

12 300627

24

UNIVERSIDAD LA SALLE



ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

"DETERMINACION DE ISOTERMAS DE SORCION DE
HUMEDAD A 25 Y 35°C DE CAFE Coffea arabica
PROCEDENTE DE TRES REGIONES PRODUCTORAS
MEXICANAS"

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A
Martha Patricia Ortega Cuevas

Director de Tesis;
Q. IRENE MONTALVO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL LABORATORIO DEL
DEPARTAMENTO DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN EN
ALIMENTOS DE LA ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL,
BAJO LA DIRECCIÓN DE LA M. EN C. IRASEMA ANAYA
SOSA, COMO PARTE DEL PROYECTO: CONSERVACIÓN DE
SEMILLAS DE TRÓPICO HUMEDO, CLAVE
862551 ; FINANCIADO POR D.E.P.I.-I.P.N.

INDICE

CAPITULO		PAGINAS
	INDICE DE CUADROS	1
	INDICE DE FIGURAS	111
I	INTRODUCCION	1
II	OBJETIVOS	2
III	GENERALIDADES	3
IV	MATERIALES Y METODOS	17
V	DESARROLLO EXPERIMENTAL	22
VI	RESULTADOS Y DISCUSION	25
VII	CONCLUSIONES	97
VII	BIBLIOGRAFIA	98

INDICE DE CUADROS

CUADRO No. 1	VALORES DE ACTIVIDAD ACUOSA OBTENIDOS CON LA UTILIZACION DE SOLUCIONES SOBRESATURADAS DE SALIS	19
CUADRO No. 2	ANALISIS PROXIMAL DE CAFE Coffea arabica, DE ATOYAC, GRO., HUATUSCO, VER., NICOTEPEC, PUE.	26
CUADRO No. 3	DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION DE CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25°C	32
CUADRO No. 4	DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DE CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25°C	36
CUADRO No. 5	DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION DE CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35°C	40
CUADRO No. 6	DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DE CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35°C	44
CUADRO No. 7	DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION DE CAFE DE HUATUSCO, VER., A 25°C	56

CUADRO No. 8 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DE CAFE DE HUATUSCO, VER., A 25°C.....	60
CUADRO No.9 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION DE CAFE DE HUATUSCO, VER., A 35°C.....	64
CUADRO No. 10 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DE CAFE DE HUATUSCO, VER., A 35°C.....	68
CUADRO No. 11 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION DEL CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 25°C.....	79
CUADRO No. 12 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DE CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 25°C.....	73
CUADRO No.13 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION DE CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 35°C.....	87
CUADRO No. 14 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DE CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 35°C.....	91
CUADRO NO. 15 CUADRO COMPARATIVO DE VALORES DE LA MONOCAPA A 25 Y 35°C, OBTENIDA POR LAS ECUACIONES DE B.E.T. Y G.A.B., DE LAS TRES REGIONES ESTUDIADAS.....	96

INDICE DE FIGURAS

FIGURA No. 1 DESCRIPCION DEL FRUTO DEL CAFE	6
FIGURA No.2 SUCESION DE LAS OPERACIONES QUE SE REALIZAN PARA EL TRATAMIENTO DEL CAFE POR VIA HUMEDA Y SECA	7
FIGURA No. 3 ISOTERMA DE SORCION	1 0
FIGURA No. 4 TIPOS DE ISOTERMA	1 1
FIGURA No. 5 TIPOS DE AGUA PRESENTES EN UN ALIMENTO	1 2
FIGURA No. 6 FRASCO DE WINK	2 0
FIGURA No. 7 DIAGRAMA DE LA SECUENCIA EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACION DE LAS CURVAS ISOTERMAS DE SORCION DE HUMEDAD	24
FIGURA No. 8 ISOERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25 Y 35°C	2 8
FIGURA No. 9 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25 Y 35°C	2 9
FIGURANº.10 ISOTERMAS DE ADSORCION Y DESORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25°C	3 0

FIGURA N ^o . 11 ISOTERMAS DE ADSORCION Y DESORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35 ^o C	3 1
FIGURA N ^o . 12 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25 ^o C Y SU AJUSTE CON MODELOS MATEMATICOS DE G.A.B. Y B.E.T.	3 3
FIGURA N ^o . 13 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25 ^o C Y SU AJUSTE CON MODELOS MATEMATICOS DE CAURIE Y HENDERSON	3 4
FIGURA N ^o . 14 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25 ^o C Y SU AJUSTE CON MODELOS MATEMATICOS DE OSWIN E IGLESIAS	3 5
FIGURA N ^o . 15 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35 ^o C Y SU AJUSTE CON MODELOS MATEMATICOS DE G.A.B. Y B.E.T.	3 7
FIGURA N ^o . 16 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25 ^o C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE CAURIE Y HENDERSON	3 8
FIGURA N ^o . 17 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25 ^o C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE OSWIN E IGLESIAS	3 9
FIGURA N ^o . 18 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35 ^o C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE G.A.B. Y B.E.T.	4 1
FIGURA N ^o . 19 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35 ^o C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE CAURIE Y HENDERSON	4 2

FIGURA N° 20 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE IGLESIAS Y OSWIN	4 3
FIGURA N° 21 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE G.A.B. Y B.E.T.	4 5
FIGURA N° 22 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE CAURIE Y HENDERSON	4 6
FIGURA N° 23 ISOTERMA DE ADSORCION PARA CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE OSWIN E IGLESIAS	4 7
FIGURA N° 24 ISOTERMA DE ADSORCION PARA CAFE DE HUATUSCO, VER., A 25 Y 35°C	5 1
FIGURA N° 25 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE HUATUSCO, VER., A 25 Y 35°C	5 2
FIGURA N° 26 ISOTERMAS DE ADSORCION Y DESORCION PARA CAFE DE HUATUSCO, VER., A 25°C	5 3
FIGURA N° 27 ISOTERMA DE ADSORCION Y DESORCION PARA CAFE DE HUATUSCO, VER., A 35°C	5 4
FIGURA N° 28 ISOTERMA DE ADSORCION PARA CAFE DE HUATUSCO, VER., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE B.E.T. Y G.A.B.	5 7
FIGURA N° 29 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE HUATUSCO, VER., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE CAURIE Y HENDERSON	5 8

FIGURA N.º 30 ISOTERMIA DE ADSORCIÓN PARA CAFÉ DE HUATLUSCO, VER., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE OSWINEIGLESIAS	59
FIGURA N.º 31 ISOTERMIA DE DESORCIÓN PARA CAFÉ DE HUATLUSCO, VER., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE B.E.T. Y G.A.B.	61
FIGURA N.º 32 ISOTERMIA DE DESORCIÓN PARA CAFÉ DE HUATLUSCO, VER., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE CALDERÍ Y HENDERSON	62
FIGURA N.º 33 ISOTERMIA DE DESORCIÓN PARA CAFÉ DE HUATLUSCO, VER., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE OSWINEIGLESIAS	63
FIGURA N.º 34 ISOTERMIA DE ADSORCIÓN PARA CAFÉ DE HUATLUSCO, VER., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE B.E.T. Y G.A.B.	65
FIGURA N.º 35 ISOTERMIA DE ADSORCIÓN PARA CAFÉ DE HUATLUSCO, VER., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE CALDERÍ Y HENDERSON	66
FIGURA N.º 36 ISOTERMIA DE ADSORCIÓN PARA CAFÉ DE HUATLUSCO, VER., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE OSWINEIGLESIAS	67

FIGURA N ^o . 37 ISOTERMA DE DESORCION PARA CAFE DE HUATUSCO, VER., A 35°C, Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE B.E.T. Y G.A.B.....	69
FIGURA N ^o . 38 ISOTERMA DE DESORCION PARA CAFE DE HUATUSCO, VER., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE CAURIE Y HENDERSON.....	70
FIGURA N ^o . 39 ISOTERMA DE DESORCION PARA CAFE DE HUATUSCO, VER., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE OSWIN E IGLESIAS.....	71
FIGURA N ^o . 40 ISOTERMA DE ADSORCION PARA CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 25 Y 35°C.....	74
FIGURA N ^o . 41 ISOTERMA DE DESORCION PARA CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 25 Y 35°C.....	75
FIGURA N ^o . 42 ISOTERMA DE ADSORCION Y DESORCION PARA CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 25°C.....	76
FIGURA N ^o . 43 ISOTERMA DE ADSORCION Y DESORCION PARA CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 35°C.....	77
FIGURA N ^o . 44 ISOTERMA DE ADSORCION PARA CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE G.A.B. Y B.E.T.....	80
FIGURA N ^o . 45 ISOTERMA DE ADSORCION PARA CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE CAURIE Y HENDERSON.....	81

FIGURA N ^o . 46 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE NICOITEPEC, PUE., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE OSWIN E IGLESIAS	8 2
FIGURA N ^o . 47 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE NICOITEPEC, PUE., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE G.A.B. Y B.E.T.	8 4
FIGURA N ^o . 48 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE NICOITEPEC, PUE., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE CAURIE Y HENDERSON	8 5
FIGURA N ^o . 49 ISOTERMAS DE DESORCION PARA CAFE DE NICOITEPEC, PUE., A 25°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE IGLESIAS Y OSWIN	8 6
FIGURA N ^o . 50 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE NICOITEPEC, PUE., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE B.E.T. Y G.A.B.	8 8
FIGURA N ^o . 51 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE NICOITEPEC, PUE., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE CAURIE Y HENDERSON	8 9
FIGURA N ^o . 52 ISOTERMAS DE ADSORCION PARA CAFE DE NICOITEPEC, PUE., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMATICOS DE OSWIN E IGLESIAS	9 0

FIGURA Nº. 53 ISOTERMAS DE DESORCIÓN PARA CAFÉ DE XICOTEPEC, PUE., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE G.A.B. Y B.E.T.	9 2
FIGURA Nº. 54 ISOTERMAS DE DESORCIÓN PARA CAFÉ DE XICOTEPEC, PUE., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE CAURIE Y HENDERSON	9 3
FIGURA Nº. 55 ISOTERMA DE DESORCIÓN PARA CAFÉ DE XICOTEPEC, PUE., A 35°C Y SU AJUSTE CON LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE OSWIN E IGLESIAS	9 4

CAPITULO I

INTRODUCCION

Desde el punto de vista agrícola el café constituye el principal producto de exportación y el cuarto producto que ingresa divisas a México. (28)

El café que se exporta se conoce como café verde o café oro. En 1989, se exportaron 120Ton de café, que produjeron divisas por 340 millones de US/DLLS.(10)

En el país existen plantaciones por cerca de 65,000 Ha, siendo Chiapas, Oaxaca, Veracruz y Puebla los estados productores más importantes. (28)

La variedad de café que más se cultiva en México es *Coffea arabica*, aportando el 95% de la producción nacional.La cosecha se presenta en forma escalonada concentrándose la producción en el período que va de Octubre a Febrero. (10)

En las últimas décadas, ha sido de gran interés conocer las propiedades de sorción del café debido a que la principal problemática con la que se enfrentan durante su almacenamiento como café oro, es precisamente su inadecuado contenido de humedad final lo que redundo en su deterioro y en grandes pérdidas económicas. (11)

Al realizar el estudio de sorción y aplicando modelos matemáticos diversos, se puede determinar el valor de la monocapa y de esta manera determinar el valor de humedad más seguro para el almacenamiento. (6)

CAPITULO II

OBJETIVOS

1. Determinar las isothermas de sorción de café *Coffea arabica* a 25 y 35°C, procedentes de Puebla, Veracruz y Guerrero.
2. Realizar un estudio comparativo de los modelos matemáticos que satisfagan las características de las muestras estudiadas de *Coffea arabica*.
3. Calcular el valor de la monocapa en base del modelo matemático que mejor describa el comportamiento termodinámico del café *Coffea arabica*.

CAPITULO III

GENERALIDADES

3.1 GENERALIDADES DEL CAFE

El café forma parte de la familia de las Rubiaceas de la que constituye el género *Coffea*, establecido por De Jussies (1735). El profesor Augusto Chevalier cita alrededor de setenta especies en su agrupación sistemática (1929). Más tarde, esta cifra ha ido aumentando con varias nuevas especies descubiertas en todo el mundo en estos últimos años especialmente en Madagascar, y es probable que las investigaciones que actualmente se realizan permitan enriquecer aún más este inventario.

En la actualidad se exportan en todo el mundo fundamentalmente dos especies: *Coffea arabica* y *Coffea canephora (robusta)*, las especies comprendidas del género *Coffea* varían desde el arbusto a pocos decímetros de altura, hasta el árbol que alcanza de 12 a 15m, presentando también diversas características en su ramaje, hojas, frutos y semillas (10).

El *Coffea arabica* no es originario de Arabia, como podría suponerse por su denominación, sino de Etiopia (Absinia), por lo que su origen es africano y no asiático (29).

El *Coffea canephora* descubierto en Africa, ocupa el segundo lugar en el mundo en cuanto a explotación cultivandose sobretodo en Africa e Indonesia (29).

3.2. DESCRIPCION DEL CAFETO

El cafeto, noble arbusto del que el hombre extrae el café, requiere para su cultivo de innumerables atenciones y cuidados. El clima debe de ser cálido, con alto nivel de humedad y el sol no debe de llegar directamente a la planta, de ahí que en las plantaciones de café encontremos árboles de plátano cuyas enormes hojas protegen y dan sombra al cafeto (10).

En general, ninguna especie de *Coffea* resiste mucho tiempo una temperatura cercana a los 0°C. Los ascensos de temperatura por encima de los 30°C afectan al *Coffea arabica*. El *Coffea canephora* resiste altas temperaturas. Las temperaturas medias óptimas oscilan entre 22 y 26°C (29).

En su hábitat natural, el cafeto se encuentra en lugares sombríos o semisombríos, sin embargo los cafetos en cultivos sin sombreado son capaces de dar un rendimiento elevado (31).

Los vientos son nocivos para el cafeto por producir roturas de ramas y caída de hojas. Los vientos secos y cálidos producen el que las hojas se marchiten y que los brotes juvenes se pierdan (28).

El cafeto, presenta como especies más productivas, la *arabica*, que es la más extendida en el mundo (80%) y la robusta. Su zona de cultivo se extiende por las regiones ecuatoriales y tropicales. Un verdadero cinturón de café rodea al mundo entre los dos trópicos cubriendo Centro y Sudamérica (35 millones de Tm), Africa (600, 000 Tm), y parte de Asia e Indonesia (120,000 a 660,000 Tm) (9).

En todas sus variedades el cafeto se presenta verde y brillante todo el año. Se encuentra conformado por hojas apertadas colocadas en forma opuesta de dos en dos. Sus flores son blancas y su fruto en forma de cereza, alberga en su interior un par de granos que más tarde se procesarán dando como resultado la bebida de café. Su semilla mide cerca de 1cm de largo y es de color amarillento verdoso, convexa por una parte y plana, con un surco longitudinal por la otra (10).

Los frutos maduros del cafeto se tratan en los lugares mismos de su cosecha y se someten a una serie de operaciones que tienen por objeto despojar a los granos de sus envolturas: pulpa, mucilago, pergamino, película (31).

En la figura N^o 1, se describe el fruto del cafeto. Este fruto llamado vernaculamente cereza, uva o capulín, esta constituido por las siguientes partes (9):

- a. Epicarpio: Es la capa externa del fruto, su nombre comun es pulpa.
- b. Mesocarpio: Esta localizado entre la pulpa y la cascara del grano de cafe, comunmente se llama mucilago.
- c. Endocarpio: Es la cáscara del grano de café, comunmente llamado pergamino o pajilla, es de color amarillo pajizo.
- d. Espermodermo: Es el grano o semilla del café, se le conoce como café verde o café oro (10).

La cereza del cafeto en su estado maduro tiene un color rojo púrpura, este es el momento adecuado para su recolección. Inmediatamente después se somete a un proceso de transformación, hasta obtener el grano de café, sin las películas que lo envuelven, obteniendo así un producto más estable, eminentemente comercial, llamado café verde o café oro (10).

En la figura N^o 2, se ilustran las operaciones que tienen por objeto despojar a los granos de sus envolturas (pulpa, mucilago, pergamino, película), y mejorar su presentación (28).

Para obtener el grano comerciable se recurre a una de las dos técnicas siguientes:

VIA HUMEDA: Consta de tres pasos principales:

- a. Eliminación de la pulpa (despulpado) y del mucilago (demucilagización), por medio de lavado del fruto.
- b. Secado del café. El café despojado de las películas anteriores se le conoce como pergamino.
- c. Eliminación de las envolturas internas, pajilla y película plateada.

VIA SECA: Consta de dos pasos principales:

- a. Secado de los frutos. El café entero se somete al secado.
- b. Eliminación de las envolturas, en una única operación mecánica (decorticación)

Recurrir a la vía húmeda es lo normal para el café arábico escogido, porque es el método que confiere al grano un aspecto agradable, y esto valoriza los lotes (10).

