

1989

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores
"CUAUTITLAN"



"AJUSTE DE TRES MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN LOCALIDADES DEL EJE NEOVOLCANICO"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A :
J. JESUS NEGRETE VALENZUELA

Director de Tesis: Biol. María de la Luz Martínez
Ing. Francisco Camacho Morfín

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1989



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.

I N D I C E

	PÁG.
RESUMEN	7
1. INTRODUCCION	9
1.1 Objetivos	11
1.2 Hipótesis	11
II. ANTECEDENTES	12
2.1 Factores que afectan la frecuencia de heladas	12
2.2 Clasificación de las heladas	17
2.3 Frecuencia de heladas en México	19
2.4 Métodos para estimar temperatura	23
2.5 Estimación de la frecuencia de heladas en México	27
III. MATERIALES Y METODOS	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	35
V. CONCLUSIONES	42
VI. BIBLIOGRAFIA	43
VII. ANEXO	46

R E S U M E N

El control de daño por frío en plantas y animales, así como el obtener un seguro contra siniestros en agricultura, requiere conocer la relación de la ocurrencia de heladas con los factores del clima, para estimar el comportamiento del fenómeno en localidades en que se carece de datos. Suponer que el gradiente es constante a cualquier altitud como comunmente se hace, no es correcto en regiones intertropicales.

Para mejorar las estimaciones y consecuentemente los mapas se evaluó el ajuste de las funciones recta, exponencial y logística a datos de 55 estaciones del Distrito Federal y los estados de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala con altitudes desde 800 a 3600 msnm. Las mayores F calculadas se consiguieron con la ecuación logística en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre en que la máxima frecuencia mensual de heladas rebazó los 20 días, la variación explicada como función de la altura se encontró entre el 78 y el 82%. Para el resto de los meses el mejor ajuste se tuvo con la exponencial sin que las F fueran mayores a 150, la variación

explicada disminuyó de 72 a 30% con la reducción de la máxima frecuencia mensual de heladas. En general la recta tuvo coeficientes de variación mayores a el 80%. En conclusión los mejores resultados se obtuvieron en la logística cuando hiela casi todo el mes y con la exponencial cuando no es así, como se esperaba la recta tuvo el menor ajuste; por lo tanto el gradiente altitudinal no es constante.

I.- INTRODUCCION

Uno de los riesgos a que se enfrenta la agricultura de algunas regiones esta en relación a las bajas temperaturas especialmente cuando éstas acusan valores iguales o menores a 0°C, produciéndose entonces el fenómeno conocido como helada, la cual puede tener efectos desastrosos en los cultivos sobre todo cuando la helada se produce fuera de época, pues aquellos se encuentran en un estado más vulnerable.

Los daños por enfriamiento antes que la temperatura alcance el punto de congelación son atribuidos a desequilibrios fisiológicos en la planta tales como excesiva transpiración en relación al agua absorbida, mayor respiración que fotosíntesis y mayor descomposición que síntesis protéica.

En el proceso de congelación del agua existente en los tejidos vegetales se pueden observar dos aspectos distintos que corresponden al líquido extra e intracelular, en este último la capa de lípidos de la membrana del plasma le confiere una mayor resistencia a la congelación, además dicha membrana impide al paso de los cristales de hielo formados externamente permitiendo en cambio salir el agua interior

aumentando el volumen de estos cristales, que pueden alcanzar un gran tamaño. Así se produce la plasmólisis celular y el aumento de la consistencia protoplásmica, que caracterizan al marchitamiento por helada.

La frecuencia y tendencia de las heladas en una área determinada puede servirnos de base para la planeación de calendarios de cultivo, fijación de seguros del mismo, créditos de avío etc.

Así pues resulta de interés la elaboración de mapas que describan la distribución de la frecuencia de heladas en una localidad, para realizarlos se requiere conocer la relación de esta con los elementos del medio físico, entre los que sobresalen la latitud y la altura sobre el nivel del mar.

