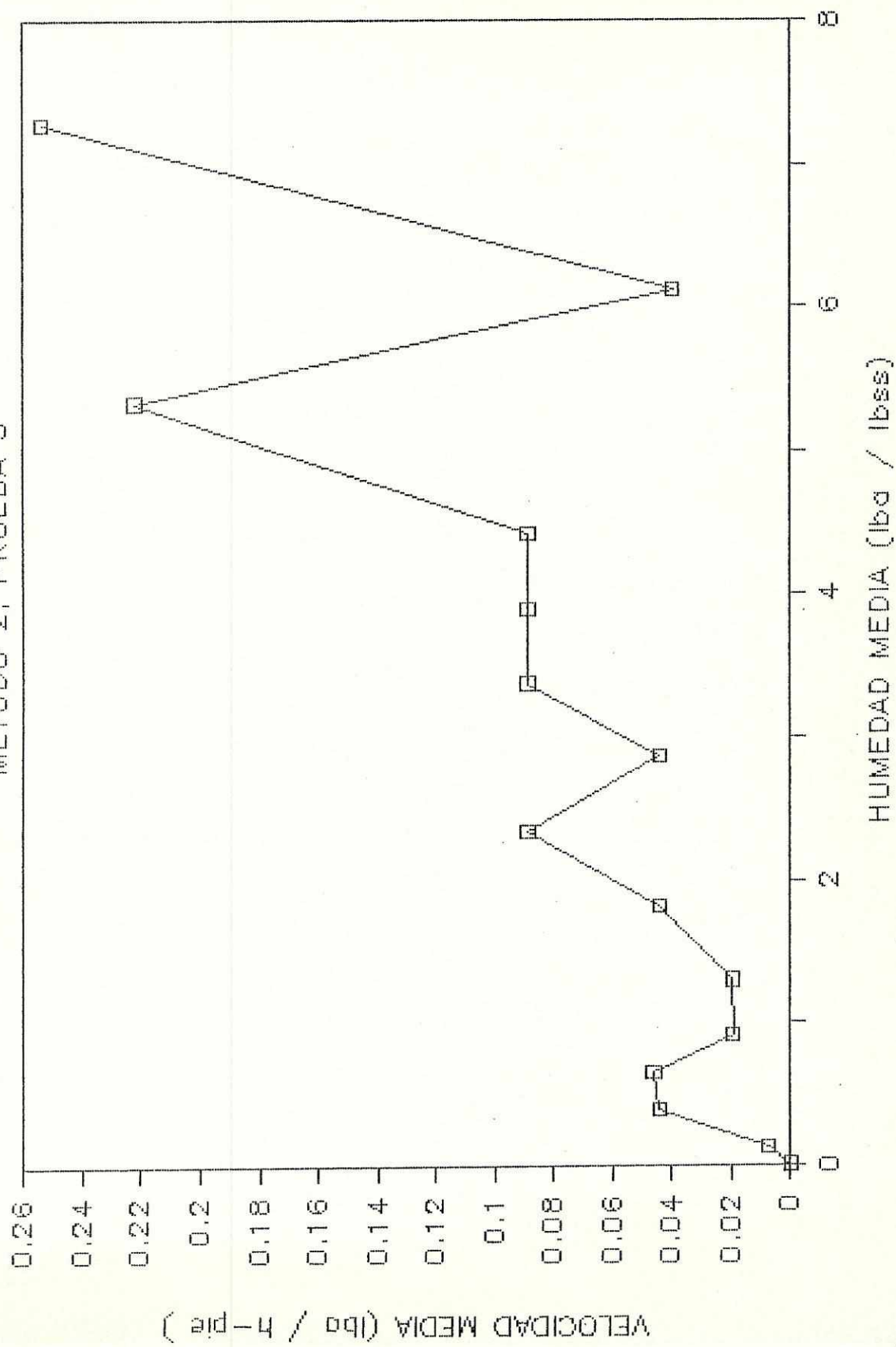
GRAFICA # 11: VEL. MEDIA VRS. HUMEDAD

METODO 2, PRUEBA 2

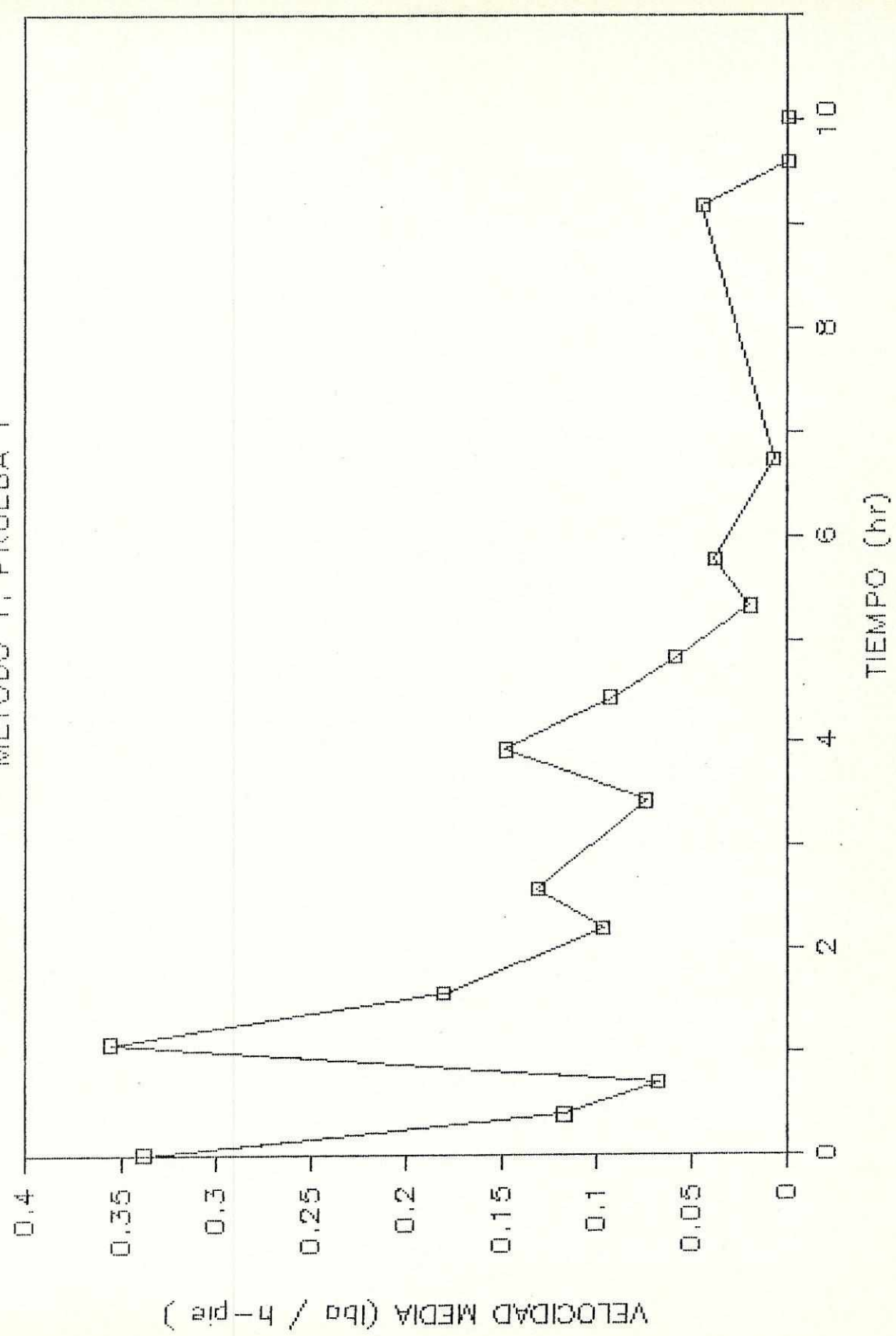


GRAFICA # 12: VEL. MEDIA VRS. HUMEDAD

METODO 2, PRUEBA 3

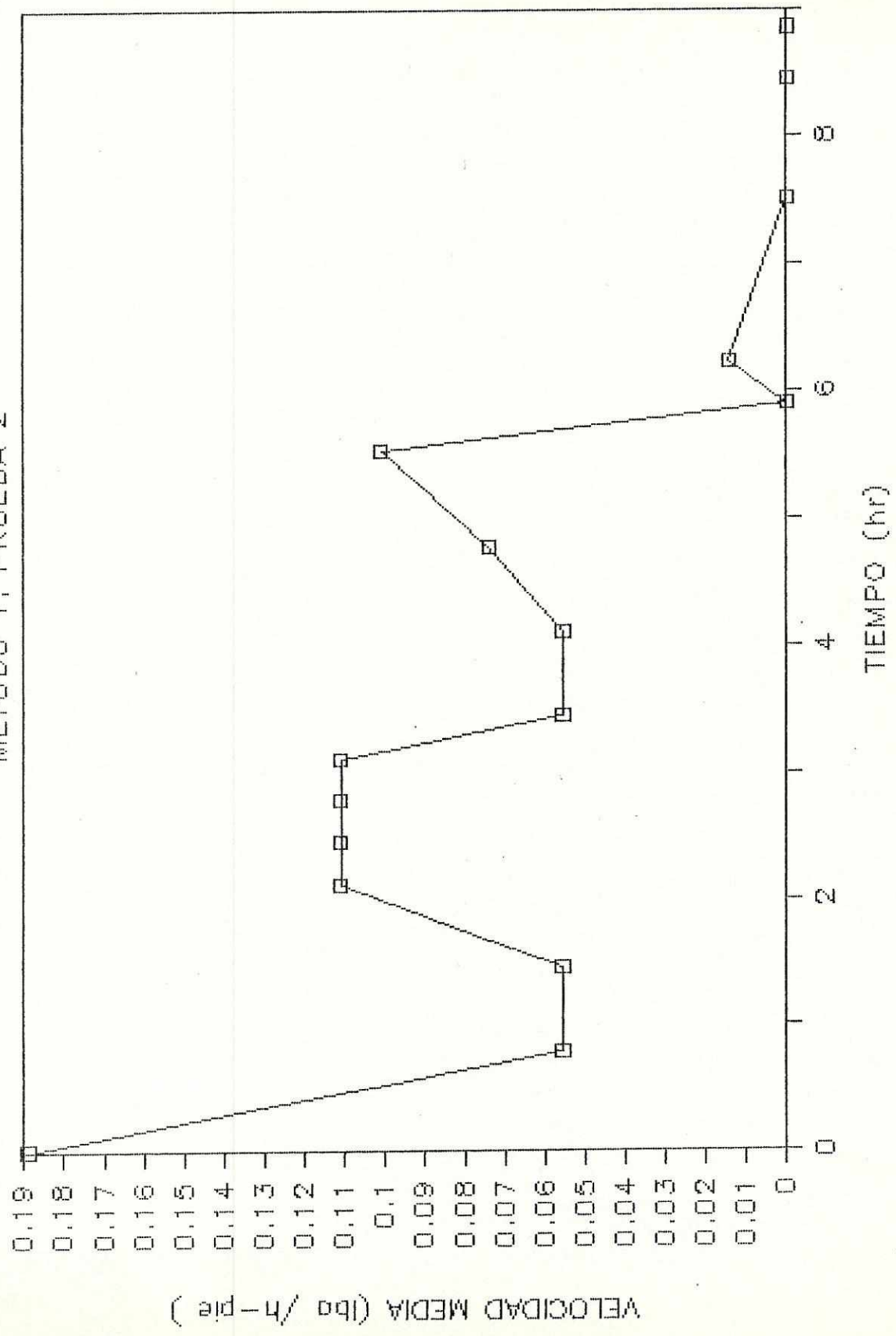


GRAFICA # 13: VEL. SECADO VRS. TIEMPO
METODO 1, PRUEBA 1



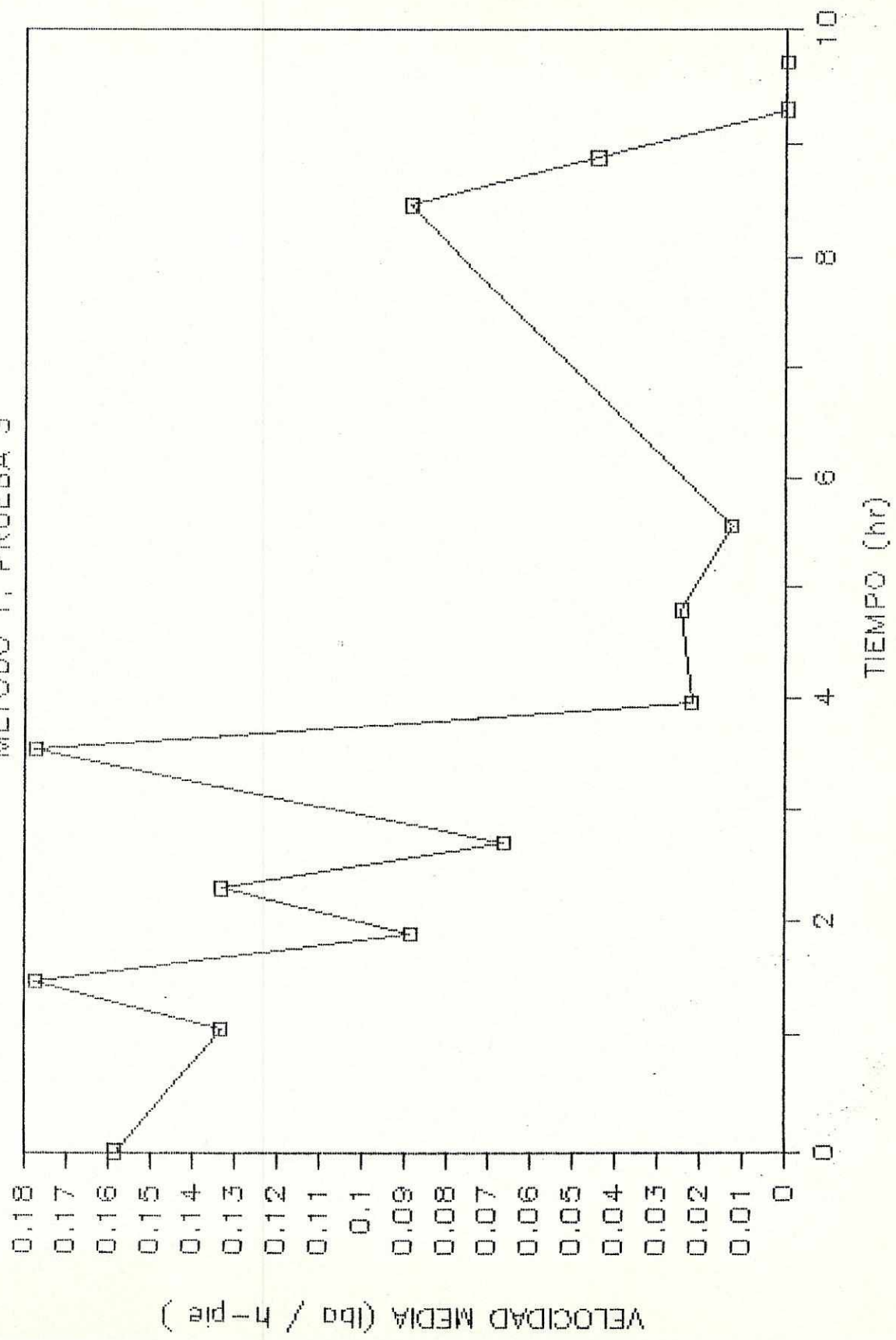
GRAFICA # 14: VEL. MEDIA VRS. TIEMPO

METODO 1, PRUEBA 2



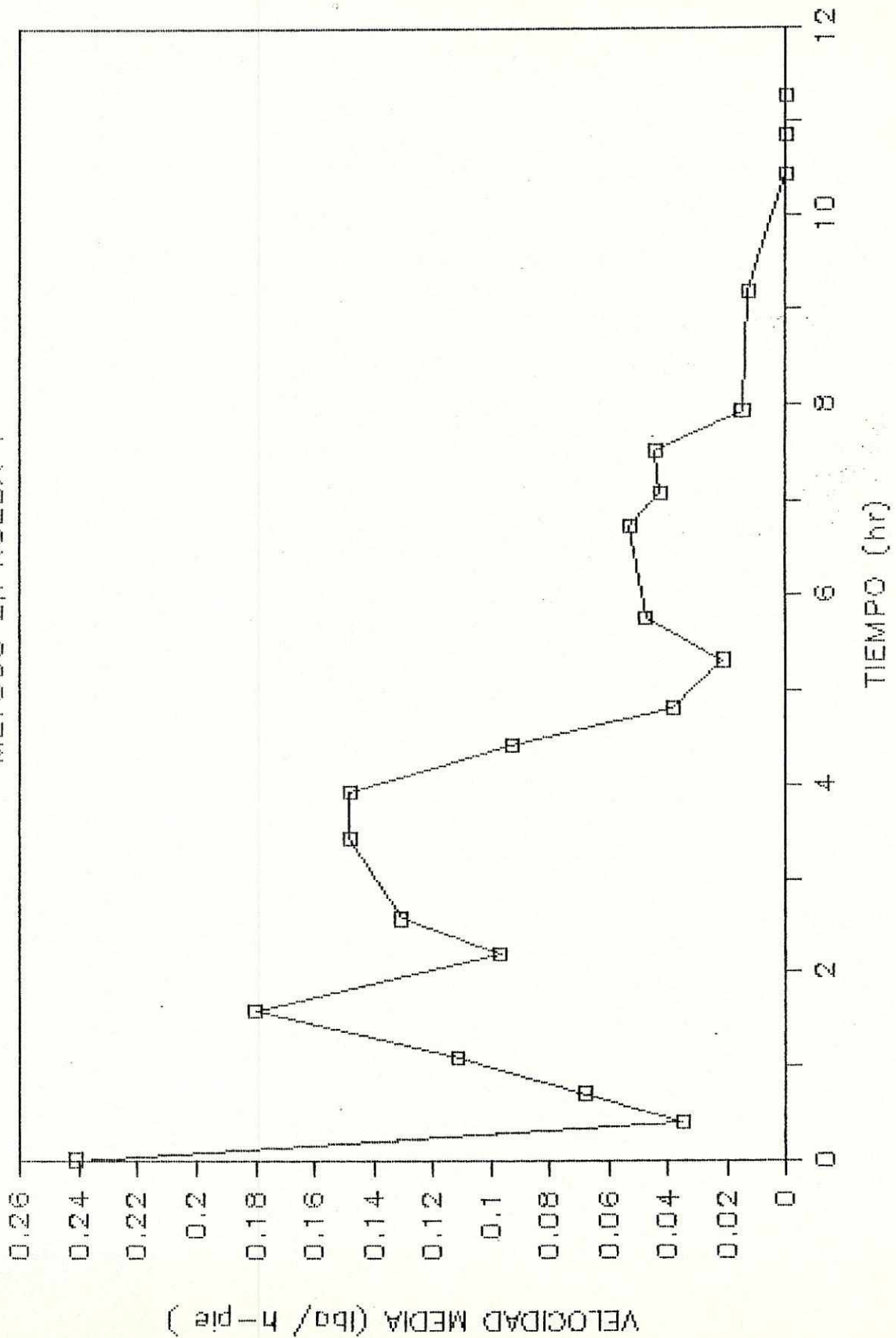
GRAFICA # 15: VEL. MEDIA VRS. TIEMPO

METODO 1, PRUEBA 3

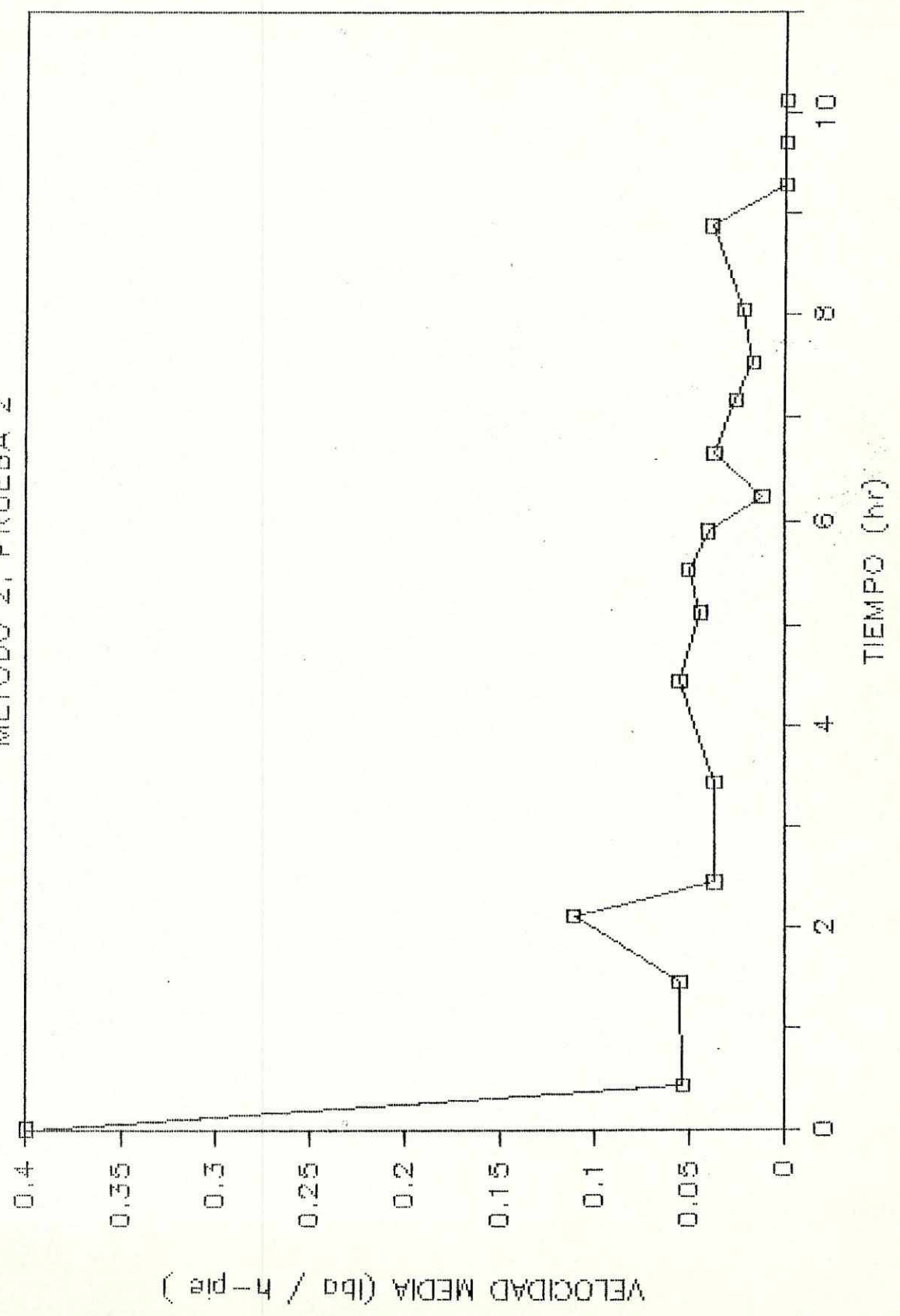


GRAFICA # 16: VEL. MEDIA VRS. TIEMPO

METODO 2, PRUEBA 1

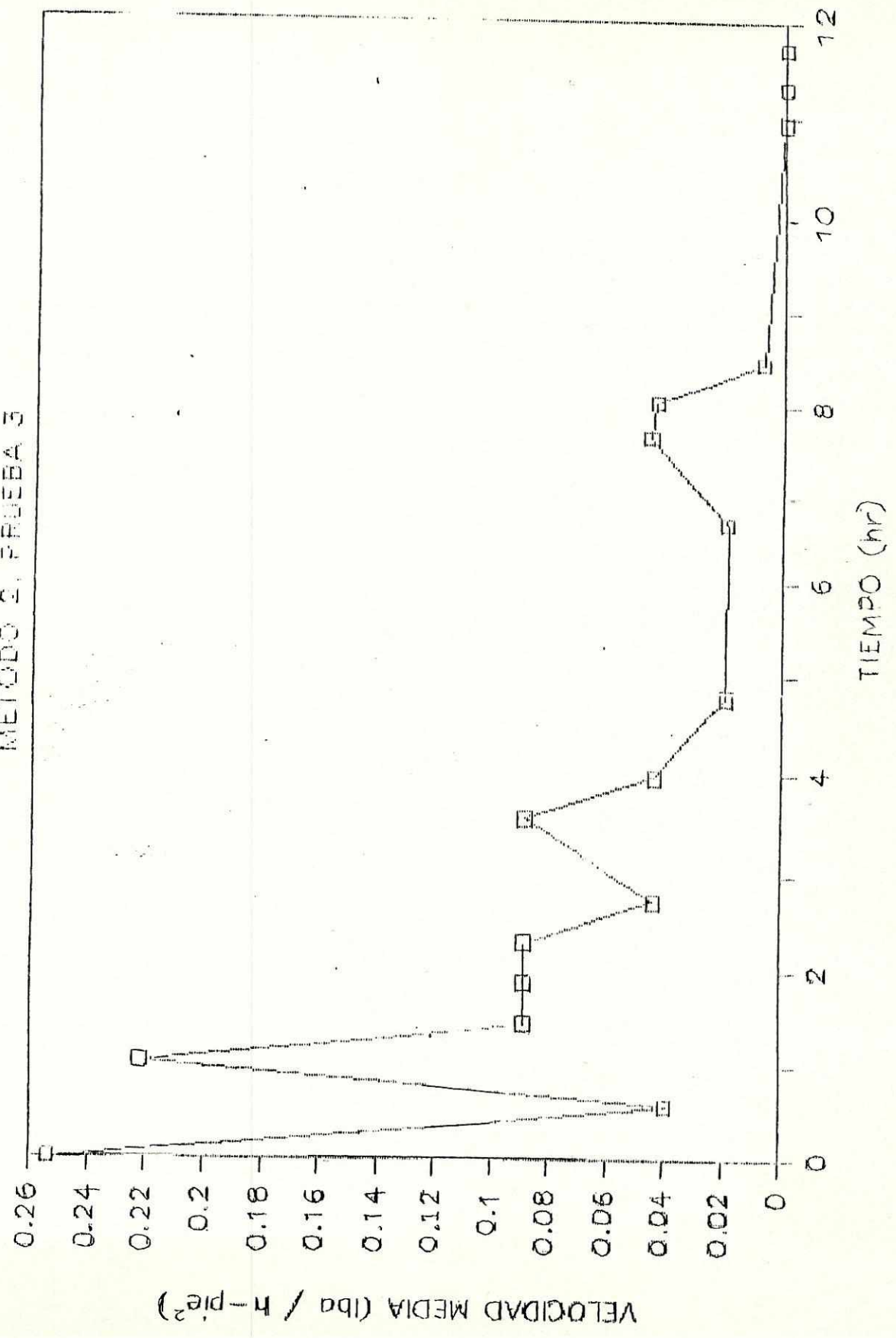