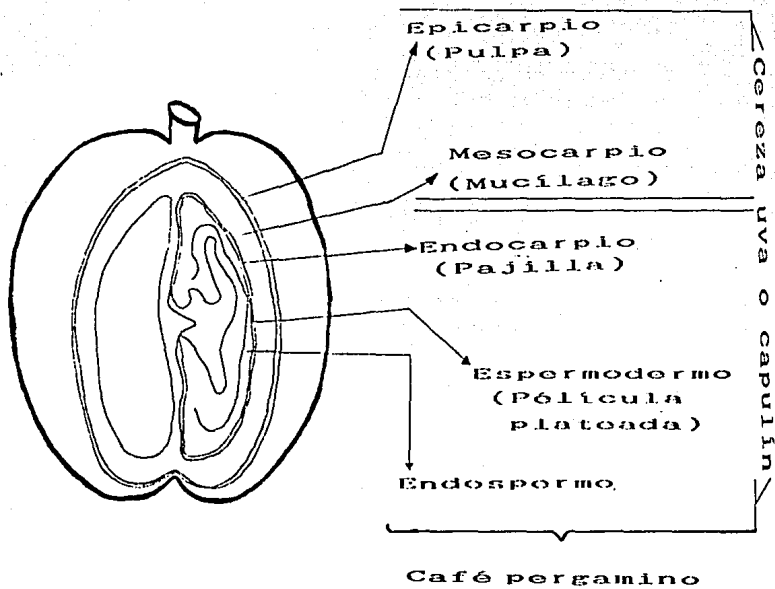


FIGURA No. 1: DESCRIPCION DEL FRUTO DEL CAFE.

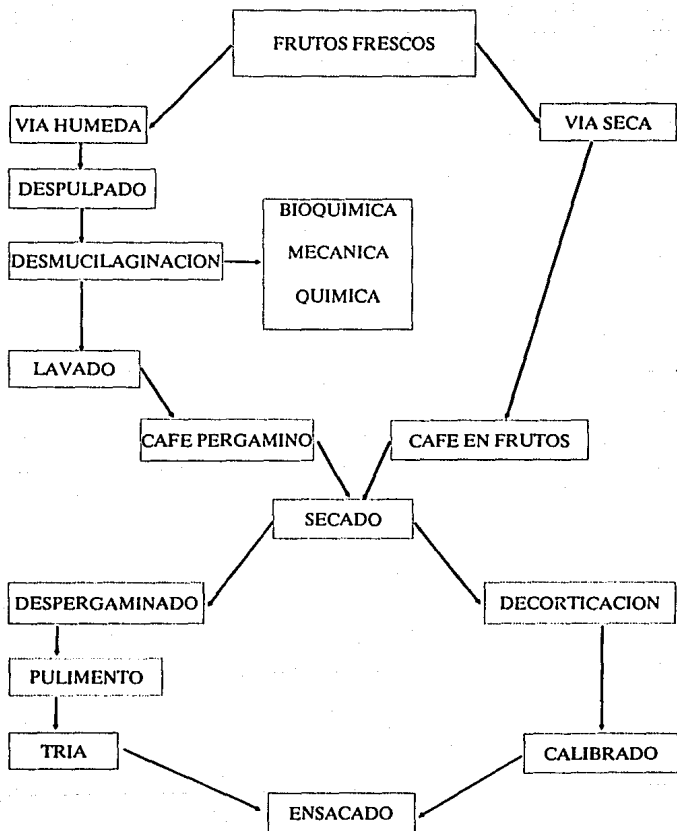


FIGURA Nº 2: SUCESION DE LAS OPERACIONES QUE SE REALIZAN PARA EL TRATAMIENTO DEL CAFE POR VIA HUMEDA Y SECA.

3.3 ACTIVIDAD DE AGUA

La determinación de los componentes que conforman el café es de suma importancia para la comercialización y almacenaje adecuado del producto. (11)

En cuanto a las propiedades funcionales de estos componentes, el agua, juega un papel de suma importancia ya que toma parte en los procesos deteriorativos que se llevan a cabo en el alimento, caracterizados por su actividad de agua, lo cual determina el grado de interacción del agua con los demás componentes del alimento, a la vez es una medida indirecta del agua disponible para llevar a cabo diversas reacciones de alteración, en las que la actividad acuosa tiene un efecto de punto de partida (3).

En los métodos de conservación de alimentos: secado, congelación, refrigeración, concentración, etc., la actividad acuosa es el factor principal, así como en los procesos bioquímicos y biológicos. (20)

De acuerdo con la generalización de la ley de Raoult, la razón de la Presión de Vapor (P_0) ejercida por el agua contenida en un alimento (P) a la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura es llamada actividad de agua (27).

También puede definirse como la humedad relativa en el equilibrio en el cual un alimento no ganará ni perderá humedad. En forma de ecuación se convierte en (27):

$$A_w = \frac{P_0}{P} = \frac{HRE}{100}$$

3.3.1 ISOTERMAS DE SORCIÓN DE HUMEDAD

En la figura No. 3, donde se representa la actividad de agua a una temperatura dada, o bien el porcentaje de humedad relativa en equilibrio contra el contenido de humedad del alimento (expresado como gramos de agua por 100 gramos de sólido seco), se aprecia una gráfica de lo que se conoce como Isoterma de Sorción (17).

La curva de sorción de humedad puede ser generada de un proceso de adsorción (empezando con un sistema seco en el cual $A_w = 0$), o bien, de un proceso de desorción (empezando con un sistema húmedo en el cual $A_w = 1$) (21).

Las isotermas de sorción se usan para predecir el contenido de humedad crítica o actividad de agua alrededor de la cual los alimentos secos pierden su textura crujible, siendo objeto de rechazo por parte del consumidor. (25) Estas isotermas se usan además para determinar la máxima humedad que se le puede permitir al alimento ganar durante su almacenamiento a fin de que este sea estable. Se utilizan para predecir la vida de anaquel de los productos alimenticios empacados en determinados materiales, en la selección de humectantes de presores de la actividad de agua, para la producción de alimentos de humedad intermedia (22).

Según la clasificación de Brunauer et. al. (18), existen básicamente tres tipos de isotermas que se presentan en los alimentos. Para la mayoría de los sistemas alimenticios la isoterma de forma sigmoideal es la más usual, se le conoce como isoterma tipo II, con menor frecuencia tenemos la isoterma tipo I, que presenta un aumento gradual de la pronunciación de la curva. La isoterma de tipo III, generalmente se presenta en alimentos con un alto contenido de azúcares y compuestos de bajo peso molecular, así como bajo contenido de polímeros. Figura Nº. 4. La isoterma puede ser dividida en tres regiones:

La región A, corresponde a la adsorción de una capa monomolecular de agua. Es también llamada monocapa, sitio polar o agua ligada,

La región B, corresponde a la adsorción de capas adicionales de agua sobre la monocapa. Es también llamada multicapa o agua intermedia.

La región C, se refiere a la condensación de agua de los poros del material, seguida por la disolución del material soluble presente. Frecuentemente es descrita como agua móvil, agua de condensación o agua libre. Figura Nº 5.

El agua libre presente en los alimentos, esta íntimamente relacionada con la presencia, desarrollo, y daño que causan los microorganismos al alimento (23, 13). Por lo que algunos autores afirman, que el contenido residual de humedad correspondiente a una capa monomolecular de agua adsorbida, definida por la teoría de B.E.T., confiere al producto la máxima estabilidad en el almacenamiento (1,22).

La diferencia entre las curvas de adsorción y desorción es llamada histéresis, ésta es debida a la interacción de los constituyentes de los alimentos, de modo que en los sitios físicos donde ocurre esta, se pierden (17).

En general, el camino más simple para crear una isoterma de sorción de humedad para un alimento es crearle un microambiente con un porcentaje de humedad controlada a una temperatura constante, y medir la ganancia o pérdida de peso, hasta que esta, se estabilice, esto sucede cuando la muestra ya ha alcanzado el equilibrio. Para crear el porcentaje de humedad controlada se utilizan varios métodos, entre los que se encuentran:

a. Higrómetro eléctrico

Este aparato esta equipado con un control de temperatura, el cual mantiene el sensor con una temperatura constante en el rango de 0 a 50°C.

En este método se utilizan soluciones salinas para crear el porcentaje de humedad relativa que se desee. La muestra es colocada en el equipo, junto con la sal que se requiere para la humedad que se desea medir, se deja a que alcance el equilibrio, y por ganancia o pérdida de peso se logran construir las isotermas de sorción.

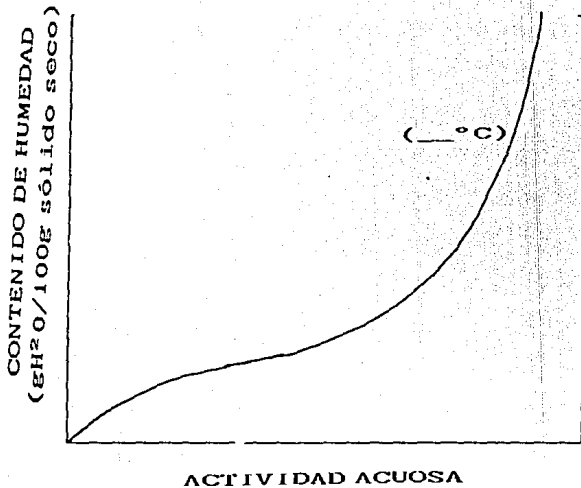


FIGURA No. 3 ISOTERMA DE SORCION

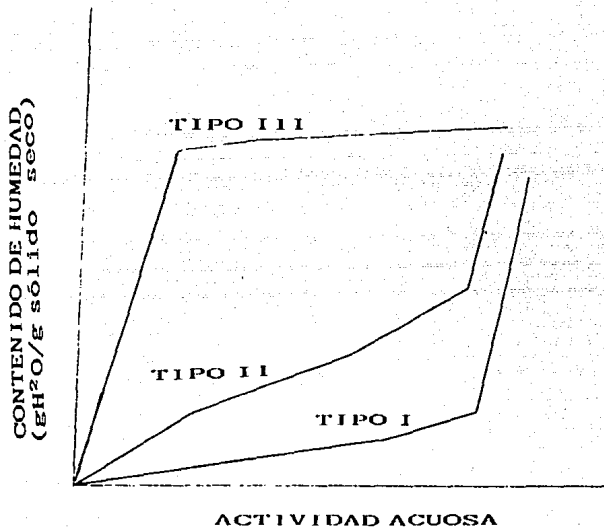


FIGURA No. 4: TIPOS DE ISOTERMA

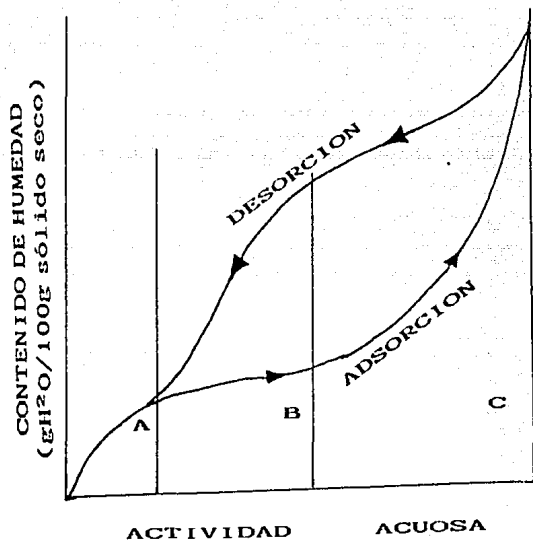


FIGURA No. 5 TIPOS DE AGUA PRESENTES EN UNA ISOTERMA DE ADSORCION DE HUMEDAD.

b. Mezclas de ácido sulfúrico/agua

Existen tablas de presión para las soluciones ácido sulfúrico/agua, a diversas concentraciones de ácido sulfúrico. Estas soluciones pueden ser colocadas en la parte baja de un desecador y el alimento expuesto al vapor que se desprende. Así, pueden obtenerse los puntos de las isoterms, con la ganancia o pérdida de peso que se va generando, hasta lograr el equilibrio.

c. Mezclas glicerol/agua

La naturaleza corrosiva del glicerol subsana algunos de los problemas asociados con el ácido sulfúrico; sin embargo, también tiende a volatilizarse y adsorberse en el alimento, causando así error al momento de anotar la ganancia de peso. Esta solución se coloca en la parte baja del recipiente y el alimento se expone a la humedad que genera la mezcla, dependiendo de la concentración de la mezcla es el porcentaje de humedad que genera y de este modo el alimento al estar en contacto con esta humedad va a ganar o perder peso.

d. Soluciones salinas

Soluciones saturadas de varios ácidos orgánicos y bases, así como también sales inorgánicas, producen una presión de vapor constante a una temperatura constante. Este método es conocido como método de Wink.

Es de los métodos que más se han usado debido a que dentro de las sales que se pueden utilizar se encuentran varias que no dañan el producto como las mezclas anteriores.

3.4 MODELOS MATEMATICOS

La representación matemática de las isoterms ha sido complementada con muchas teorías, que han sido desarrolladas para describir la forma de las isoterms de sorción desde el punto de vista teórico; la necesidad de tener una ecuación matemática que exprese satisfactoriamente la isoterma es obvia para proceder a su aplicación en procesos de secado, predicciones de vida de anaquel, etc. (11,25)

Dentro de los modelos matemáticos que se han utilizado en la industria alimenticia, como ecuaciones para ajustar isoterms de sorción se encuentran:

ECUACION DE B.E.T.

Da un estimado del valor de la monocapa de agua adsorbida por un material. Ha sido mostrado que este valor de la monocapa de agua adsorbida corresponde al contenido de humedad en el cual la mayoría de los sistemas alimenticios tienen la máxima estabilidad.

El modelo de B.E.T., es una herramienta útil para analizar isothermas de alimentos. Su ecuación es la siguiente:

$$\frac{P}{v(P_0-P)} = \frac{1}{vmC} + \frac{C-1}{vmC} \frac{P}{P_0}$$

Donde P y P_0 son las presiones de vapor de agua pura y adsorbida, v es el mismo volumen de vapor de agua adsorbida, vm es el volumen que cubre la superficie por una capa única y C es una constante.

La ecuación de B.E.T., generalmente se utiliza dentro del intervalo de A_w de 0.05 a 0.45, pero esto da suficientes datos para calcular los parámetros de M_0 y C . (23)

ECUACION DE G.A.B.

Esta ecuación posee tres parámetros con coeficientes físicos significativos, los cuales ajustan muy bien datos arriba de 0.09 de A_w .

La ecuación es la siguiente:

$$\frac{W}{W_m} = \frac{CKAw}{(1-KAw)(1-KAw + CKAw)}$$

Donde A_w es la actividad acuosa, W es el contenido de humedad en base seca, m es el contenido de humedad correspondiente a la saturación de todos los sitios primarios de adsorción por una molécula de agua, C es la constante de Guggenheim = $C' \exp (H_i - H_m) / RT$, H_m es el calor total de sorción de la primera capa sobre los sitios primarios, K es el factor de corrección de las propiedades de las moléculas de la multicapa con respecto al volumen líquido, H_i es el calor de condensación de vapor de agua. (4)

Este tipo de modelo da un ajuste bastante favorable en el intervalo de A_w de 0.09 a 0.9. (4)

ECUACION DE CAURIE

Caurie propuso la siguiente ecuación basándose en manipulaciones puramente matemáticas:

$$\ln C = \ln A - r A_w$$

Donde r y A son constantes, C es la concentración de agua, que se obtiene:

$$C = \frac{100 - \% \text{agua}}{\% \text{agua}}$$

Esta ecuación es válida en el intervalo de A_w de 0 a 0.85. (3)

ECUACION DE HENDERSON

Esta ecuación puede escribirse como sigue:

$$\ln(-\ln(1-A_w)) = n \ln M + \ln K$$

Donde K y n son constantes.

Se ha utilizado mucho para relacionar A_w con la cantidad de agua adsorbida. Gráficando $\ln(-\ln(1-A_w))$ contra la cantidad de agua adsorbida nos da una línea recta, y tenemos la relación antes mencionada.(4)

ECUACION DE IGLESIAS & CHIRIFE

Esta basada en el análisis del fenómeno de sorción en alimentos ricos en azúcar, el cual es complicado precisamente por la disolución de azúcares. Esta ecuación es propuesta para describir la sorción de humedad en frutas y sistemas ricos en azúcares. La ecuación es la siguiente:

$$\ln(M + M^2 + M(0.5)) = bA_w + p$$

• Donde $M(0.5)$ es el contenido de Humedad a una A_w de 0.5 y b y p son constantes (6).