Generalmente se supone que la relación entre dicha altura y la frecuencia es lineal, lo cual de acuerdo a consideraciones teóricas no siempre resulta cierto en gran parte de nuestro país, sobre todo al sur del Trópico de Cáncer, por la rareza o ausencia del fenómeno hasta cierta altitud. En el presente trabajo se evalúa algunas alternativas a la recta para la estimación de la frecuencia de heladas, empleando datos de localidades del eje neovolcánico.

OBJETIVOS

- 1.- Estimar el número de heladas en localidades del eje neovolcánico carentes de registros.
- 2.- Evaluar el modelo lineal $y = a+bx$
- 3.- Evaluar el modelo exponencial $y = ce^{ax}$
- 4.- Evaluar el modelo logístico $y = k/(1+e^{a-bx})$
- 5.- Determinar el modelo de mejor ajuste a los datos empleados

HIPOTESIS

- 1.- La altitud es un factor determinante en la frecuencia de heladas.
- 2.- Los factores micrometeorológicos hacen variar el número de días con helada (NDH) en puntos situados a la misma altitud sobre el nivel del mar.
- 3.- En la estación húmeda del año, se abate el NDH.

ANTECEDENTES

2.1.- Factores que afectan la Frecuencia de Helada.

Burgos, citado por Grassi (1983), menciona que las heladas se debe a la acción de factores macro y micrometeorológicos dados en una escala espacial y temporal.

Los factores macrometeorológicos son los que determinan el procesos del tiempo atmosférico que generan las heladas, contribuyen a definir la época de ocurrencia, la extensión del fenómeno y sus tipos genéticos.

Los factores micrometeorológicos son aquellas características locales que influyen en la intensidad, duración y magnitud de los daños por helada en las plantas, Grassi (1983) y Romo (1982), da la siguiente clasificación:

1) Factores macrometeorológicos

- Balance Calórico Regional de Radiación.
- Circulación Regional de la atmósfera.

II) Factores micrometeorológicos.

viento
nubosidad
humedad atmosférica
condiciones físicas del suelo
topografía del terreno
orientación del terreno
fuentes de calor urbanas

El balance calórico regional de la radiación viene dado por elementos de origen astronómico como la energía del sol, el fotoperiodo, la inclinación con que la tierra recibe a los rayos solares y con elementos que dependen de la atmósfera y del relieve del suelo. Por otra parte la circulación regional de la atmósfera es el factor que hace irregular la presencia de heladas a través del tiempo, dada su relativa variabilidad.

A continuación se da una explicación sucinta de los factores micrometeorológicos:

a) Viento

El viento es igualador de la atmósfera terrestre al transportar calor y humedad de un lugar a otro, disminuyendo así la probabilidad de helada; no así cuando aquel se encuentra en calma pues se favorece la inversión de temperatura especialmente durante la noche.

b) Nubiosidad

Las nubes pueden actuar como pantallas que impiden el escape de temperatura a zonas más elevadas, si las nubes son bajas su efecto protector es mayor.

c) Humedad atmosférica

Cuando la humedad atmosférica es alta, disminuye la probabilidad de ocurrencia de helada debido a que las partículas de agua absorben el calor radiado de la tierra, retardando su pérdida hacia las capas altas de la atmósfera; también pueden evitar la helada cuando el aire húmedo se condensa formando niebla, pues en el proceso se libera calor.

d) Condiciones físicas del suelo

Las condiciones en que el suelo cede más calor y por lo tanto da una mejor protección contra la helada es mantener el suelo húmedo, libre de malezas y compacto.

e) Topografía del terreno

Los terrenos suaves y de pendiente suave definida, son los menos propensos a helada, ya que el aire frío tiende a descender a las partes más bajas hasta llegar a los valles u hondanadas donde se deposita.

f) Orientación del terreno

La orientación al sur, recibe en el día mayor cantidad de radiación solar, por lo que tiene mayor reserva de calor durante la noche, bajando así la probabilidad de helada.

g) Islas de calor urbanas

En las ciudades es sabido que las temperaturas son en general mayores que sus alrededores; Geiger citado por Jauregui (1971b) señala que la razón básica de las diferencias térmicas en el clima urbano es la alteración de los balances de calor e hídrico.