GRAFICA # 17: VEL. MEDIA VRS. TIEMPO
METODO 2, PRUEBA 2



GRAFICA # 18: VEL. MEDIA VRS. TIEMPO

METODO 2, PRUEBA 3



B. HUMEDADES FINALES-RENDIMIENTOS

Se obtuvieron los porcentajes de rendimiento y utilización de la piña para conocer el aprovechamiento de esta en el proceso.

La parte utilizada de la piña en este proceso fue, en promedio, un 48% como indican las tablas de Resultados (# 4 y 5). En ambos métodos, la parte utilizable es la misma, la pulpa de la piña, sin contar el corazón. El porcentaje de la cáscara de la piña, en relación a toda la fruta fue del 21% aproximadamente, mientras que el resto, compuesto por penacho y corazón hace el 31%. Con esto vemos que, del costo de la materia prima, estamos utilizando sólo el 50%, por lo que es un costo de vital importancia en nuestro proceso.

El tiempo de secado de la piña, que previamente se endulzó con azúcar (Método 2), fue mayor al tiempo de secado de la piña que se endulzó previamente con jarabe (Método 1).

Esto se atribuye a que el soluto utilizado, el azúcar, formó una capa en la superficie de la piña, dificultando la transferencia de masa de la humedad de la superficie al aire. Por ello, se dejó mayor tiempo de secado para lograr un proceso de secado completo.

Se encontró también que la humedad final de la piña endulzada con azúcar era ligeramente mayor (.20 lb agua/lb sólido seco) que la piña endulzada con jarabe (.18 lb agua/lb sólido seco). Esta diferencia se debe principalmente a lo ya mencionado anteriormente, de la dificultad que se encontró con el secado de la piña endulzada con azúcar sólida. Se encontró por ello, que la capa formada de azúcar imposibilitó que toda la humedad que se encontraba dentro de la estructura de la piña, fuera a la superficie y ahí se transfiriera al aire, con lo que con esta piña se obtiene un valor de humedad mayor en el producto final.