ECUACION DE OSWIN

Esta ecuación es una serie matemática de expansión para las curvas de forma sigmoidal:

$$M = A \frac{A_w^n}{1-A_w}$$

Donde A y n son constantes.(4)

CAPITULO IV

MATERIALES Y METODOS

IV.1 MATERIALES

IV.1.1. Materia prima: Café pergamino oreado, *Coffea arabica*, procedente de Atoyac, Gro., Huatusco, Ver., y Xicotepec, Pue.

IV.1.2. EQUIPO

Novasina Thermoconstanter Humidat TH2met.

Estufa de vacío (Marca Presicion, Modelo 19)

Balanza analítica (Marca Mettler, Modelo H-10)

Balanza granatária (Marca Mettler, Modelo Pc 8000)

Molino Wiley (Marca General Electric, Modelo KX 58600 BDKHA)

Camaras de atmosfera controlada (Marca Hotpack)

IV.1.3 MATERIAL ESPECIAL

Cámaras de Wink

Cámaras de Wink modificadas

IV.2. METODOS

IV.2.1. ANALISIS PROXIMAL

III.2.1.1. Humedad	A.A.C.C. 44-10 (2)
III.2.1.2. Cenizas	A.A.C.C. 08-01 (2)
III.2.1.3. Proteína	A.A.C.C. 46-12 (2)
III.2.1.4. Grasa	A.A.C.C. 32-15 (2)
III.2.1.5. Fibra Cruda	A.A.C.C. 02-02A (2)

IV.2.2. ANALISIS PARA DETERMINAR ACTIVIDAD DE AGUA

IV.2.2.1. METODO GRAVIMETRICO DE WINK (30).

El metodo de Wink, que es un método gravimétrico de registro discontinuo de peso (15), se basa precisamente en la diferencia de peso debido a la adsorción o desorción de agua que experimenta el alimento al estar en contacto con diversas humedades relativas. (7 ,15).

Se utilizaron frascos de vidrio adaptados para este método. en cuyo interior se colocaron unas cápsulas de vidrio suspendidas por tres alambres de acero inoxidable calibre No. 24 (15). Figura No.6

En dichas cápsulas se colocaron 2g de muestra y posteriormente se adicionaron a los frascos 30ml de soluciones saturadas de diversas sales, las cuales dan diversas humedades relativas al microambiente. (7). Cuadro No. 1

Una vez colocada la muestra en el interior de estas cámaras, se cerraron herméticamente y se colocaron en la cámara de atmosfera controlada a 35°C. Este procedimiento se llevó a cabo por triplicado.

Las lecturas de variación de peso se realizaron cada 48 Hrs, en una balanza analítica, hasta que dicha variación de en las últimas determinacion no fuera mayor a 1×10^{-3} g. Una vez alcanzado el equilibrio, se calculó el porcentaje de humedad en base seca, y finalmente se construyeron las isotermas de sorción, con los datos generados con este método.

CUADRO No. 1 VALORES DE ACTIVIDAD ACUOSA OBTENIDOS CON LA UTILIZACION DE SOLUCIONES SOBRESATURADAS DE SALES. (7)

SAL	ACTIVIDAD DE AGUA	TEMPERATURA
LiCl	0.0637	25°C
	0.0588	35°C
CH ₃ COOK	0.2338	25°C
	0.2251	35°C
MgCl ₂	0.3278	25°C
	0.3182	35°C
K ₂ CO ₃	0.4316	25°C
	0.4314	35°C
NaBr	0.5757	25°C
	0.5386	35°C
NaCl	0.7529	25°C
	0.7477	35°C
KCl	0.8434	25°C
	0.8279	35°C
BaCl ₂	0.9020	25°C
	0.9120	35°C

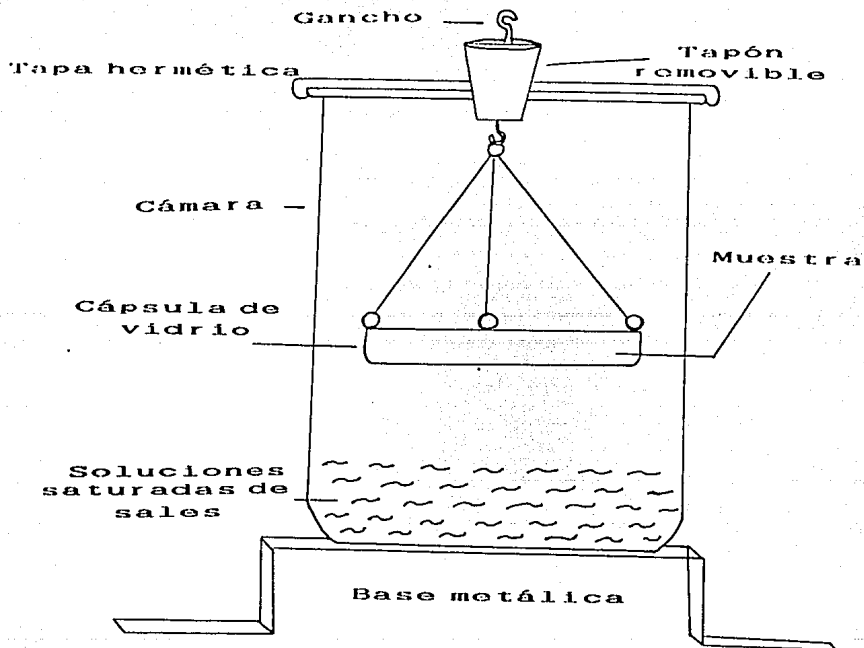


Figura No. 6: Frasco de Wink; recipientes utilizados para la determinación de las curvas isotermas de sorción de humedad.

IV .2.2.2. METODO PARA DETERMINAR LA ACTIVIDAD ACUOSA CON EL HIGROMETRO ELECTRICO THERMOCONSTANTER NOVASINA

La determinación en el Higrometro Electrico Novasina se fundamenta en pasar el impulso electrónico registrado del contenido de agua a una señal digital.

Las muestras se colocaron en la camara de atmosfera controlada y despues de 24 horas se realizó la lectura de actividad acuosa en el aparato. Esta lectura se efectua junto con la sal de la humedad con la que se esta trabajando, cuando se obtiene la lectura de actividad de agua de la muestra igual a la actividad de agua de la sal con la que se esta trabajando se ha alcanzado el equilibrio(Cuadro No. 1), esta ganancia o pérdida de peso es la que se registra para el trazo de isotermas de sorción.

Las determinaciones se realizaron por triplicado.

CAPITULO V

DESARROLLO EXPERIMENTAL

A. SELECCION Y RECOLECCION DE LA MATERIA PRIMA:

El café utilizado es la variedad *Coffea arabica*, pergamino oreado, de tres regiones diferentes, que fueron recolectadas en su lugar de cultivo: Xicotepec, Pue., Huatusco, Ver., y Atoyac, Gro.

B. ANALISIS PROXIMAL

Se determinó al café su composición química proximal, que comprendió: Cenizas, Proteína, Fibra cruda, Grasa, Humedad.

C. ACONDICIONAMIENTO DEL GRANO

Para realizar las isothermas de adsorción hay que disminuir su humedad original (60%), a una humedad de 2%, así como para la realización de las isothermas de desorción hay que humectar el grano hasta 65% de humedad.

La preparación de la muestra para la adsorción implica molienda y secado, el cual se realiza en la estufa de vacío, hasta lograr el contenido de humedad requerida, posteriormente se tamiza con una malla del No. 20 en el molino Wiley para homogenizar la partícula. En el caso de las isothermas de desorción la muestra seca, ya homogenizada se humecta hasta lograr el contenido de humedad indicado.

D. DETERMINACION DE LAS CURVAS ISOTERMAS DE SORCION MEDIANTE EL HIGROMETRO ELECTRICO NOVASINA Y CON EL METODO DE WINK

Una vez acondicionado el grano se determinaron las isothermas de sorción en un intervalo de actividad acuosa de 0.03278 a 0.9120, cuando se trabajó con la temperatura de 25°C, se utilizó el Higrometro Electrico Novasina, en el caso de la temperatura de 35°C se utilizó el Método de Wink.

E. APLICACION DE LOS MODELOS MATEMATICOS PARA EL AJUSTE DE LOS DATOS DE LAS ISOTERMAS DE SORCION OBTENIDAS EXPERIMENTALMENTE

Una vez obtenidas las curvas se aplicaron los modelos matemáticos de B.E.T., G.A.B., Caurie, Henderson, Iglesias y Oswin, para ajustar los datos experimentales de las isothermas de sorción y obtener las correspondientes isothermas teóricas. Se calculó el valor de la monocapa para cada una de las regiones estudiadas.

En la figura No.7, se da el diagrama del desarrollo experimental que se va a seguir para la obtencion de las curvas isothermas de sorcion de humedad.

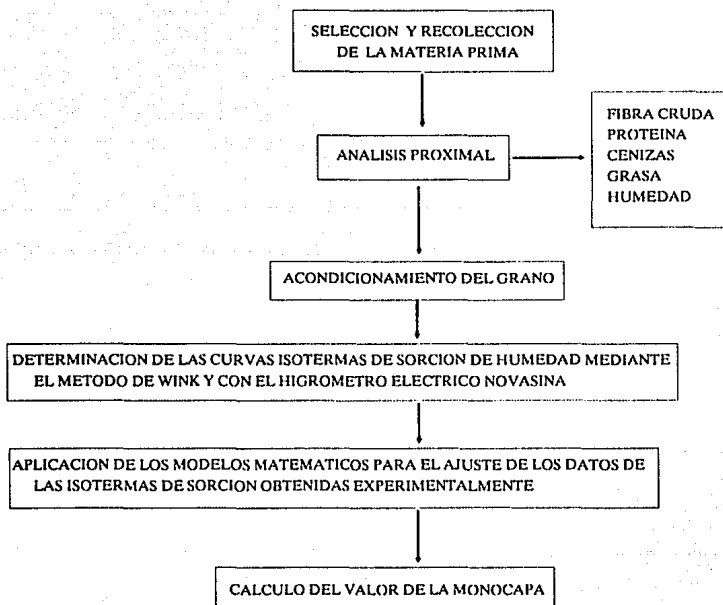


FIGURA No. 7 DIAGRAMA DE LA SECUENCIA EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACION DE LAS CURVAS ISOTERMAS DE SORCION DE HUMEDAD.

CAPITULO VI

RESULTADOS Y DICUSION

En el cuadro No.2 se presentan los resultados obtenidos del análisis proximal de la materia prima, en donde podemos observar que los valores encontrados guardan similitud con los reportados en la literatura. (9,28). Villasenor L.A. (28) reporta que el contenido de proteínas del café *Coffea arabica L.* varía alrededor de 5 a 7% mientras que el contenido de carbohidratos se encuentra entre el rango de 25 a 27%.

CUADRO No. 2 ANALISIS PROXIMAL DE CAFE COFFEA ARABICA, DE ATOYAC,GRO., HUATUSCO, VER., XICOTEPEC, PUE.

DETERMINACION (%)	ATOYAC	HUATUSCO	XICOTEPEC
HUMEDAD	58.9	57.5	56.8
CENIZAS	2.0	2.1	1.8
PROTEINA	6.7	7.0	7.2
EXTRACTO ETereo	6.3	5.9	5.8
FIBRA CRUDA	1.5	1.8	2.0
CARBOHIDRATOS*	26.1	25.7	26.4

* POR DIFERENCIA

En las figuras 8 y 9 se muestran las curvas de adsorción y desorción del café de la región de Atoyac, Gro. a las dos temperaturas ensayadas respectivamente.

Se puede observar en ambas figuras que a una mayor temperatura de equilibrio la curva se desplaza a la derecha. Lo cual nos muestra el efecto de la temperatura en las isotermas de sorción; debido a que la temperatura afecta la movilidad de las moléculas de agua y el equilibrio dinámico entre el vapor de agua y el equilibrio dinámico entre el vapor de agua y las fases adsorbidas de esta, el incremento en la temperatura provoca disminución en la cantidad de agua adsorbida. Lo cual implica que los alimentos sean menos higroscópicos, por lo que un incremento en la temperatura representa una condición desfavorable para la adsorción de agua. Esto redundo en que al incrementar la temperatura se incremente a la vez la actividad de agua, como puede observarse en las figuras 8 y 9.

En las figuras 10 y 11 se ilustran las curvas a 25 y 35°C respectivamente que muestran ambas isotermas tanto de adsorción como de desorción.

La isoterma de desorción para un producto dado a un temperatura determinada, no es superponible a la isoterma de adsorción; en teoría las dos curvas deberían seguir el mismo trazo, pero las determinaciones experimentales permiten demostrar que no siempre es así (17).

Esta diferencia de las dos curvas se denomina histéresis, se traduce en el hecho de que para un producto con el mismo contenido de humedad, el equilibrio en la desorción se establece a cada punto, a un valor de actividad acuosa que equivale a una presión parcial relativa de vapor de agua, mas elevada que para adsorción. (17, 14).

Se puede notar tambien que la histéresis se acusa esencialmente en la zona intermedia de las isotermas donde el agua esta "debilmente ligada". La razon que se da para explicar la histéresis es la condensación del agua en los poros de los tejidos, que se debe por una parte al ángulo de contacto (dependiente de tensiones superficiales) y por otro lado al diámetro del poro. El ángulo de contacto liquido-solido es mayor cuando un líquido moja una superficie humeda (adsorcion) que cuando se retira de una superficie humeda (desorción); unido ésto a la diferencia entre el diámetro del orificio de los poros capilares de ciertos tejidos vegetales y animales, el diámetro mas grande de los poros que tienden a profundizar, es por lo que la presión de vapor de agua necesaria para llenarlos es más elevada que aquella a la cual se vacián (23).

En la desorción capilar sólo se vacía cuando la presión parcial relativa desciende a un valor correspondiente al diámetro del orificio (23, 17).

En las figuras 10 y 11, se puede observar que el efecto de histéresis se extiende a lo largo del intervalo de actividad acuosa que va de 0.3 a 0.8. Empezando la histéresis a una actividad acuosa de 0.3-0.5 en la región de la multicapa, donde el agua se encuentra debilmente ligada. A 35°C este fenómeno alcanza un intervalo de 0.7 a 0.4.

Figura N°. 8: Isotermas de adsorción para café de Atoyac, Gro., a 25° C y 35° C

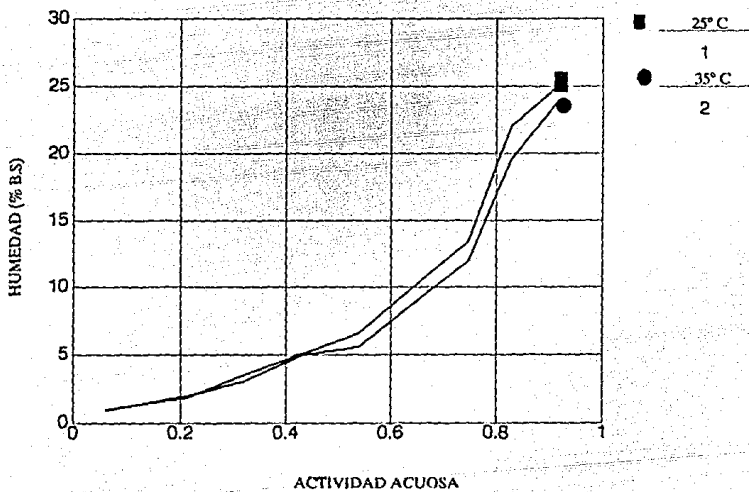


Figura N°.9: Isotermas de desorción para café de Atoyac, Gro., a 25° C y 35° C

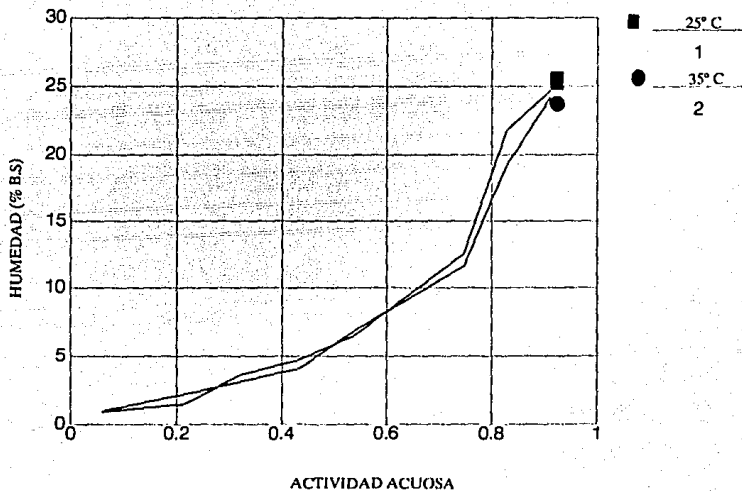


Figura N°. 10: Isotermas de adsorción y desorción para café de Atoyac, Gro., a 25° C