El efecto de la " Isla de Calor" reduce el número de días con helada en el centro de la ciudad de México, (fig. 1) así en el corazón antiguo de la capital no ocurren heladas, mientras que en los alrededores los días con helada en el año suman en promedio 40. Hacia la zona de lomeríos del sur y del oeste, las heladas ascienden a 60 o 70 por año.

2.2 CLASIFICACION DE LAS HELADAS

Se ha definido la helada, como el descenso de la temperatura de 0 °C o menos, aunque de acuerdo al criterio agrometeorológico aquella se produce cuando el aire desciende a temperaturas tan bajas que provocan la muerte de los tejidos vegetales.

Romo (1982), clasifica a las heladas de acuerdo a tres criterios:

a) Epoca de ocurrencia	primaverales invernales otoñales
b) Proceso fisico	Advención Radiación Mixtas Evaporación
c) Efectos Visuales	Blancas Negras

En el primer caso las heladas primaverales y otoñales son las que más daño causan al cultivo ya que este se encuentra en época de gran actividad vegetativa; para los cultivos perennes o arbustivos, sus efectos puede afectar varias cosechas sucesivas (Torres) 1984.

De acuerdo al proceso físico se tienen la helada por advención, producidas por la entrada de masas de aire frío polar; la helada por radiación ocasionada por la pérdida de calor del suelo y los vegetales por el proceso de irradiación. Las heladas mixtas que es la combinación de las dos anteriores. Helada por evaporación, aunque es poco frecuente puede presentarse cuando la baja humedad relativa y las corrientes de aire seco provocan evaporación intensa del agua sobre los vegetales por lo que se produce su enfriamiento dado que el cambio del estado líquido al gaseoso requiere de 600 calorías/cm³, al estar el agua sobre el vegetal, el calor de evaporación es proporcionado por él, disminuyendo su temperatura hasta 0°C.

El otro criterio de clasificación de la heladas es por el efecto que causan a simple vista: " blancas y negras".

Las primeras se producen cuando la temperatura se reduce por abajo del punto de saturación, formando hielo cristalino,

mientras que en las heladas negras, la temperatura del aire desciende por abajo de los 0°C sin que se alcance el punto de rocío, causando necrosis o "quemaduras" en los tejidos vegetales, de ahí su nombre.

2.3 FRECUENCIA DE HELADAS EN MEXICO

Según Jáuregui (1970) las temperaturas inferiores a 0°C se presentan en México debido a invasiones de aire polar continental, generalmente seco, proveniente de Canadá y de los Estados Unidos de Norteamérica, las heladas ocurren también como resultado de un enfriamiento adicional de la masa de aire polar ocasionado por la pérdida de calor por radiación durante la noche cuando el cielo está despejado, en estos casos al aumentar la densidad del aire éste se desplaza a los lugares más bajos como las depresiones y fondo de los valles que resultan más afectados que las laderas y cimas.

En cuanto a la relación del número de heladas (NDH) por año con la altura se tiene que en México desde áreas al norte del Trópico de Cáncer hacia el sur no se presentan heladas al nivel del mar, esto también se cumple para gran parte de la costas del mar de Cortés (Jáuregui 1970). Conforme se eleva el terreno y dependiendo de la exposición a los vientos fríos se tiene una franja en la que no se presentan heladas, de acuerdo con Rzedowski y Huerta (1978), esta zona asciende a unos 600msnm al sureste de San Luis Potosí mientras en

Nayarit, Jalisco y Colima se eleva de 1000 a 1600msnm y aun más arriba en algunas partes de Oaxaca y Chiapas.

En partes más altas el número de heladas tiende a incrementarse con rapidez, así para la región Puebla-Tlaxcala entre los 2000 y 3000 msnm (fig 2) se tiene de 20 hasta 100 heladas por año, dependiendo de la aridez de las localidades (Jauregui 1968); en tanto las cumbres de las montañas más elevadas del eje neovolcánico hiela frecuentemente todo el año pues se tienen alturas superiores a los 4000 msnm.