Usualmente, la piña se deja a humedades finales del 35%(7). En el experimento hecho, se bajó esta humedad, para fines de estudio del proceso de secado, pero para obtener diferentes valores de humedad solamente se deben hacer los cálculos y parar el secado en el momento que se tiene la humedad deseada.

Se encontró que el producto final que fue endulzado con azúcar sólida mostraba características distintas que la

piña endulzada con jarabe. La endulzada con azúcar mostraba una superficie rugosa, más blanca, y dura, mientras que la endulzada con jarabe mostró una superficie normal de piña, lisa, con pocas rajaduras, formando los filamentos de la estructura de la piña. El sabor de ambas fue dulce, sin mayor diferencia.

B. TABLAS DE RESULTADOS
 TABLA # 4
 RESULTADOS OBTENIDOS DE PRUEBAS
 METODO 1

RESULTADOS	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
1. PESO SECO	.06 lb	.08 lb	.02 lb	
2. PESO FRESCO	.81 lb	.55 lb	.56 lb	
3. RENDIMIENTO	7.41%	14.55%	3.57%	8.51%
4. %PERDIDO CASCARA	21.43%	31.25%	18.17%	23.62%
5. % DESPERDICIO	28.57%	37.50%	26.80%	30.96%
6. %FRESCO UTILIZABLE	50.00%	31.25%	55.03%	45.42%
7. TIEMPO TOTAL SECADO	10.02 hr	8.87 hr	9.72 hr	9.54 hr

RESULTADOS TABLA # 5
OBTENIDOS DE PRUEBAS
METODO 2

RESULTADOS	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PROMEDIO
1. PESO SECO	.15 lb	.13 lb	.06 lb	
2. PESO FRESCO	.82 lb	.58 lb	.56 lb	
3. RENDIMIENTO	18.29%	22.41%	10.71%	17.14%
4. %PERDIDO CASCARA	25.00%	27.78%	9.62%	20.80%
5. % DESPERDICIO	32.50%	27.78%	22.36%	27.55%
6. %FRESCO UTILIZABLE	42.50%	44.44%	68.02%	51.65%

C. COSTEO

Para determinar cuál de los dos métodos es más económico para lograr el producto final, se calcularon los costos de operación para cada uno. Los costos que son comunes para ambos métodos se obviaron, como la cantidad de azúcar que se le agrega para hacer el jarabe y el empaque, suponiendo que al mes se fabricara la misma cantidad, o sea que se debe entregar al cliente cierta cantidad fija. Se obvió también, el tiempo de preparación de la piña, que se encontró era igual para ambos métodos.

Asumiendo que al mes se necesite vender 500 lb de piña seca:

 METODO 1
 "JARABE"

 METODO 2
 "AZUCAR"

1) MATERIA PRIMA:

Puesto que las libras frescas que se necesitan son las libras finales (500), se divide dentro del rendimiento, el cual se puede obtener de las tablas 4 y 5, por lo que se necesitarían:

5,875.44 lb frescas

2,917.15 lb frescas

Al observar el rendimiento de piña entera a piña fresca utilizable, Tablas 4 y 5, de los Resultados y Discusión, Parte A, necesitaría libras totales de piña entera:

12,935.80 lb

5,647.92 lb

Cada piña pesa, aproximadamente, 4 lb, si son de primera clase, con lo que se necesitan:

3,234 piñas

1,412 piñas

Asumiendo un precio promedio de Q 0.75/piña, se tiene un costo de materia prima de:

Q 2,425.50

Q 1,059.00

2) CAPACIDAD DE TUNEL:

Cabe mencionar que los otros días del mes se procesa otro producto.

4) COMBUSTIBLE:

Se utiliza gas propano, que está a Q2.35/galón, y como promedio se consumen 2 galones por hora, o sea,

264 galones	130 galones
Q 620.40	Q 305.50

5) ENERGIA ELECTRICA:

Como promedio se tiene que el túnel gasta al estar operando 6 KWh/hra, y el KWh está en promedio a Q 0.25. Al Método 1 se le agregara un 5% puesto que en este método se requiere de energía para el calentamiento de la solución de jarabe.

792 KWh	390 KWh
Q 198.00 + 5%	Q 97.50
Q 207.90	

TOTALES:

Q 3,823.99	Q 1,742.94
------------	------------

Y como son 500 lb secas, el costo por libra es de:

Q 7.65/lb	Q 3.49 lb
-----------	-----------

Económicamente hablando, es más conveniente utilizar el método 2 como endulzante de la piña, su costo es 119% más económico que el Método 1, y por lo mismo se le puede obtener mayor margen de ganancia, pues el precio final al consumidor puede ser más flexible.

Ahora bien, al tratarse de la materia prima se encontró que para el Método 2, se necesita mucho menor cantidad de piña fresca. Esto se debe a que el rendimiento es mayor que el del Método 1. Dado que se uso la misma cantidad de materia prima y la misma cantidad de soluto en ambos métodos, la diferencia en los rendimientos se puede atribuir a varias causas:

-El valor de la humedad en el producto final del Método 2 es un poco mayor que la del Método 1, lo que ayuda a aumentar el rendimiento, el cual se basa en el peso.

-Dado que en el Método 2 se agrega cierta cantidad de azúcar sólida, y se deja sobre la piña para concentrarla, sin escurrirse después, la concentración de azúcar en la piña fresca en el Método 2 es mayor que en el Método 1. Esto se debe a que la solución del Método 1 se deja escurrir y luego se pasa la piña por un lavado de agua caliente, logrando una reducción en la concentración del soluto en la piña fresca, afectando directamente el peso de la misma.

-La concentración de soluto en el producto final del Método 2 es mayor. La piña mostró una capa dura en la superficie, la cual fue muy dulce, mientras que la superficie del producto final del Método 1 no mostró cambio alguno. Esto recae directamente en el peso del producto final. El soluto en el Método 2 ayudo a aumentar el peso final.

Al hablar de costos, nos es más ventajoso hacer este método, claro está, depende del cliente, puesto que en realidad estamos hablando de dos productos diferentes. El del Método 1 ayuda a endulzar una piña que podría estar un poco desabrida, y mantiene la textura de la piña, mientras que la del Método 2 forma una capa superficial dulce y dura, haciéndola como cristalina, por lo que dependiendo del uso que se le de al producto final, así sería el método a realizar.

Por esto mismo, no puede decirse qué método es mejor para endulzar la piña, puesto que después de la experimentación se determinó que ambos productos poseen propiedades distintas.

Otro punto a mencionar es el porcentaje de piña útil que se tiene, que como se ve en las Tablas 16 y 17, varía para ambos métodos. Esto se debe, a que no se tuvo el mismo patrón de corte para cada prueba. Se cambiaron las personas que cortaron la piña, con lo que unas desperdiciaron más al quitar la cáscara y el corazón. En realidad este porcentaje debe ser el mismo, puesto que al tratarse de una producción grande, se contratarían personas cuyo cargo único sería cortar la piña, y así el promedio sería igual para cada método. Esto recae directamente al caso de la Prueba 3, Tabla # 3, parte IV.B donde se observa que el peso de desperdicios de cáscaras y corazón de la piña varía considerablemente de un método a otro.