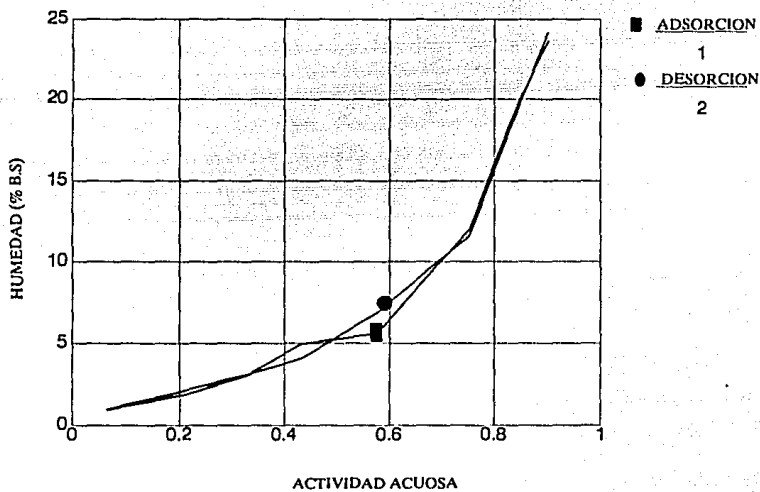
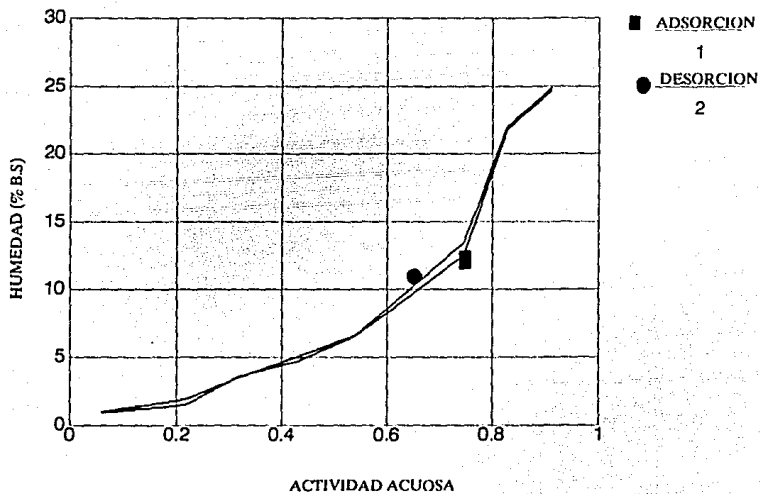


Figura N°. 11 : Isotermas de adsorción y desorción para café de Atoyac, Gro., a 35° C



En los cuadros 3,4,5 y 6 se muestran los valores obtenidos para cada una de las constantes de los modelos matemáticos teóricos que se utilizaron para el ajuste de los datos experimentales de las isotermas así como el porcentaje de error estándar y el porcentaje de R.M.S., para cada uno de ellos. Siendo este último lo cual nos da una idea de que tan parecidos son los datos reales a los predichos. Dándonos un parámetro de que tan separados están los datos prácticos de los teóricos, ya que aún teniendo el porcentaje de error estándar pequeño algunas veces el distanciamiento es grande, por lo que el R.M.S. nos aporta esta información.

En estos resultados se puede observar que el menor porcentaje de error y el menor porcentaje de R.M.S. para la región de Atoyac, Gro., a 25°C están dados por los modelos de Oswin, Caurie, G.A.B. y B.E.T., en el caso de las isotermas de adsorción y desorción; para el caso de las isotermas de adsorción y desorción a 35°C están dados por los modelos de Caurie, Iglesias, Oswin.

Se puede confirmar esta descripción observando de la figura 15 a la 23, en las que se han representado los resultados experimentales comparados contra los datos teóricos obtenidos de los modelos matemáticos utilizados.

CUADRO No.3 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION DE CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25° C

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 6.0947 W _m 2.9283 K 0.9989	9.474	7.945
B.E.T.	C 7.4752 W ₀ 2.7954	9.156	7.754
CAURIE	A 0.8855 R 3.6026	8.686	7.499
HENDERSON	K ₁ 0.0985 n 1.0518	19.704	17.901
OSWIN	K ₁ 1.7005 n 0.6759	7.631	6.254
IGLESIAS	K ₁ 3.0802 K ₂ 0.9665	13.562	12.013

Figura N^o. 12: Isoterma de adsorción para café de Atoyac, Gro., a 25° C y su ajuste con los modelos matemáticos de G.A.B. y B.E.T.

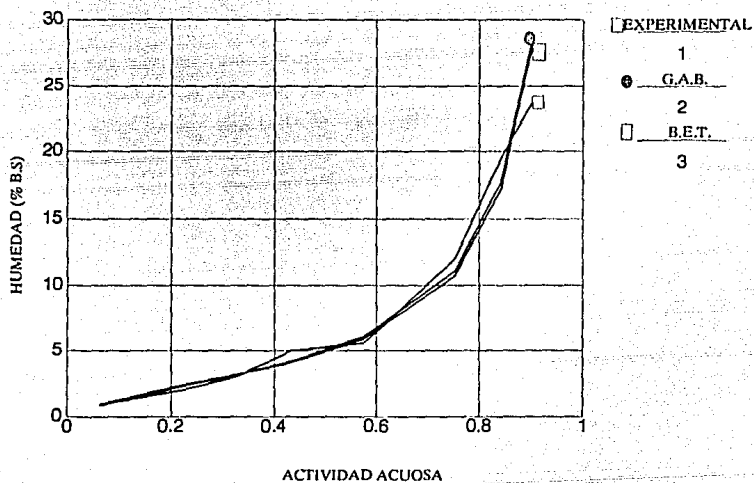


Figura N°. 13: Isotherma de adsorción para café de Atoyac, Gro., a 25° C y su ajuste con los modelos matemáticos de Caurie y Henderson

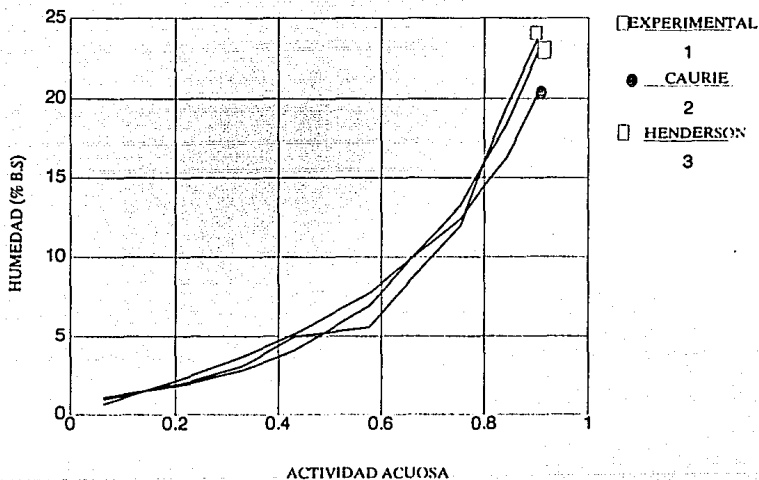
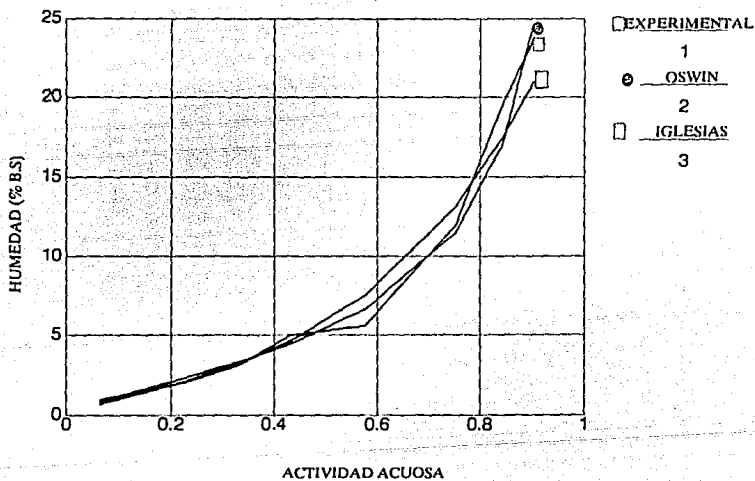


Figura N°. 14: Isoterma de adsorción para café de Atoyac, Gro., a 25° C
y su ajuste con los modelos matemáticos de Iglesias y
Oswin



CUADRO No.4 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DE CAFE DE ATOYAC, GRO., A 25° C.

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 5.6379 Wm 2.9319 K 0.9964	12.523	11.469
B.E.T.	C 6.9482 Wo 2.7740	12.556	10.884
CAURIE	A 0.8510 R 3.6450	12.600	10.722
HENDERSON	K1 0.1035 n 1.0336	21.751	18.385
OSWIN	K1 1.6822 n 0.6842	11.361	10.303
IGLESIAS	K1 3.1053 K2 0.9392	16.679	12.976

Figura N° 15: Isoterma de desorción para café de Atoyac, Gro., a 25° C y su ajuste con los modelos matemáticos de G.A.B. y B.E.T.

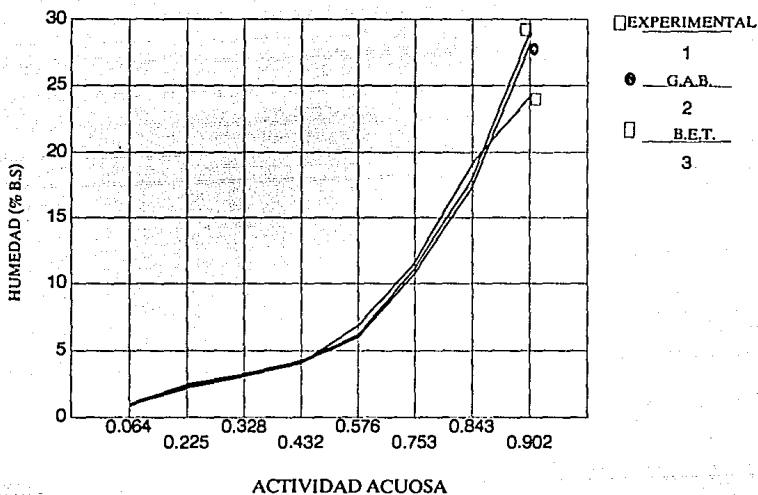


Figura N^o. 16: Isoterma de desorción para café de Atoyac, Gro., a 25°C y su ajuste con los modelos matemáticos de CAURIE y HENDERSON

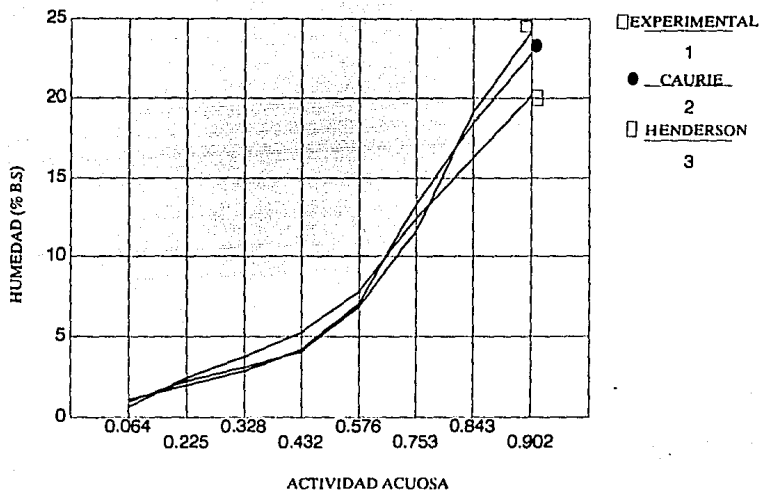
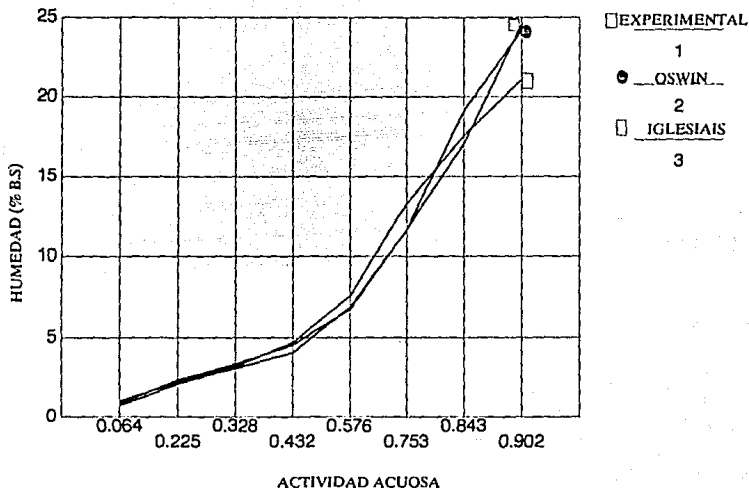


Figura N°. 17: Isoterma de desorción para café de Atoyac, Gro., a 25° C y su ajuste con los modelos matemáticos de OSWIN e IGLESIAIS.



CUADRO No.5 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION DE CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35°C.

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 4.4113 W _m 3.5640 K 0.9853	19.30	15.012
B.E.T.	C 8.0995 W ₀ 2.9806	21.46	17.775
CAURIE	A 0.8991 R 3.7424	10.35	9.620
HENDERSON	K1 0.0937 n 1.0279	20.403	17.143
OSWIN	K1 1.7842 n 0.6882	14.867	11.182
IGLESIAS	K1 3.1876 K2 1.0004	12.256	9.744

Figura N°. 18: Isoterma de adsorción para café de Atoyac, Gro., a 35 C y su ajuste con los modelos matemáticos de G.A.B y B.E.T.

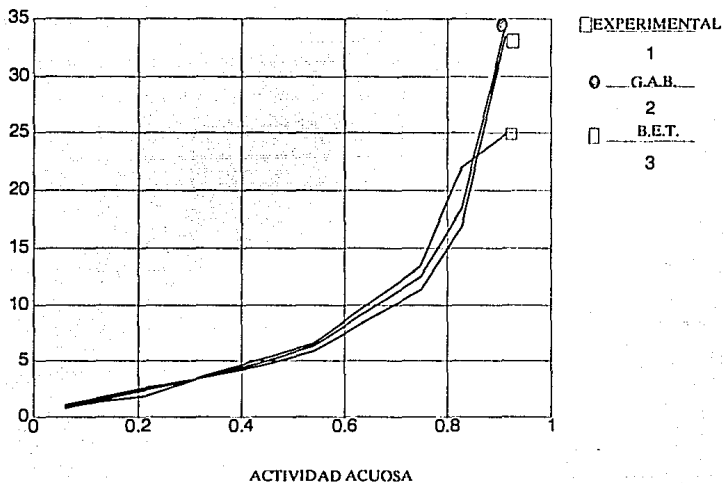


Figura N^o. 19: Isoterma de adsorción para café de Atoyac, Gro., a 35° C
y su ajuste con los modelos matemáticos de Caurie
y Henderson

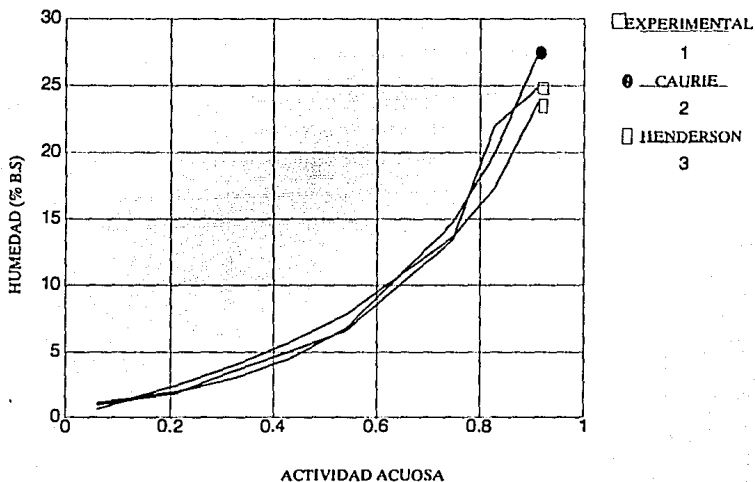
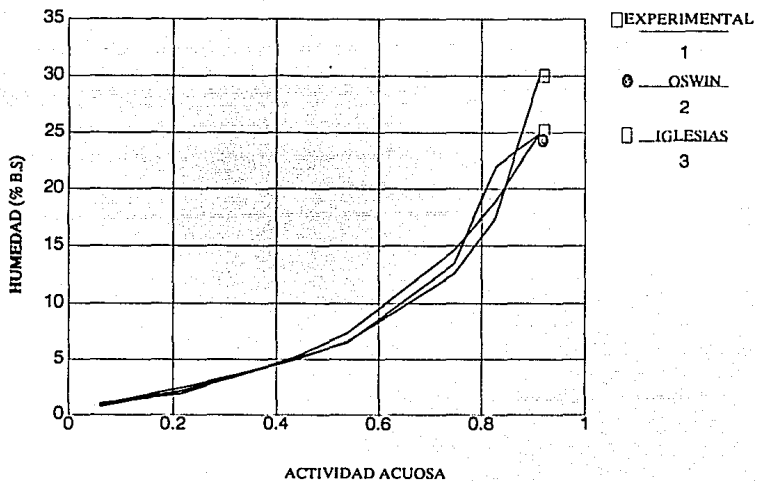


Figura N° 20: Isotherma de adsorción para café de Atoyac, Gro., a 35° C, su ajuste con los modelos matemáticos de Iglesias y Oswin



CUADRO No. 6 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DE CAFE DE ATOYAC, GRO., A 35°C.