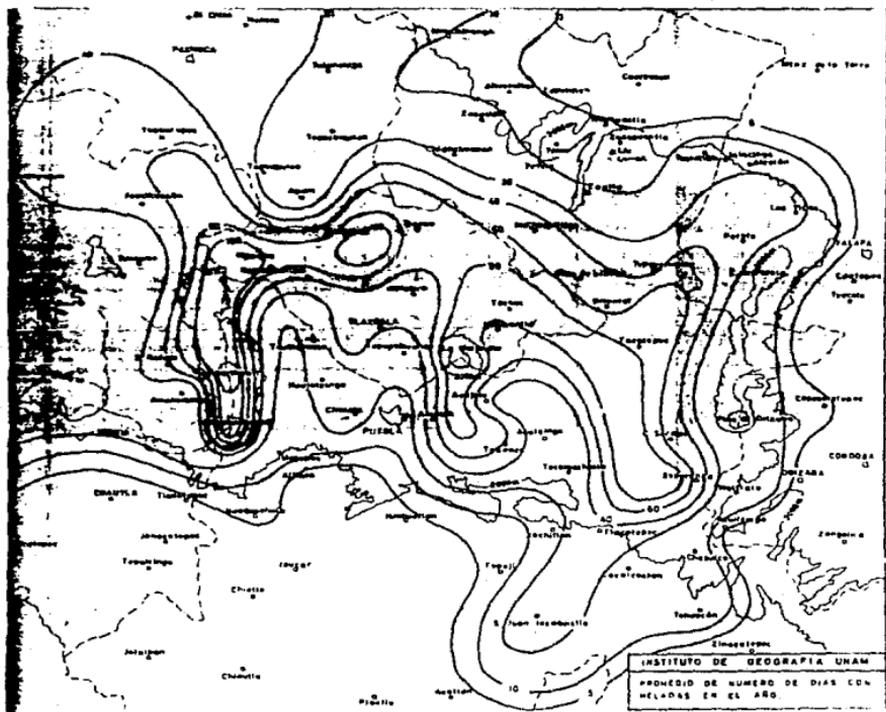


Fig. 2

Número Anual Promedio de Días con Heladas en la Región de Puebla-Tlaxcala.

2.4 Métodos para estimar la temperatura en localidades carentes de estaciones.

Estos procedimientos se emplean también para NDH; de acuerdo a Romo (1982) y Ortiz (1982) en extensas zonas que no cuentan con estaciones hay que recurrir a la aplicación de métodos de interpolación y extrapolación de valores, con el fin de poder trazar líneas isotermas.

Estos métodos requieren de:

1. Personas muy expertas en el trazado de isotermas
2. Conocimiento de la zona de estudio
3. Planos topográficos con curvas de nivel equidistancias máximas de 10 metros.
4. Densidad adecuada de la red meteorológicas para un buen trazado de las isotermas.

En general las estimaciones se hacen determinando un gradiente altométrico:

$$G=DT / Dh$$

Donde D=diferencia entre los datos de una estación a otra con menor altitud.

T=temperatura

h=metros sobre el nivel del mar

El uso de esta fórmula es recomendable cuando se tiene un par de estaciones, cuando se tienen más es mejor usar uno de los otros métodos

Ortiz (1984) señala que antes de aplicar estos métodos, cuando se cuenta con un gran número de estaciones, hay que subdividir climáticamente la región estudiada y obtener un gradiente para cada fracción, otros autores como Cardoso (1979), García (1981), Rzendowski y Huerta (1978), aplicaron más que una subdivisión fisiográfica de las estaciones empleadas, es decir de acuerdo con los valles, cuencas y montañas existentes así como la orientación de la pendiente.

Los métodos usados para calcular el gradiente altotérmico con más de un par de estaciones son:

a) Estimación de la temperatura en función de la ecuación altotérmica o gradiente medio.