Dado que en las Pruebas 1 y 2 no se da este comportamiento, esta diferencia se atribuye, posiblemente, a que el número de piñas utilizadas para ambos métodos de la prueba no fue el mismo. Para ello, se debe supervisar

cada grupo de personas encargadas de corte y pelado.

Los costos aquí expuestos son, únicamente, una aproximación de los que realmente se tienen. Primero, porque las piñas varían en peso, con lo que el promedio de libras por piña puede variar y así mismo el costo por materia prima. Segundo, el combustible usado puede variar al igual que la energía eléctrica puesto que al hacer una corrida en producción, como es ya un proceso semicontinuo, los tiempos de secado bajarán un poco, el tiempo de carga y descarga bajarán también, después de la práctica. Es probable además que se vayan a obtener más horas extras, pues podría ser que se necesite más gente para empacar, o limpiar en horas que no se especifican. Por ello, este examen de costos sólo da una idea de cuál método será más económico para trabajar, y nos da una idea del costo, para ver si es factible o no fabricarlo, y si el cliente estaría dispuesto a comprarlo o no.

VI. CONCLUSIONES

A. Se logró el comportamiento típico de secado en las Gráficas Humedad versus Tiempo. Conforme el tiempo de secado aumenta, la humedad en el sólido disminuye: En las Gráficas de Velocidad de Secado versus Humedad Media y Velocidad de Secado versus Tiempo no se obtuvo ningún patrón general típico del proceso de secado. Esto principalmente por dificultades en el diseño y operación del secador utilizado.

B. Se logró desarrollar dos productos finales de características diferentes. La piña endulzada con azúcar, Método 2, posee la característica física de tener una capa superficial dura, dulce y rugosa al estar seca, mientras que la endulzada con jarabe, Método 1 posee un sabor dulce y una textura lisa.

C. Económicamente hablando, el uso del Método 2 conjuntamente con el proceso de secado, es más conveniente. El costo del producto obtenido del Método 2 es de Q 3.49/lb mientras que el costo del producto del Método 1 es de Q 7.65/lb.

D. El rendimiento promedio de piña fresca a producto final en el caso del endulzado con azúcar fue de 17.1%, versus un rendimiento del 8.5% obtenido para el endulzado con jarabe. La diferencia en costo por libra de producto final entre ambos métodos está determinada principalmente por esta diferencia de rendimientos.

E. El tiempo de secado de la piña endulzada con jarabe es de 9.54 horas, mientras que el tiempo de secado de la piña endulzada con azúcar es de 11.04 horas.

VII. RECOMENDACIONES

A. Evaluar y determinar usos alternativos para los sub-productos obtenidos en el procesamiento de la piña deshidratada.

Con esto se pretende hacer del procesamiento de la piña un proceso mas eficiente y de mejor rendimiento.

En este estudio se determinó que el 22%, aproximadamente, de la fruta entera corresponde a la cáscara, y el 28% al penacho y corazón de la piña, sub-productos que, de ser utilizados de alguna manera, pudieran hacer del procesamiento de la piña una operación más rentable y atractiva.

Se ha encontrado, por ejemplo, "que la cáscara de la piña, junto con el jugo de esta, posee una enzima, la bromelina, con propiedades similares a la papaína, extraída de la papaya, y utilizada comercialmente como ablandador de carne." (1)

Mayores estudios a este respecto aún son necesarios para determinar la factibilidad tanto económico como funcional de esta aplicación.

Para el penacho, únicamente se encuentra utilidad como abono para el suelo.

B. Optimizar el diseño y las condiciones de operación en el secado de la piña, evaluando distintos tipos de equipo (secadores).

El equipo a utilizar deberá asegurar estricto control de variables de operación como temperatura, flujo másico de aire, humedad, uniformidad de secado, etc.

C. Llevar a cabo pruebas sensoriales y de vida de almacenaje del producto final obtenido, así como investigaciones de mercado sobre gustos del consumidor en relación a variaciones del producto y sus usos.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. De Leon, S.Y. y M.V.D. Garcia. Philippine Fruit and Vegetable Processing Guide. Interlino Printing Co, Inc. Philippine, 1978.
2. Foust, A.S., L.A. Wenzel, C.W. Clump, L.Maus y L.B.Andersen. Principios de Operaciones Unitarias. Editorial CECSA. México, 1987. 459 pp.
3. Guía para la Exportación de Productos Agrícolas No Tradicionales. La Piña. Instituto Centroamericano de Investigación y tecnología Industrial (ICAITI). Guatemala, 1976.
4. Perry, R.H. and D.Green. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6th.ed. McGraw Hill. USA, 1984.
5. Potter, N.N. Food Science. 3rd.ed. AVI Publishing Company, Inc. USA, 1978.
6. Treybal, R.E.. Mass Transfer Operations. 3rd.ed. McGraw Hill. USA, 1980.
7. Van Arsdel, W.B., M.J. Copley, and A.I. Morgan Jr. Food Dehydration. 2nd.ed. Volume 2. AVI Publishing Company Inc. USA, 1973.

APENDICE

A. DATOS ORIGINALES
 TABLA # 6
 DATOS ORIGINALES
 METODO 1, PRUEBA 1

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	TEMPERATURA
(min)	(onzas)	(F)
0.00	20.00	
23.00	18.25	120
42.00	17.75	115
65.00	17.40	115
95.00	15.00	130
132.00	13.50	130
155.00	13.00	140
206.00	11.50	150
236.00	11.00	150
266.00	10.00	150
290.00	9.50	155
319.00	9.12	155
346.00	9.00	155
404.00	8.50	150
551.00	8.25	140
576.00	8.00	140
601.00	8.00	140

746

TABLA # 7
DATOS ORIGINALES
METODO 1, PRUEBA 2

TIEMPO DE SECADO	FESO DE MUESTRA +BANDEJA	TEMPERATURA
(min)	(onzas)	(F)
0.00	15.50	
47.00	13.50	100
87.00	13.00	100
127.00	12.50	100
147.00	12.00	100
167.00	11.50	100
187.00	11.00	100
207.00	10.50	100
247.00	10.00	140
287.00	9.50	140
332.00	8.75	140
354.00	8.25	140
374.00	8.25	140
451.00	8.00	140
507.00	8.00	140
532.00	8.00	140

TABLA # 8
DATOS ORIGINALES
METODO 1, PRUEBA 3

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	TEMPERATURA
(min)	(onzas)	(F)
0.00	16.00	
63.00	13.75	115
88.00	13.00	115
113.00	12.00	120
138.00	11.50	125
163.00	10.75	125
213.00	10.00	125
238.00	9.00	145
288.00	8.75	145
333.00	8.50	145
508.00	8.00	100
533.00	7.50	100
558.00	7.25	100
583.00	7.25	100

TABLA # 9
 DATOS ORIGINALES
 METODO 2, PRUEBA 1

TIEMPO DE SECADO	FESO DE MUESTRA +BANDEJA	TEMPERATURA
(min)	(onzas)	(F)
0.00	20.00	
23.00	18.75	120
42.00	18.60	115
65.00	18.25	115
95.00	17.50	130
132.00	16.00	130
155.00	15.50	140
206.00	14.00	150
236.00	13.00	150
266.00	12.00	150
290.00	11.50	155
319.00	11.25	155
346.00	11.12	155
404.00	10.50	150
425.00	10.25	150
451.00	10.00	150
476.00	9.75	150
551.00	9.50	140
626.00	9.25	140
651.00	9.25	140
676.00	9.25	140