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 3.9555 Wm 3.3774 K 0.9937	25.885	20.518
B.E.T.	C 6.1488 Wo 2.9448	26.380	21.336
CAURIE	A 0.8147 R 3.8356	14.337	12.360
HENDERSON	K1 0.1053 n 0.9910	26.243	19.743
OSWIN	K1 1.7328 n 0.7033	21.837	15.529
IGLESIAS	K1 3.2331 K2 0.9389	19.12	15.116

Figura N° 21: Isoterma de desorción para café de Atoyac, Gro., a 35 °C y su ajuste con los modelos matemáticos de G.A.B y B.E.T.

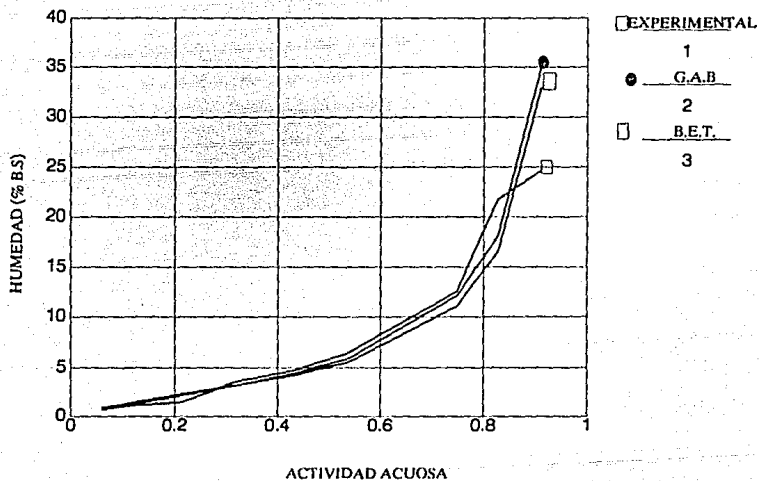


Figura N°. 22: Isoterma de desorción para café de Atoyac, Gro., a 35° C
y su ajuste con los modelos matemáticos de Caurie y
Henderson

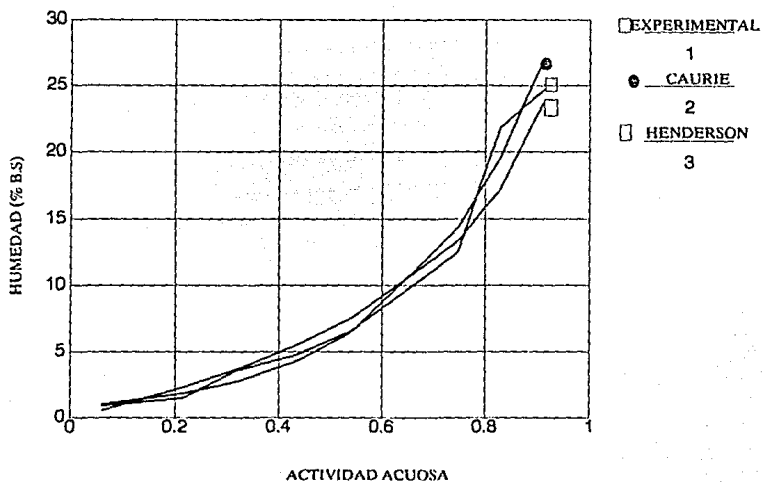
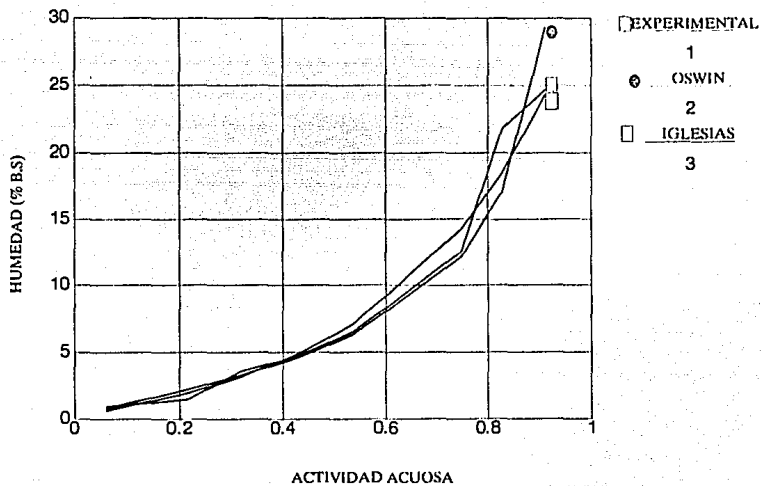


Figura N° 23: Isoterma de desorción para café de Atoyac, Gro., a 35° C
y su ajuste con los modelos matemáticos de Iglesias y
Oswin



En el cuadro 15 se presentan los valores de monocapa obtenidos para los datos experimentales. Estos valores fueron obtenidos a través de las ecuaciones de B.E.T y de G.A.B. para los datos experimentales

De dichos resultados puede observarse que los valores experimental es del contenido de humedad de la monocapa para las isothermas de café de Atoyac, Gro., a una temperatura de 25°C oscilan entre 3.0-3.6 y para la temperatura de 35°C oscilan entre 3.0-3.6, y para las isothermas de desorción a 25°C oscilan entre 2.8-2.9 y a 35°C oscilan entre 2.9-3.4.

Como puede observarse los datos no presentan diferencia significativa entre las temperaturas estudiadas. Estos valores nos dan un parametro con respecto a la humedad final para almacenar el café, ya que en estos valores el contenido residual de agua es inerte a las reacciones que acarrea la actividad acuosa, (oxidación, reacciones enzimáticas, crecimiento de hongos y levaduras).

En las figuras 24 y 25 se muestran las curvas de adsorción y desorción para el café de la región de Huatusco, Ver., a 25 y 35°C, observándose que a mayor temperatura la curva se desplaza a la derecha, cumpliendo así con lo predicho en la literatura (13).

En las figuras 26 y 27 se ilustran las curvas a 25 y 35°C respectivamente que muestran ambas isothermas tanto de adsorción como de desorción.

Se puede observar que el efecto de histéresis se extiende en un intervalo que se extiende de 0.9 a 0.5 de actividad acuosa a 25°C, mientras que a 35°C se extiende desde 0.8 a 0.3. Por otro lado también se puede ver que la temperatura es otra variable que ejerce influencia en la cantidad de agua adsorbida en un alimento dado a un nivel de actividad acuosa dada, lo que se puede observar en las gráficas mencionadas, en las cuales es más grande la histéresis a 25°C que a 35°C.

Figura N°. 24 : Isotermas de adsorción para café de Huatusco, Ver., a 25° C y 35° C

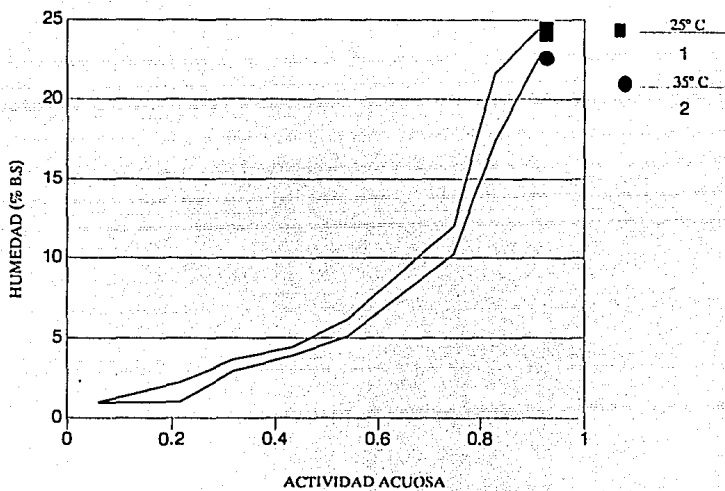


Figura N°. 25: Isotermas de desorción para café de Huatusco, Ver., a 25° C y 35° C

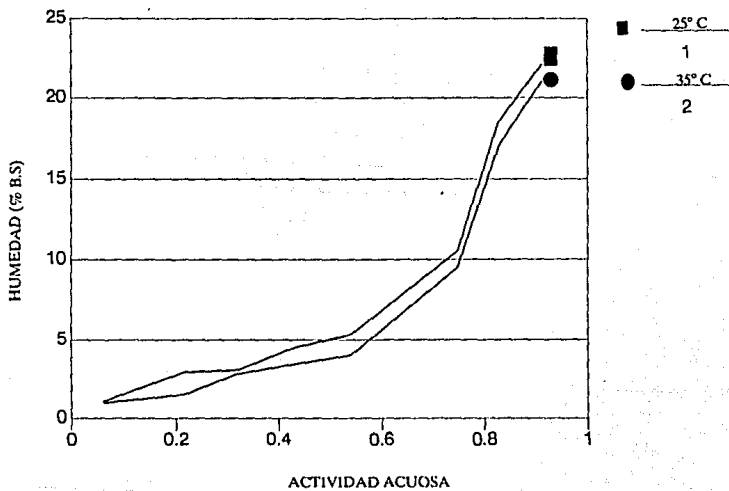


Figura N°. 26: Isotermas de adsorción y desorción para café de Huatusco, Ver., a 25° C

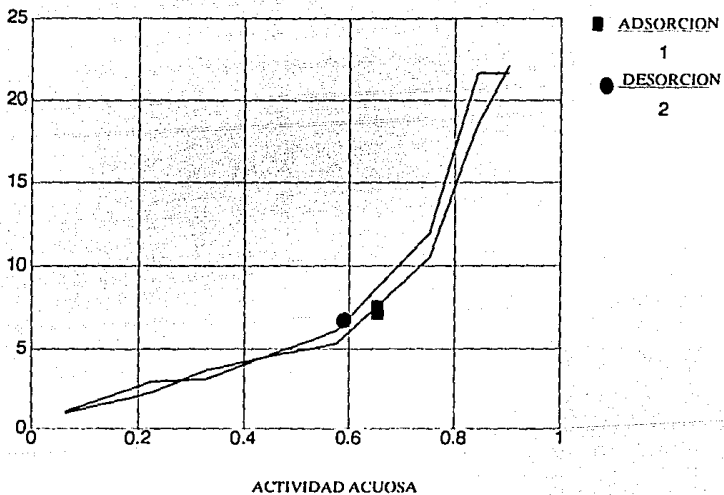
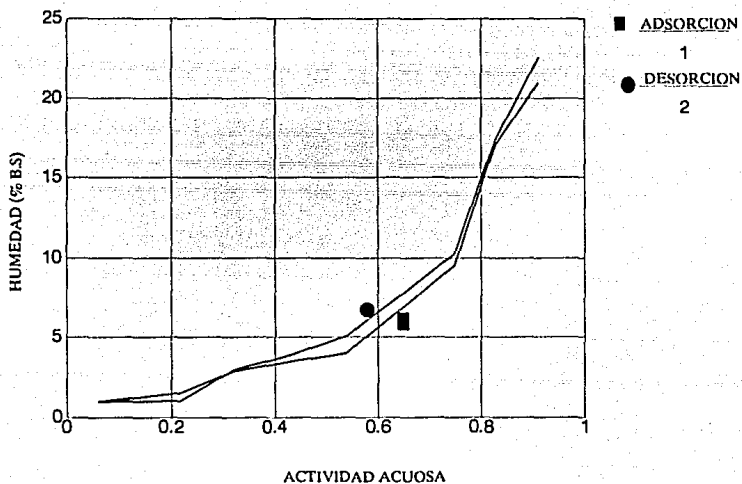


Figura N°. 27 : Isotermas de adsorción y desorción para café de Huatusco, Ver., a 35° C



En los cuadros No.7, 8, 9 y 10 se muestran los valores obtenidos para cada una de las constantes de los modelos matemáticos teóricos que se utilizaron para el ajuste de los datos experimentales de las isotermas de adsorción y desorción a 25 y 35°C, para el café de la region de Huatusco, Ver.

En estos resultados se puede observar que el menor porcentaje de error estándar así como el menor porcentaje de R.M.S. a 25°C lo presenta el modelo de Oswin, seguido por los modelos de G.A.B., y B.E.T., en el caso de la adsorción; para la desorción a 25°C los modelos con menor error fueron G.A.B., Oswin, B.E.T. En la temperatura de 35°C con la adsorción se presento el menor error en los modelos de Caurie, B.E.T. y Oswin, para la desorción a 35°C los modelos que presentaron estas condiciones fueron Caurie, seguido por B.E.T. y Oswin. Todas estas comparaciones de manera creciente.

Se puede confirmar esta descripción matemática observando de la figura No. 31 a la 39, en las que estan representados los resultados experimentales comparados con los datos teóricos obtenidos de los modelos matemáticos utilizados.

CUADRO No. 7 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE
 ADSORCION DE CAFE DE HUATUSCO, VER., A 25°C

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 6.0081 Wm 3.0642 K 0.9951	10.363	8.276
B.E.T.	C 7.4636 Wo 2.8933	10.912	8.904
CAURIE	A 0.9101 R 3.6168	13.299	11.672
HENDERSON	K1 0.0966 n 1.0419	20.691	18.456
OSWIN	K1 1.7350 n 0.6806	9.618	8.264
IGLESIAS	K1 3.1132 K2 0.9775	15.226	13.564

Figura N°. 28: Isoterma de adsorción para café de Huatusco, Ver., a 25° C y su ajuste con modelos matemáticos de B.E.T y G.A.B.

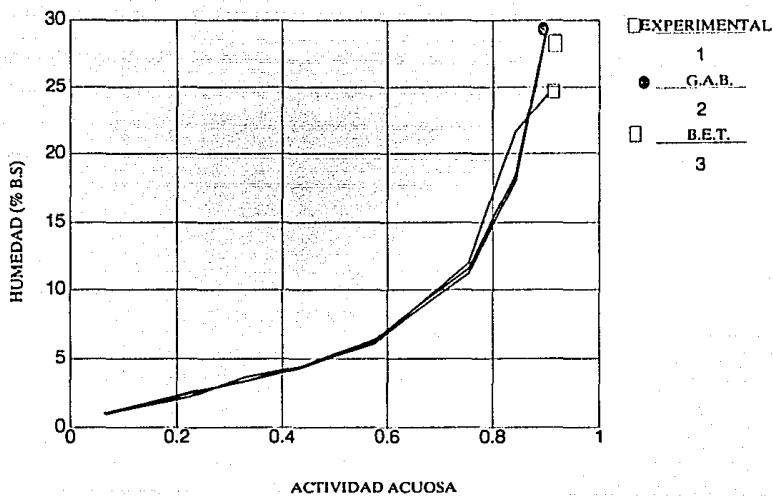


Figura N°. 29: Isoterma de adsorción para café de Huatusco, Ver., a 25° C y su ajuste con modelos matemáticos de Caurie y Henderson,

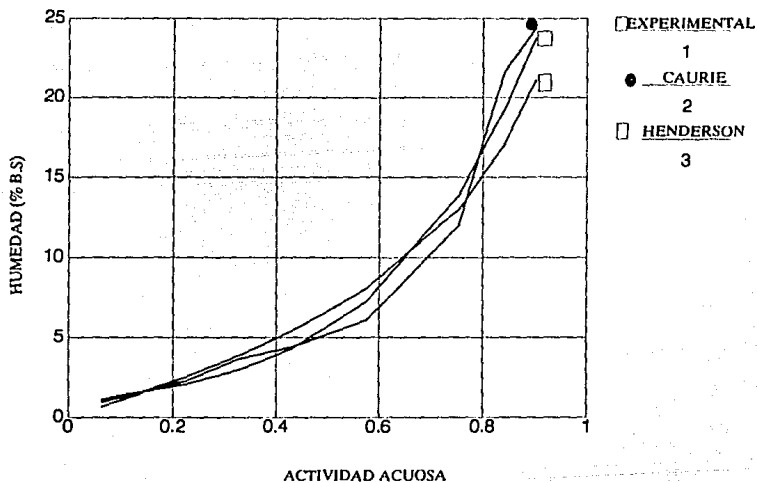
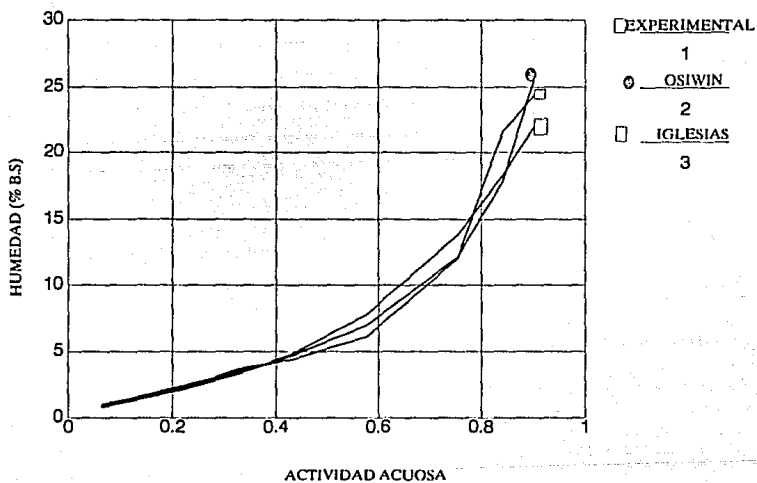


Figura N°. 30: Isoterma de adsorción para café de Huatusco, Ver., a 25° C y su ajuste con modelos matemáticos de Oswin e Iglesias



CUADRO No. 8 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE
DESORCION DE CAFE DE HUATUSCO, VER., A 25°C

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 10.3170 W _m 2.6858 K 0.9900	9.664	8.977
B.E.T.	C 15.0879 W ₀ 2.5153	12.862	10.835
CAURIE	A 1.0219 R 3.2859	16.959	15.013
HENDERSON	K1 0.0911 n 1.1210	23.795	21.881
OSWIN	K1 1.6812 n 0.6214	12.859	10.489
IGLESIAS	K1 2.8597 K2 1.0325	18.779	16.061

Figura N°. 31: Isoterma de desorción para café de Huatusco, Ver., a 25° C y su ajuste con modelos matemáticos de B.E.T y G.A.B.

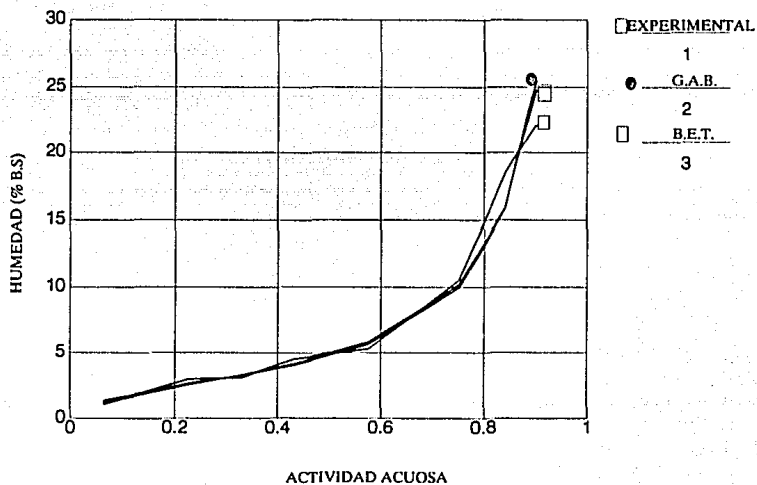


Figura N^o. 32: Isoterma de desorción para café de Huatusco, Ver., a 25° C y su ajuste con modelos matemáticos de Caurie y Henderson,

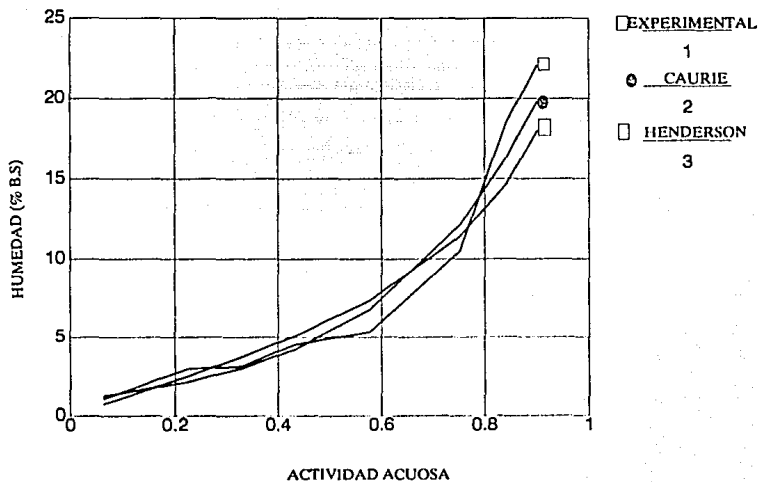
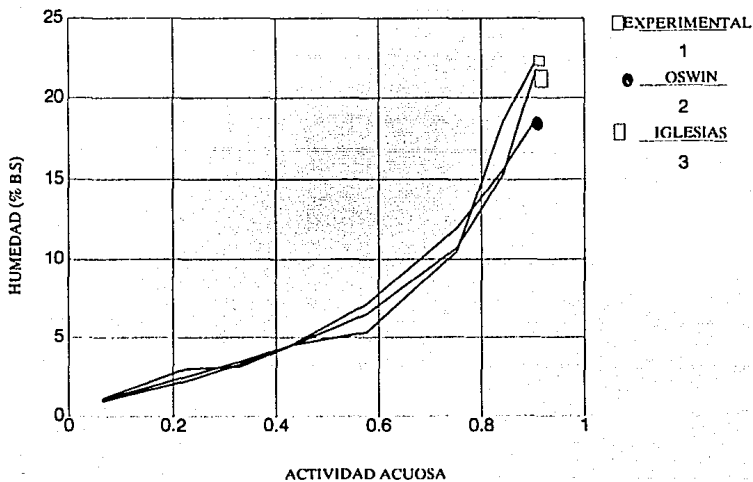


Figura N°. 33 : Isoterma de desorción para café de Huatusco, Ver., a 25° C y su ajuste con modelos matemáticos de Oswin e Iglesias



CUADRO No.9 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION DE CAFE DE HUATUSCO, VER., A 35°C

AUTOR	COSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 8,9600 Wm 2.1317 K 1.0209	21.719	17.683
B.E.T.	C 7.5398 Wo 2.2868	17.689	15.486
CAURIE	A 0.7564 R 3.5710	14.408	11.672
HENDERSON	K1 0.1187 n 1.0475	29.388	25.570
OSWIN	K1 1.5249 n 0.6546	18.483	14.557
IGLESIAS	K1 3.0973 K2 0.7766	22.785	19.341

Figura N^o. 34: Isoterma de adsorción para café de Huntusco, Ver., a 35°C y su ajuste con modelos matemáticos de B.E.T y G.A.B.

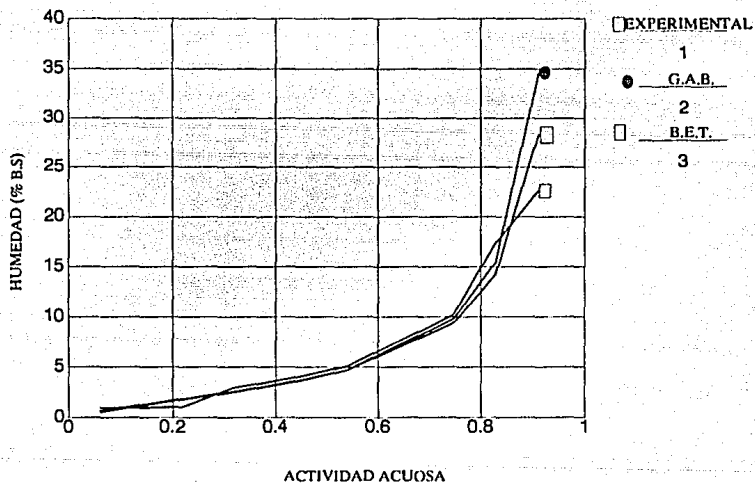


Figura N°. 35: Isoterma de adsorción para café de Huatusco, Ver., a 35°C y su ajuste con modelos matemáticos de Caurie y Henderson,

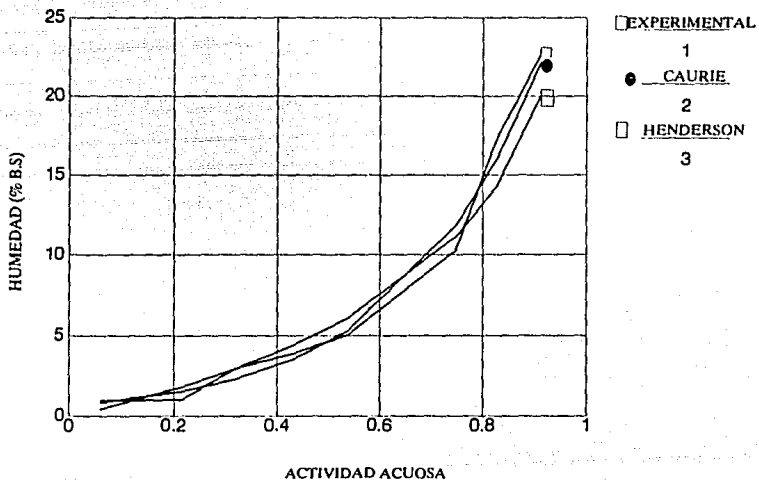
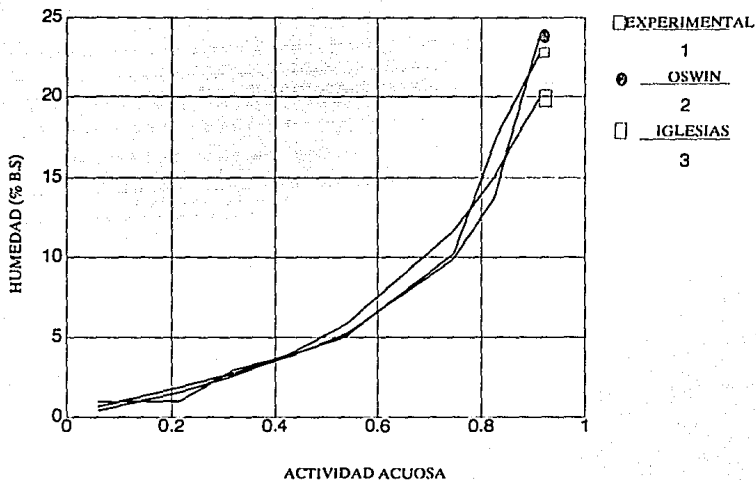


Figura N°. 36: Isotherma de adsorción para café de Huatusco, Ver., a 35°C y su ajuste con modelos matemáticos de Oswin e Iglesias.



CUADRO No. 10 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE
DESORCION DE CAFE DE HUATUSCO, VER., A 35°C

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 4.3669 Wm 2.5157 K 1.0182	34.088	25.008
B.E.T	C 4.7331 Wo 2.5480	31.729	23.081
CAURIE	A 0.6820 R 3.8138	20.291	14.094
HENDERSON	K1 0.1350 n 0.9646	34.502	24.845
OSWIN	K1 1.5418 n 0.6938	31.213	17.294
IGLESIAS	K1 3.2040 K2 0.7637	28.808	21.500

Figura N°. 37: Isoterma de desorción para café de Huatusco, Ver., a 35°C y su ajuste con modelos matemáticos de B.E.T y G.A.B.

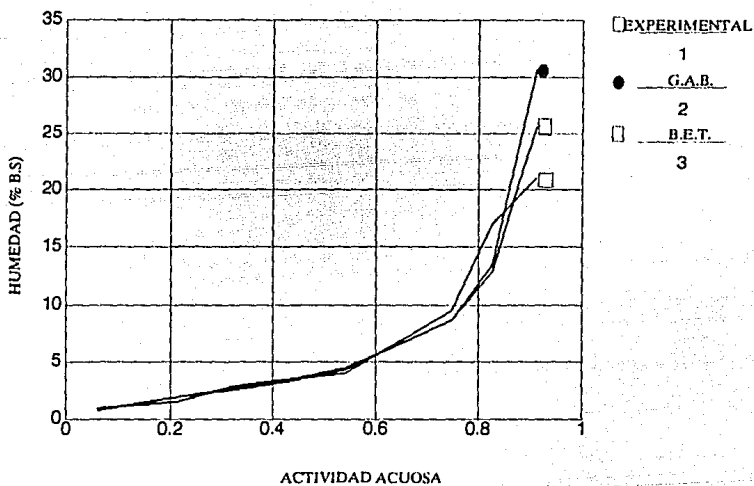


Figura N° 38: Isoterma de desorción para café de Huatusco, Ver., a 35°C y su ajuste con modelos matemáticos de Caurie y Henderson.

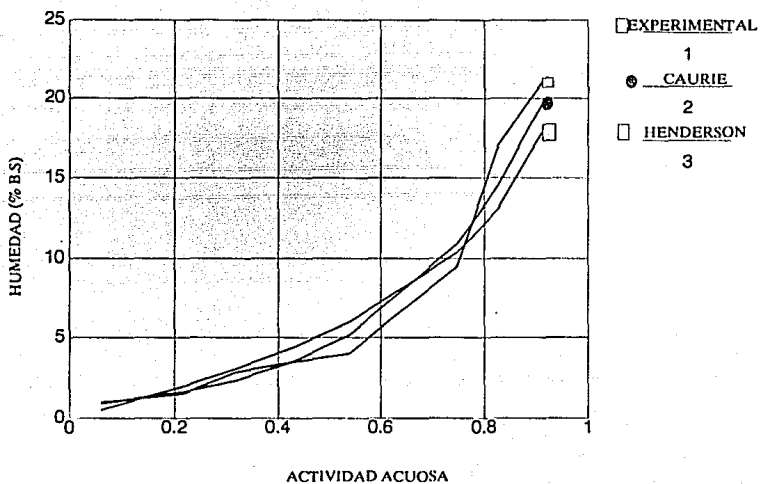
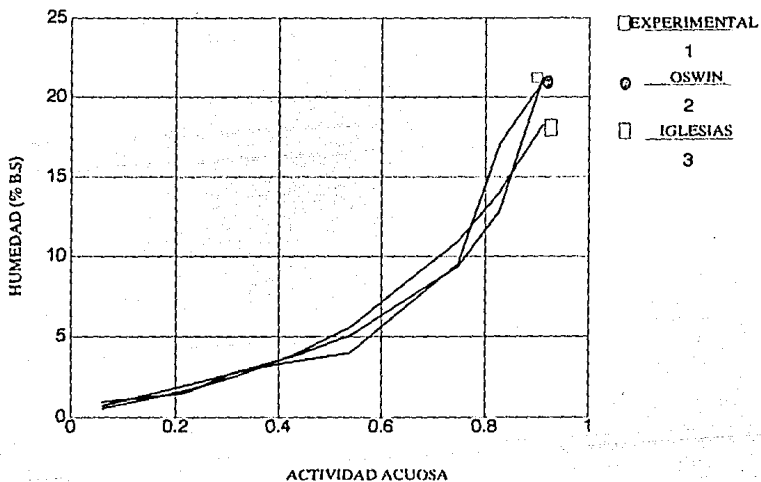


Figura N°. 39: Isoterma de desorción para café de Huatusco, Ver., a 35 °C y su ajuste con modelos matemáticos de Oswin e Iglesias



En el cuadro No. 15 se presentan los valores de monocapa obtenidos para los datos experimentales. Estos valores fueron obtenidos a través de las ecuaciones de B.E.T. y G.A.B. para los datos experimentales.

En este cuadro pueden apreciarse los datos experimentales para el café que proviene de Huatusco, Ver., a 25°C, estos abarcan un intervalo que va de 2.9 a 3.0 para la adsorción y para la desorción a la misma temperatura oscilan de 2.5 a 2.7..

A 35°C en adsorción estos valores oscilan entre 2.1 y 2.3 y en desorción a la misma temperatura van de 2.9 a 3.4.

Estos valores nos indican un parametro para considerar la temperatura a la cual se puede almacenar el grano sin deterioros físicos ni químicos.

En las figuras No. 40 y 41 se muestran las curvas de adsorción y desorción para el café de la región de Xicotepec, Pue., a 25 y 35°C, respectivamente; apreciando que a la temperatura mayor la curva se desplaza a la derecha. Esto implica que se cumple el comportamiento reportado en la literatura (13).

En las figuras No. 42 y 43 se muestran las curvas a 25 y 35°C tanto de adsorción como de desorción; observándose el fenómeno de histéresis en un intervalo de 0.5 a 0.9 en el caso de la temperatura de 25°C, y un intervalo de 0.5 a 0.9 también en la temperatura de 35°C.