TABLA # 10
 DATOS ORIGINALES
 METODO 2, PRUEBA 2

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	TEMPERATURA
(min)	(onzas)	(F)
0.00	16.50	
25.00	14.25	95
87.00	13.50	100
127.00	13.00	100
147.00	12.50	100
207.00	12.00	100
267.00	11.50	149
307.00	11.00	149
332.00	10.75	140
354.00	10.50	140
374.00	10.32	140
399.00	10.25	140
429.00	10.00	140
451.00	9.87	140
482.00	9.75	140
532.00	9.50	140
557.00	9.25	140
582.00	9.25	140
607.00	9.25	140

TABLA # 11
DATOS ORIGINALES
METODO 2, PRUEBA 3

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	TEMPERATURA
(min)	(onzas)	(F)
0.00	16.00	
35.00	14.00	110
63.00	13.75	115
88.00	12.50	115
113.00	12.00	120
138.00	11.50	125
163.00	11.00	125
213.00	10.50	125
238.00	10.00	145
288.00	9.50	145
401.00	9.00	140
459.00	8.75	100
483.00	8.50	100
508.00	8.25	100
658.00	8.00	100
678.00	8.00	100
703.00	8.00	100

0.75

B. DATOS CALCULADOS
 TABLA # 12
 DATOS CALCULADOS
 METODO 1, PRUEBA 1

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	PESO DE MUESTRA	HUMEDAD	VALOR MEDIO HUMEDAD	VELOCIDAD MEDIA
(hr)	(lb)	(lb)	(lba/lbss)	(lba/lbss)	(lba/h-pie ²)
0.00	1.25	0.81	12.50	11.59	0.34
0.38	1.14	0.70	10.68	10.42	0.12
0.70	1.11	0.67	10.16	9.97	0.07
1.08	1.09	0.65	9.79	8.54	0.36
1.58	0.94	0.50	7.29	6.51	0.18
2.20	0.84	0.40	5.73	5.47	0.10
2.58	0.81	0.37	5.21	4.43	0.13
3.43	0.72	0.28	3.65	3.39	0.07
3.93	0.69	0.25	3.13	2.60	0.15
4.43	0.63	0.19	2.08	1.82	0.09
4.83	0.59	0.15	1.56	1.36	0.06
5.32	0.57	0.13	1.17	1.10	0.02
5.77	0.56	0.12	1.04	0.78	0.04
6.73	0.53	0.09	0.52	0.39	0.01
9.18	0.52	0.08	0.26	0.13	0.04
9.60	0.50	0.06	0.00	0.00	0.00
10.02	0.50	0.06	0.00	0.00	0.00

TABLA # 13
 DATOS CALCULADOS
 METODO 1, PRUEBA 2

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	PESO DE MUESTRA	HUMEDAD	VALOR MEDIO HUMEDAD	VELOCIDAD MEDIA
(hr)	(lb)	(lb)	(lba/lbss)	(lba/lbss)	(lba/h-pie ²)
0.00	0.97	0.55	5.86	5.08	0.1891
0.78	0.84	0.42	4.30	4.10	0.0555
1.45	0.81	0.39	3.91	3.71	0.0555
2.12	0.78	0.36	3.52	3.32	0.1111
2.45	0.75	0.33	3.13	2.93	0.1111
2.78	0.72	0.30	2.73	2.54	0.1111
3.12	0.69	0.27	2.34	2.15	0.1111
3.45	0.66	0.24	1.95	1.76	0.0555
4.12	0.63	0.21	1.56	1.37	0.0555
4.78	0.59	0.17	1.17	0.88	0.0741
5.53	0.55	0.13	0.59	0.39	0.1010
5.90	0.52	0.10	0.20	0.20	0.0000
6.23	0.52	0.10	0.20	0.10	0.0144
7.52	0.50	0.08	.00	.00	0.0000
8.45	0.50	0.08	.00	.00	0.0000
8.87	0.50	0.08	.00		

TABLA # 14
 DATOS CALCULADOS
 METODO 1, PRUEBA 3

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	PESO DE MUESTRA	HUMEDAD	VALOR MEDIO HUMEDAD
(hr)	(lb)	(lb)	(1ba/1bss)	(1ba/1bss)
0.00	1.00	0.56	55.00	47.97
1.05	0.86	0.42	40.94	38.59
1.47	0.81	0.37	36.25	33.13
1.88	0.75	0.31	30.00	28.44
2.30	0.72	0.28	26.88	24.53
2.72	0.67	0.23	22.19	19.84
3.55	0.63	0.19	17.50	14.38
3.97	0.56	0.12	11.25	10.47
4.80	0.55	0.11	9.69	8.91
5.55	0.53	0.09	8.13	6.56
8.47	0.50	0.06	5.00	3.44
8.88	0.47	0.03	1.88	1.09
9.30	0.45	0.01	0.31	0.31
9.72	0.45	0.01	0.31	0.16

TABLA # 15
 DATOS CALCULADOS
 METODO 2, PRUEBA 1

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	PESO DE MUESTRA	HUMEDAD	VALOR MEDIO HUMEDAD	VELOCIDAD MEDIA
(hr)	(lb)	(lb)	(lba/lbss)	(lba/lbss)	(lba/h-pie ²)
0.00	1.25	0.82	4.47	4.21	0.2415
0.38	1.17	0.74	3.95	3.91	0.0351
0.70	1.16	0.73	3.88	3.81	0.0676
1.08	1.14	0.71	3.74	3.58	0.1111
1.58	1.09	0.66	3.43	3.11	0.1801
2.20	1.00	0.57	2.80	2.70	0.0966
2.58	0.97	0.54	2.59	2.28	0.1307
3.43	0.88	0.45	1.97	1.76	0.1481
3.93	0.81	0.38	1.55	1.34	0.1481
4.43	0.75	0.32	1.13	1.03	0.0926
4.83	0.72	0.29	0.93	0.87	0.0383
5.32	0.70	0.27	0.82	0.79	0.0214
5.77	0.70	0.26	0.77	0.64	0.0475
6.73	0.66	0.23	0.51	0.46	0.0529
7.08	0.64	0.21	0.40	0.35	0.0427
7.52	0.63	0.20	0.30	0.25	0.0444
7.93	0.61	0.18	0.20	0.14	0.0148
9.18	0.59	0.16	0.09	0.05	0.0130
10.43	0.58	0.15	0.00	0.00	0.0000
10.85	0.58	0.15	0.00	0.00	0.0000
11.27	0.58	0.15	0.00	0.00	0.0000