Figura N°. 40 : Isotermas de adsorción para café de Xicotepec, Pue., a 25° C y 35° C

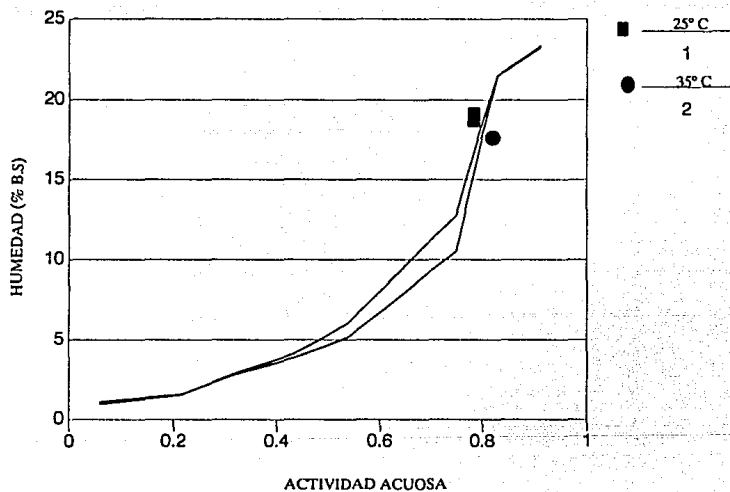


Figura N°. 41 : Isotermas de desorción para café de Xicotepec, Pue., a 25° C y 35° C

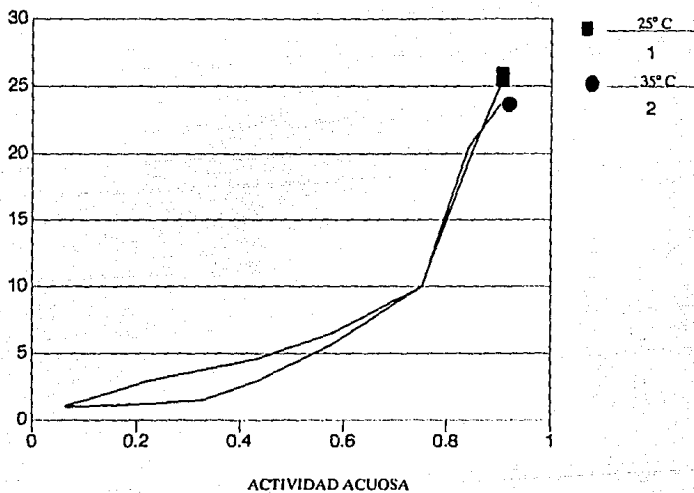


Figura N°. 42 : Isotermas de adsorción y desorción para café de Xicotepec, Pue., a 25° C

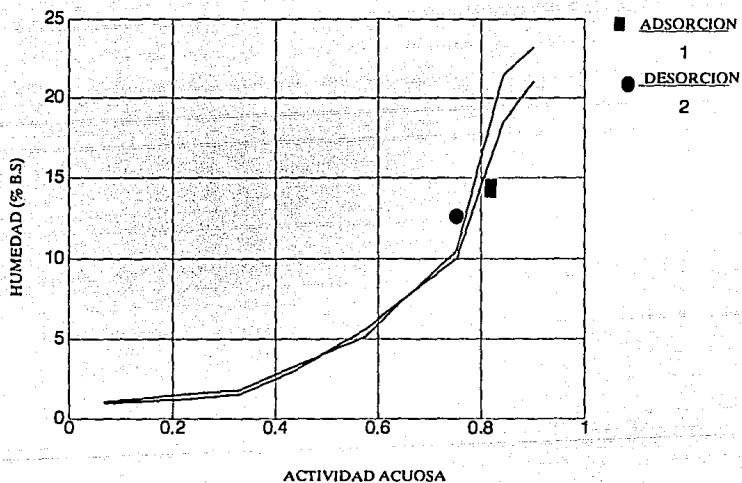
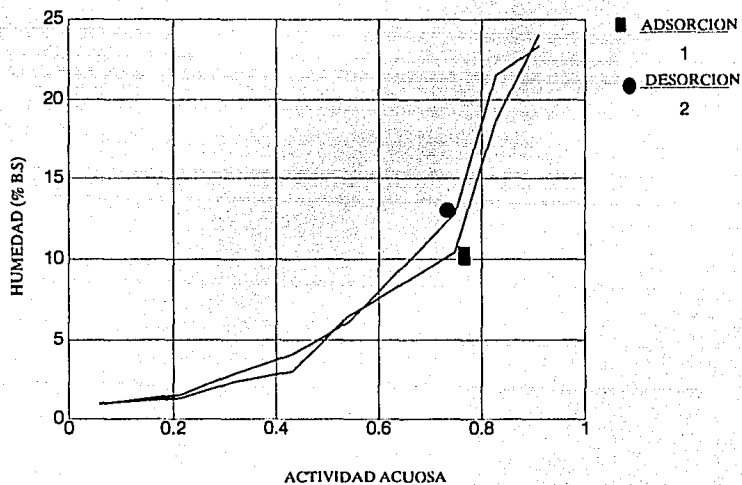


Figura N^o. 43 : Isotermas de adsorción y desorción para café de Xicotepec, Pue., a 35° C



En los cuadros No. 11, 12, 13 y 14 se agruparon los valores obtenidos para cada una de las constantes de los modelos matemáticos teóricos que se utilizaron para el ajuste de los datos experimentales de las isotermas de adsorción y desorción a 25 y 35°C, para el café de la región de Xicotepec, Pue..

En estos resultados se puede observar que el menor porcentaje de error estandar y de R.M.S. a 25°C, lo presentan los modelos de G.A.B., Oswin, e Iglesias para la adsorción y los modelos de Caurie, G.A.B. y B.E.T. en el caso de la desorción. Para la temperatura de 35°C lo presentaron los modelos de Caurie, G.A.B. y B.E.T., en la adsorción y en la desorción lo presentan los modelos de Caurie, B.E.T. y Oswin.

Se puede confirmar esta descripción matemática observando de la figura No.40 a la 55, en las que estan representados los resultados experimentales comparados con los datos teóricos obtenidos de los modelos matemáticos utilizados.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CUADRO No. 11 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE
ADSORCION DE CAFE DE XICOTEPEC,PUE., A 25°C

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B	C 7.5420	8.561	6.667
	Wm 3.2207		
	K 0.9665		
B.E.T.	C 16.4698	17.558	12.727
	Wo 2.6869		
CAURIE	A 1.0857	18.998	16.350
	R 3.3244		
HENDERSON	K1 0.0815	19.969	18.785
	n 1.1217		
OSWIN	K1 1.7633	10.466	8.003
	n 0.6310		
IGLESIAS	K1 2.9123	17.034	14.920
	K2 1.0845		

Figura N°. 44: Isoterma de adsorción para café de Xicotepcc, Puc., a 25° C y su ajuste con los modelos matemáticos de G.A.B. y B.E.T.

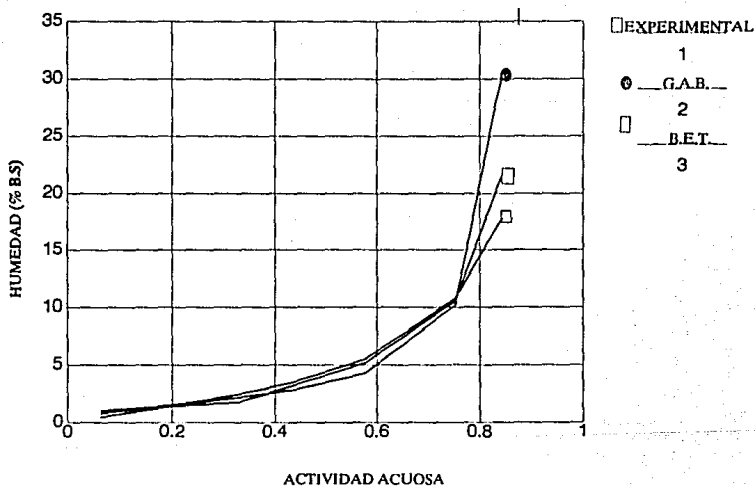


Figura N°. 45: Isoterma de adsorción para café de Xicoteppec, Pue., a 25° C y su ajuste con los modelos matemáticos de Caurie y Henderson

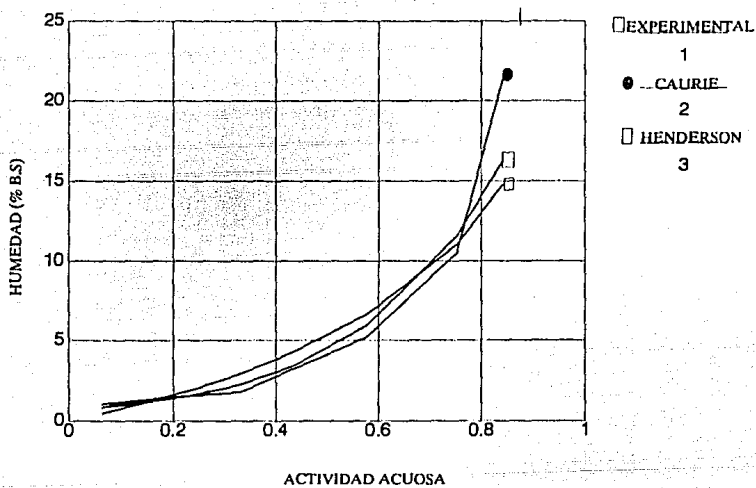
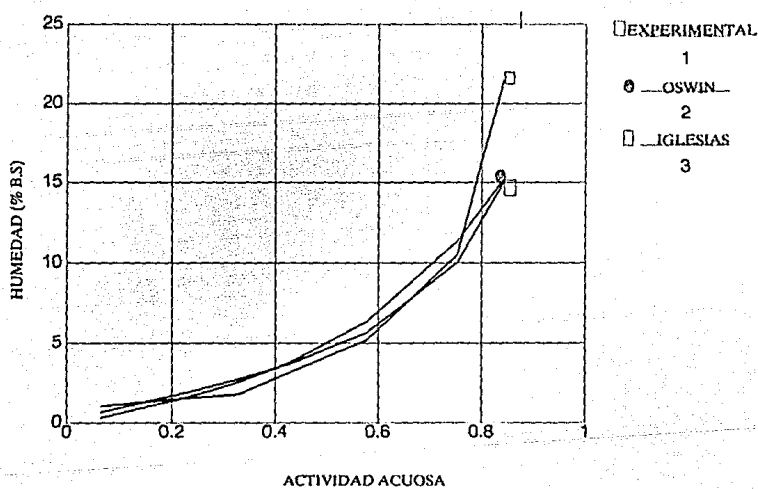


Figura N°. 46: Isotherma de adsorción para café de Xicotepec, Pue., a 25° C y su ajuste con los modelos matemáticos de Oswin e Iglesias.



CUADRO No. 12 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE
DESORCION DE CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 25°C.

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B	C 12.9628 W _m 1.5794 K 1.1245	21.394	18.316
B.E.T	C 2.6317 W _o 2.9820	26.737	19.365
CAURIE	A 0.6567 R 3.8088	17.541	14.729
HENDERSON	K1 0.1419 n 0.9533	39.055	33.896
OSWIN	K1 1.5154 n 0.7093	29.023	24.502
IGLESIAS	K1 3.2345 K2 0.6956	32.857	26.191

Figura N^o. 47: Isoterma de desorción para café de Xicotepéc, Pue., a 25° C
y su ajuste con los modelos matemáticos de G.A.B. y B.E.T.

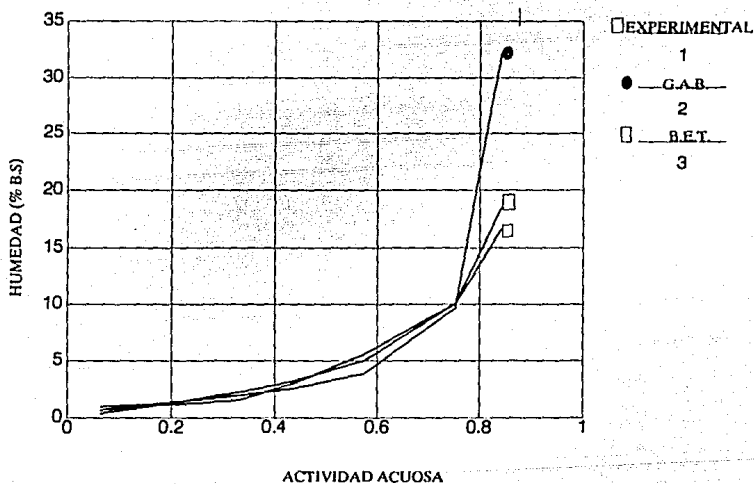


Figura N°. 48: Isoterma de desorción para café de Xicotepéc, Pue., a 25° C
y su ajuste con los modelos matemáticos de Caurie y
Henderson

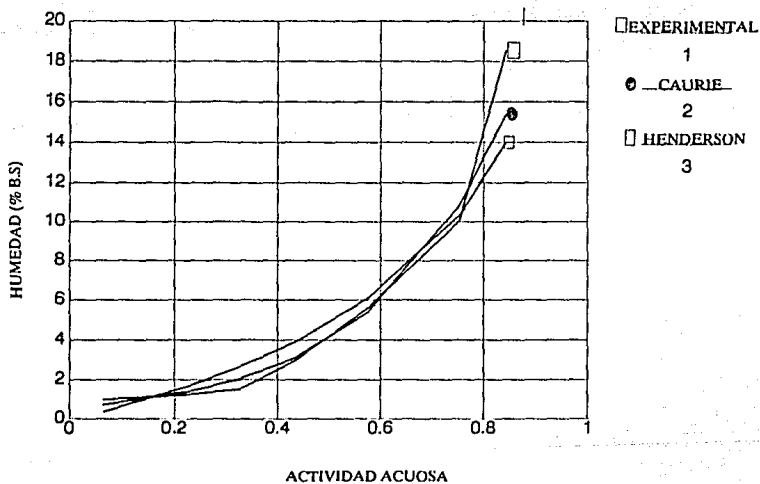
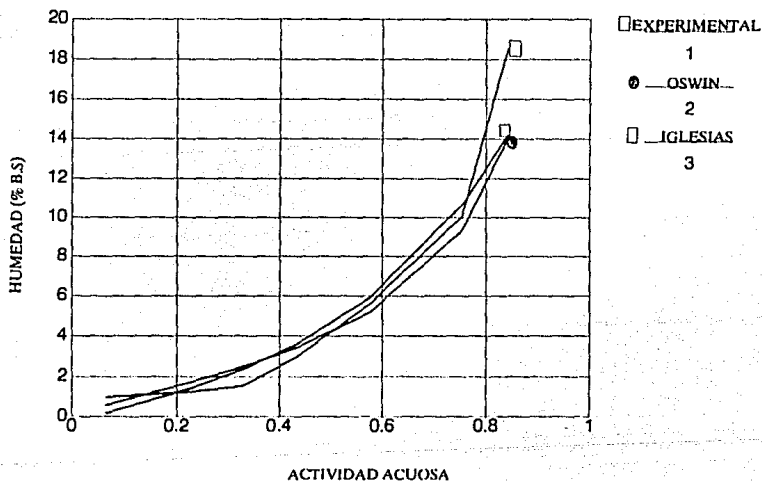


Figura N°. 49: Isoterma de desorción para café de Xicoteppec, Pue., a 25° C
y su ajuste con los modelos matemáticos de Iglesias y
Oswin



CUADRO No. 13 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE
 ADSORCION DE CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 35°C.

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 12.6928 W _m 1.5794 K 1.1245	21.394	18.316
B.E.T.	C 2.6317 W _o 2.9820	26.737	19.365
CAURIE	A 0.6567 R 3.8088	17.541	14.729
HENDERSON	K1 0.1419 n 0.9533	39.055	33.896
OSWIN	K1 1.5154 n 0.7093	29.023	24.502
IGLESIAS	K1 3.2345 K2 0.6956	32.857	26.191

Figura N°. 50: Isotherma de adsorción para café de Xicoteppec, Pue., a 35 C y su ajuste con los modelos matemáticos de G.A.B. y B.E.T.

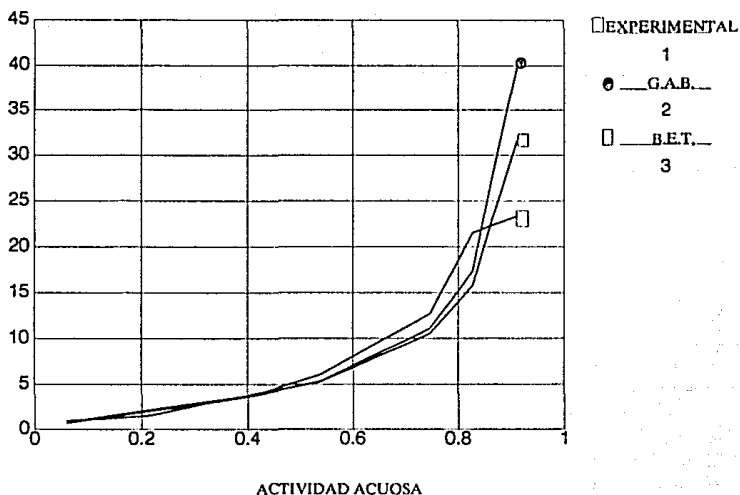


Figura N° 51: Isoterma de adsorción para café de Xicotepec, Pue., a 35° C y su ajuste con los modelos matemáticos de Caurie y Henderson.

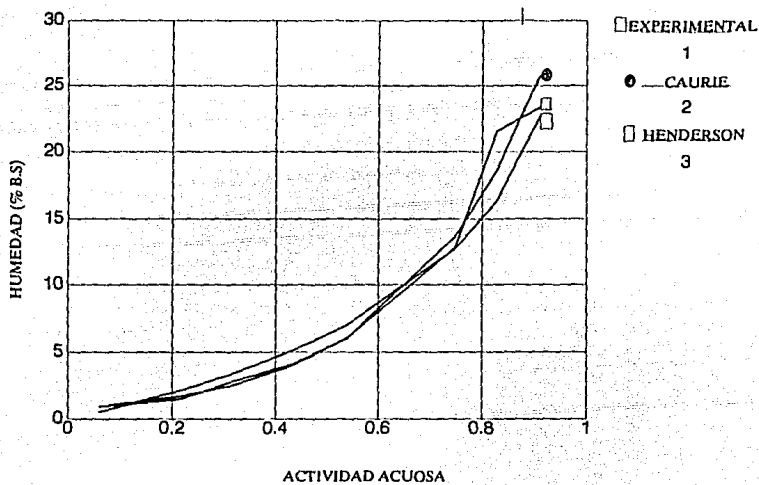
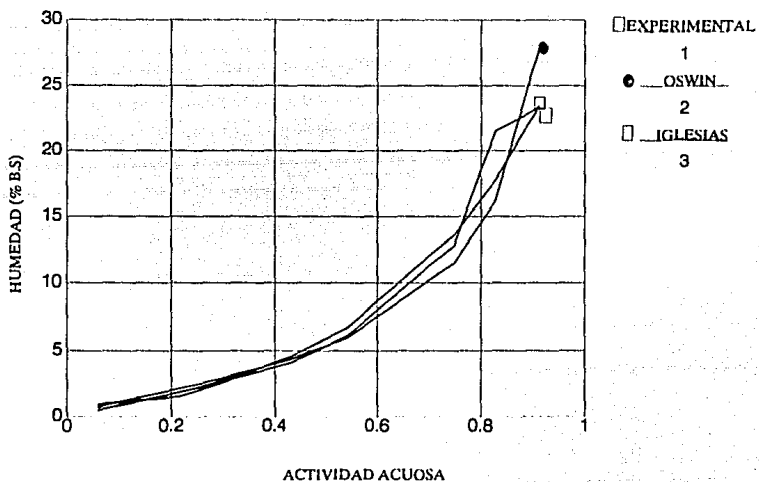


Figura N°. 52: Isoterma de adsorción para café de Xicotepec, Pue., a 35° C y su ajuste con los modelos matemáticos de Oswin e Iglesias.



CUADRO No. 14 DESCRIPCION MATEMATICA DE LAS ISOTERMAS DE DESORCION DE CAFE DE XICOTEPEC, PUE., A 35°C.

AUTOR	CONSTANTES	RMS (%)	ERROR (%)
G.A.B.	C 10.0144 W _m 1.4441 K 1.1327	35.277	28.667
B.E.T.	C 2.3363 W _o 2.8213	29.503	21.467
CAURIE	A 0.5716 R 3.9053	18.272	14.821
HENDERSON	K1 0.1601 n 0.9279	41.338	33.655
OSWIN	K1 1.4245 n 0.7274	33.101	27.558
IGLESIAS	K1 3.2212 K2 0.6399	36.961	27.755

Figura N°. 53: Isoterma de desorción para café de Xicotepec, Pue., a 35 C y su ajuste con los modelos matemáticos de G.A.B. y B.E.T.

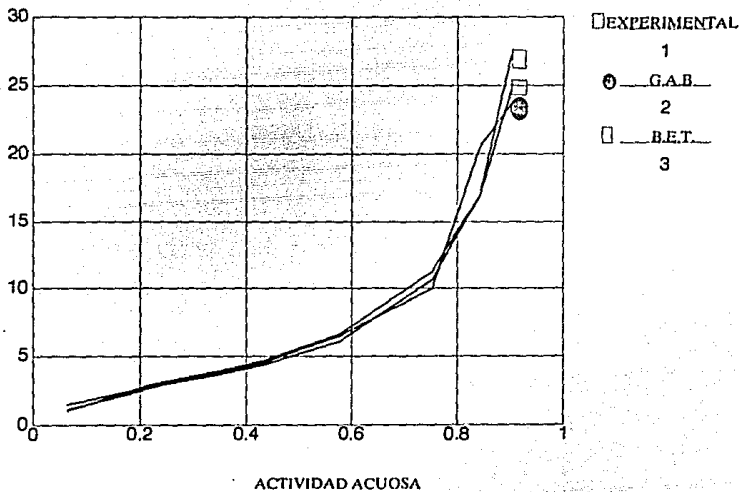


Figura N°. 54: Isoterma de desorción para café de Xicotepec, Pue., a 35° C y su ajuste con los modelos matemáticos de Caurie y Henderson

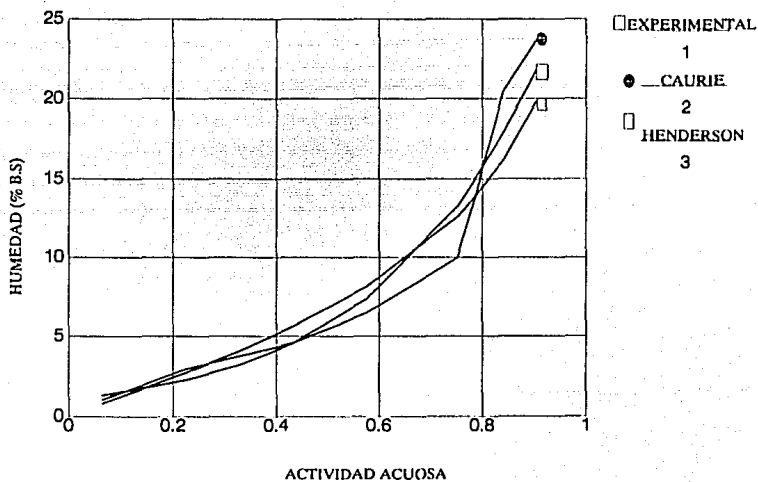
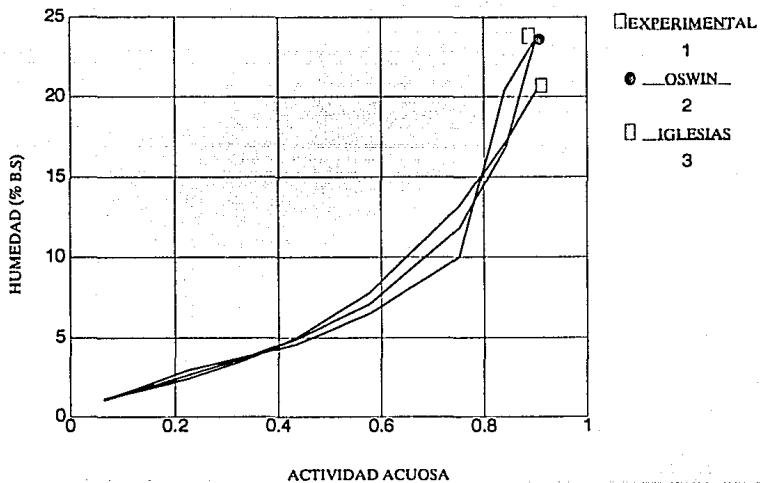


Figura N°. 55: Isoterma de desorción para café de Xicoteppec, Pue., a 35° C y su ajuste con los modelos matemáticos de Iglesias y Oswin



En el cuadro No.15 se presentan los valores de monocapa obtenidos para los datos experimentales, los cuales fueron obtenidos a través de las ecuaciones de B.E.T. y G.A.B.

En este cuadro pueden apreciarse los datos experimentales para el café de la región de Xicotepec, Pue., a 25°C, el intervalo que comprende es de 2.7 a 3.2 en la adsorción y de 1.2 a 3.0 para la desorción, para la temperatura de 35°C, se presentaron intervalos de 1.6 a 3.0 para la adsorción, y de 1.5 a 2.9 en la desorción.

Aportando con esto el estudio de sorción completo que nos permite conocer el valor de monocapa, para conocer el contenido de humedad residual necesaria para un almacenamiento estable.

CUADRO No. 15. VALORES DE MONOCAPA

REGION	TEMPERATURA (°C)	ISOTERMA	VALORES DE MONOCAPA (%B.S.)	MODELO MATEMATICO
ATOYAC	25	ADS	2.9283	G.A.B
ATOYAC	25	ADS	2.7954	B.E.T.
ATOYAC	35	ADS	3.5640	G.A.B.
ATOYAC	35	ADS	2.9806	B.E.T.
ATOYAC	25	DES	2.9319	G.A.B.
ATOYAC	25	DES	2.7740	B.E.T.
ATOYAC	35	DES	3.3774	G.A.B
ATOYAC	35	DES	2.9448	B.E.T.
HUATUSCO	25	ADS	3.0642	G.A.B.
HUATUSCO	25	ADS	2.8933	B.E.T.
HUATUSCO	35	ADS	2.1317	G.A.B
HUATUSCO	35	ADS	2.2868	B.E.T
HUATUSCO	25	DES	2.6858	G.A.B.
HUATUSCO	25	DES	2.5153	B.E.T.
HUATUSCO	35	DES	2.5157	G.A.B
HUATUSCO	35	DES	2.5480	B.E.T.
XICOTEPEC	25	ADS	3.2207	G.A.B.
XICOTEPEC	25	ADS	2.6869	B.E.T.
XICOTEPEC	35	ADS	1.5794	G.A.B.
XICOTEPEC	35	ADS	2.9820	B.E.T.
XICOTEPEC	25	DES	1.1245	G.A.B.
XICOTEPEC	25	DES	2.9820	B.E.T.
XICOTEPEC	35	DES	1.4141	G.A.B.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

Las isotermas de sorción de adsorción y desorción de humedad, de las tres regiones productoras de café mexicanas, presentan el tipo I, al inicio tienden a adsorber agua lentamente, al llegar a 0.3 - 0.4 de actividad de agua, presentan una elevación pronunciada, dando así la forma típica de alimentos con alto contenido de carbohidratos.

Las isotermas presentan el fenómeno de histeresis el cual está en relación inversa con la temperatura y se extiende esencialmente en la zona intermedia de las isotermas.

El modelo matemático que presentó el mejor ajuste de los datos experimentales para las tres regiones estudiadas de café fué el de Oswin, seguido por el de G.A.B.

Los valores de monocapa a una temperatura de 25°C para las isotermas de adsorción de las tres regiones estudiadas, oscilan entre 2.89-3.22 y para las isotermas de desorción de los mismos, el contenido de humedad de monocapa oscila entre 2.68-2.98

Al utilizarse los dos métodos para la realización de las isotermas a 25°C, el higrómetro eléctrico Novasina, y a 35°C el método de Wink; nos permitió apreciar que en el rango de temperaturas de 25 a 25°C, la diferencia que se encuentra en los resultados no es significativa, por lo que en este rango las propiedades de sorción no son sensibles al manejo con diferentes métodos instrumentales.

Las isotermas de sorción demostraron que al considerarse una variedad con respecto a distintos orígenes geográficos del café, no hay diferencia en las propiedades de sorción; por lo que la forma de cultivo no es relevante con respecto a estas propiedades.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFIA

1. Aguirre, R. J., Suarez, C., Vollar, E: Calculation of the variation of the heat of desorption with moisture content on the basis of the B.E.T theory. *Journal of Food Technology*. Vol. 19, 3311. 1984
2. American Association of Cereal Chemists. (A.A.C.C.): *Approved Methods*. Ed. A.A.C.C. 1969. 65-66, 213-214, 223-226, 306, 349-350, 02-02A
3. Arana, E.R: Actividad de agua en relación de los alimentos. *Rev. Tecnol. Alim (Mex)*. Vol 15, No. 6, 26-29. 1980
4. Arana, E.R, Iturbe G.A: Determinación de isoterma de sorción a tres temperaturas en dos variedades de maíz y trigo, su ajuste a modelos matemáticos y el estudio preliminar de las condiciones de almacenamiento. 1ª parte. Determinación de las isoterma y su ajuste a modelos matemáticos. *Rev. Tecnol. Alim. (Mex)*. Vol.24, No. 1, 4-13.
5. Caurie, M.A: A monolayer equation for use in sorption studies. *Journal of Food Science*. Vol.47, 332-333. 1981
6. Chirife, J., Bouquet R., Ferro F.C., Iglesias H.A: A new model for describing the water sorption isotherm of Foods. *Journal of Food Science*. Vol.48, 1382-1383. 1983
7. Chirife, J., Resnik, S: Unsaturated solutions of Sodium Chloride as reference sources of water activity at various temperatures. *Journal of Food Science*. Vol.49, 1486-1488. 1984
8. Daniel, W. W: *Bioestadística*. Ed. Limusa. 1985. México.
9. Escobar, C.F.P: *Diseño de un secador solar para café en grano*. Tesis. (IQ) UI SA. 1981. México.

10. González, R.E.: Temas selectos sobre el aprovechamiento de los residuos del beneficio húmedo del café. Informe técnico. Tesis. F.N.B.C., I.P.N., 1982. México.
11. Hayakawa, K., Matas, J., Hwang, P.M: Moisture sorption isotherms of coffee products. *Journal of Food Science*. Vol. 43, 1026-1027. 1978
12. Iglesias, A.H., Chirife, J: Handbook of Food Isotherms. Academic Press. 1982. U.S.A.
13. Iglesias, A.H., Chirife, J: Technical note: Correlation of B.E.T. monolayer moisture content in foods with temperature. *Journal of Food Technology*. Vol.19, 503-506. 1984
14. Iglesias, A.H., Chirife, J: Temperature dependence of water sorption isotherms of some foods. *Journal of Food Science*. Vol. 51, No. 3, 551-553. 1986.
15. Jimenez, A.A., Gutierrez, L.G., Gallardo, N.Y., Arenas Ocampo M: Evaluación de las condiciones de almacenamiento del grano de sorgo con base a sus isoterms de adsorción. *Rev. Tecnol. Alimenticia (Mex)*. Vol. 23, No. 6, 14-19.
16. Kumar, K.R., Balasubrahmanyam N: Moisture sorption and the applicability of the B.E.T. equation for some dry food products. *Journal Stored Prod. Res.* Vol.22, No. 4, 205-209. 1986
17. Labuza, T.P., Kaanane, A., Chen, Y: Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *Journal of Food Science*. Vol.50, 385-391. 1985
18. Labuza, T.P: Moisture sorption: Practical aspects of isotherms measurement and use. American Association of Cereals Chemist. 1984. U.S.A.
19. Manual de técnicas de laboratorio para el análisis de los alimentos: Ciencia y tecnología de los alimentos, Publicación 2-62. I.N.N.S.Z. 1984. México.
20. Monroy, M.L: Separación del orujo de oliva y deshidratación de la cereza mediante un secador de lecho fluidizado. Tesis. (Q.F.B.)Fac. Química. U.N.A.M, 1985. México.

21. Peraza, C.A.I.: Separación de orujo de uva y deshidratación de la semilla en un secador de lecho fluidizado. Tesis. (Q.F.B.)Fac. Química. U.N.A.M. 1983. México.
22. Pollio, M.I., Resnik, S.L., Chirife, J: Water sorption isotherms of soybean varieties grown in Argentina. *International Journal of Food Science and Technology*. Vol.22. 335-338. 1987
23. Rockland, L.B: Water activity influences on Food Quality. Academic Press. 1981. New York.
24. Rojas V., Avena, B: Determinación de isothermas de sorción en papaya y melón. *Gestion Tecnológica*. Vol.1. No.6. 37-39. 1987
25. Saguy, I., Drew, B: Statistical calibration of Instruments using water activity determination as an example. *Journal of Food Science*. Vol.52. No.3. 767-771. 1986.
26. Troller, A.J., Christian B.J: Water activity and foods. Academic Press. 1978. New York.
27. Villaseñor, L.A: Cafaicultura moderna en México. Agrocomunicación. Saenz Colín y Asociados. 1987
28. Villaseñor, L.A: Manual de beneficiado del café, 25 años de progreso. Asociación Nacional del Café. 1985. Guatemala.
29. Wink, A.W: Aw determining the moisture equilibrium curves of higroscopic materials. *Industrial and Engineering Chemistry*. Vol.18, 251-252. 1946.
30. Zavaleta, R.M: Efectos de las condiciones de proceso en el aspecto organoléptico del café soluble. Tesis (I.Q.) fac. Química. U.N.A.M. 1978. México.