TABLA # 16
 DATOS CALCULADOS
 METODO 2, PRUEBA 2

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	PESO DE MUESTRA	HUMEDAD	VALOR MEDIO HUMEDAD	VELOCIDAD MEDIA
(hras.)	(lb.)	(lb.)	(lba/lbss)	(lba/lbss)	(lba/h-pie ²)
0.00	1.03	0.58	3.47	2.93	0.3999
0.42	0.89	0.44	2.39	2.21	0.0537
1.45	0.84	0.39	2.03	1.91	0.0555
2.12	0.81	0.36	1.79	1.67	0.1111
2.45	0.78	0.33	1.55	1.43	0.0370
3.45	0.75	0.30	1.31	1.19	0.0370
4.45	0.72	0.27	1.07	0.95	0.0555
5.12	0.69	0.24	0.83	0.77	0.0444
5.53	0.67	0.22	0.71	0.65	0.0505
5.90	0.66	0.21	0.59	0.54	0.0400
6.23	0.65	0.20	0.50	0.48	0.0124
6.65	0.64	0.19	0.47	0.41	0.0370
7.15	0.63	0.18	0.35	0.31	0.0263
7.52	0.62	0.17	0.28	0.25	0.0172
8.03	0.61	0.16	0.23	0.17	0.0222
8.87	0.59	0.14	0.11	0.05	0.0391
9.28	0.58	0.13	0.00	0.00	0.0000
9.70	0.58	0.13	0.00	0.00	0.0000
10.12	0.58	0.13	0.00	0.00	0.0000

TABLA # 17
 DATOS CALCULADOS
 METODO 2, PRUEBA 3

TIEMPO DE SECADO	PESO DE MUESTRA +BANDEJA	PESO DE MUESTRA	HUMEDAD	VALOR MEDIO HUMEDAD	VELOCIDAD MEDIA
(hras.)	(lb.)	(lb.)	(lba/lbss)	(lba/lbss)	(lba/h-pie ²)
0.00	1.00	0.56	8.33	7.29	0.2539
0.58	0.88	0.44	6.25	6.12	0.0397
1.05	0.86	0.42	5.99	5.34	0.2222
1.47	0.78	0.34	4.69	4.43	0.0889
1.88	0.75	0.31	4.17	3.91	0.0889
2.30	0.72	0.28	3.65	3.39	0.0889
2.72	0.69	0.25	3.13	2.86	0.0444
3.55	0.66	0.22	2.60	2.34	0.0889
3.97	0.63	0.19	2.08	1.82	0.0444
4.80	0.59	0.15	1.56	1.30	0.0197
6.68	0.56	0.12	1.04	0.91	0.0192
7.65	0.55	0.11	0.78	0.65	0.0463
8.05	0.53	0.09	0.52	0.39	0.0444
8.47	0.52	0.08	0.26	0.13	0.0074
10.97	0.50	0.06	0.00	0.00	0.0000
11.30	0.50	0.06	0.00	0.00	0.0000
11.72	0.50	0.06	0.00	0.00	0.0000

C. CALCULO DE MUESTRA

Para obtener los resultados de las Tablas de Datos Calculados, Tablas 12 a 17, Apéndice B, se siguió el procedimiento siguiente:

1. Se obtuvo el tiempo de secado en horas, a partir del tiempo de secado en minutos, leído en la sección de Datos Originales, Tablas 6 a 11, Apéndice A.

2. Para obtener el peso neto de la muestra, se restó el peso leído de bandeja más muestra, presentado en Datos Calculados, Tablas # 12 a 17, Apéndice B, en libras, del peso de la bandeja, presentado en Tablas 1 a 3, sección de Metodología, Parte B.

Por ejemplo, para el Método 1, Prueba 1, tiempo de 0.38 horas:

De la Tabla # 1 de Características de los métodos: peso de la bandeja es 0.44 lb.

$$\text{Peso Muestra} = 1.25 \text{ lb} - 0.44 \text{ lb} = 0.81 \text{ lb}$$

Este dato se puede encontrar en la Tabla #12 de Datos Calculados, Apéndice B.

3. Para calcular la humedad en base seca, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{humedad} = \frac{\text{peso muestra húmeda} - \text{peso sólido seco}}{\text{peso sólido seco}}$$

Esto se expresa en lb agua/ lb sólido seco

Ejemplificando, Método 1, Prueba 1, tiempo de 0.38 horas:

$$\text{Humedad} = (0.81 - 0.06) / 0.06 = 12.5 \text{ lba/lbss}$$

Estos datos se encuentran tabulados en las Tablas #12 a 17, de Datos Calculados, Apéndice B.

4. La humedad media, que se encuentra tabulada en las Tablas # 12 a 17 del Apéndice B, se obtuvo a partir de un simple promedio entre la humedad inicial y la siguiente, y así sucesivamente, hasta completar todos los datos tabulados.

5. La velocidad media de secado, tabulada en las Tablas # 12 a 17 del Apéndice, Parte B, se obtuvo de la siguiente fórmula:

$$\text{velocidad media} = \frac{(-\text{peso sólido seco})(\text{difer. humedades})}{(\text{área})(\text{difer. tiempo})}$$

Donde:

Area = área de la superficie expuesta, cuyo dato es constante para todas las pruebas y se encuentra en las Tablas # 1 a 3, de características de los métodos.

Peso sólido seco = peso final del sólido seco, encontrado en las Tablas de Datos Calculados, Tablas # 12 a 17, el peso en libras, al final de las lecturas (peso que ya no varió).

Diferencial de tiempo = Tiempo Final - Tiempo Inicial, entre dos puntos o lecturas

Diferencial de humedad = Humedad Final - Humedad Inicial, entre dos puntos o lecturas

Ejemplificando, Método 1, Prueba 1:

$$\text{velocidad media} = \frac{(-.06)(10.68-12.5)}{(.844)(.38 - 0.00)} = 0.34 \text{ lba/h-pie}^2$$

Ahora, para obtener los resultados de las Tablas de Resultados Tablas 4 y 5, se hizo lo siguiente:

6. Para encontrar el Peso Seco de la muestra se usó la relación:

Peso seco = peso medido al final - peso de bandeja

Donde el peso de la bandeja se encuentra en las Tablas # 1 a 3, Tablas de Características de los Métodos, y el Peso medido al final es el que se encuentra en las Tablas de Datos Calculados, en libras.

Ejemplificando con el Método 1, Prueba 1:

Peso seco = (0.50 lb - 0.44 lb) = .06 lb

7. Para encontrar el peso fresco al inicio, se usó:

Peso Fresco = Peso inicial medido - Peso de Bandeja

Ejemplificando para el Método 1, Prueba 1:

Peso Fresco = (1.25 lb - 0.44 lb) = 0.81 lb

8. Para obtener el Rendimiento de peso fresco a peso seco se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = (\text{peso seco/peso fresco}) \times 100$$

Ejemplificando para el Método 1, Prueba 1:

$$\% \text{ Rendimiento} = (0.06/0.81) \times 100 = 7.41$$

Y de esto se obtiene el promedio de las tres pruebas, usando un promedio aritmético.

9. Los porcentajes de pérdida de cáscara y desperdicio se obtuvieron así:

$$\% \text{ pérdida} = \frac{\text{peso cáscaras o desperdicio}}{\text{peso total de piñas}} \times 100$$

Ejemplificando para el Método 1, Prueba 1:

$$\% \text{ pérdida} = (4.5 \text{ lb}/21 \text{ lb}) \times 100 = 21.43 \%$$

Y el porcentaje de peso fresco de piña utilizable se sacó de restarle al 100% el porcentaje de pérdida por cáscara y el porcentaje de pérdida por desperdicio. Luego se obtuvo un promedio aritmético entre las pruebas.

10. El tiempo total de secado se sacó de las Tablas de Datos Calculados, Tablas # 12 a 17, leyendo el dato de la última lectura, que es la lectura donde el peso final ya no varió.