Se agrupan como mínimo 10 estaciones pertenecientes a una determinada región climática homogénea que tengan registros durante un periodo de tiempo similar y que posean una diferencia apreciable y escalonada de altitud sobre el nivel del mar. Enseguida se establece un modelo de regresión altotérmica por medio de una ecuación lineal entre la temperatura y la altitud sobre el nivel del mar, para las estimaciones en cuestión. Para el caso que se aborda esto sería así:

$$NDH = A + Gh$$

Donde:

NDH= número de heladas a una altura determinada

A= frecuencia de heladas al nivel del mar

G= gradiente o pendiente

h= altitud (msnm)

$$NDH = A + Gh$$

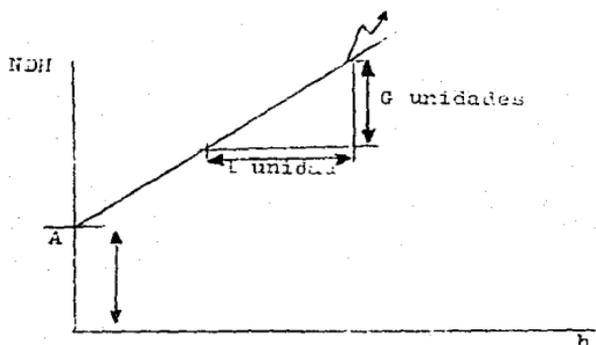


Figura 3 Relación altura - Número de heladas

La gráfica de la ecuación se representa en la figura (3)

Donde una unidad de variación en h produce una variación igual al gradiente o pendiente del NDH. La mejor recta que pasa por los puntos o diagrama de dispersión, puede realizarse por mínimos cuadrados, con los que se obtienen los valores de A y G .

De acuerdo a Romo(1982) y Ortiz (1984) para que la estimación sea satisfactoria debe cumplir con lo siguiente:

- 1) $R^2 > 0.80$
- 2) $|e| < 2.0 C$, $|e| = (\text{observado} - \text{calculado}) / \text{observado} * 100$

Donde:

R^2 = Coeficiente de determinación

/e/= error absoluto en %

b) Método del Gradiente Mediano

En resumen consiste en efectuar con los datos de las estaciones disponibles, todas las combinaciones posibles, tomándolas de dos en dos y para cada una se calcula su gradiente altotérmico.

Posteriormente se ordenan de mayor a menor los gradientes obtenidos y se determina la mediana de la serie. Con el gradiente mediano así obtenido se realizan los cálculos para trazar las isoterms.

2.5 ESTIMACION DE LA FRECUENCIA DE HELADAS EN MEXICO

Jauregui (1970) elaboró mapas acerca de la distribución del número de días con helada (NDH) en México, mas no expone como

se calcularon los gradientes, quizá por considerar que son métodos muy conocidos.

Por otra parte García Benavides (1979) en su trabajo para predecir número de heladas en función de la altura sobre el nivel del mar encontró coeficientes de determinación de 0.08 a 0.63, los cuales son inferiores a los obtenidos en las estimaciones de temperatura obtenida por regresión, pues sus coeficientes de determinación fueron de 0.74 a 0.919.

III. MATERIALES Y METODOS

En el estudio se emplearon datos de 55 estaciones climatológicas, de la Sierra Nevada y áreas circunvecinas a ella, que se encuentran en los estados de México, Morelos, Puebla, Tlaxcala y el Distrito Federal, localizados geográficamente en las latitudes $18^{\circ}30'$ - $19^{\circ}49'$ norte y las longitudes $97^{\circ}25'$ a $99^{\circ}30'$ oeste. (cuadro 1).

Se eligió esta zona porque se tienen desde climas con nieve permanente hasta climas cálidos (García, 1980 y Jáuregui, 1968). Además es una de las zonas que tiene mayor densidad de estaciones en México.

La Sierra Nevada se extiende de norte a sur, al oriente de la Cuenca de México, tiene una extensión de más de cien kilómetros y es un gran alineamiento de relieve continuo en el que los pasos entre los valles son difíciles y raros por encontrarse a grandes alturas.

Entre sus volcanes principales se encuentran el Iztaccihuatl con 5286msnm y el Popocatepetl con 5700msnm. Esta Sierra forma parte del eje neovolcánico de México.

Las estaciones consideradas se seleccionaron en base a las presentadas por García (1980) y a las que pudieron obtenerse

del Servicio Meteorológico Nacional, los años más frecuentes de registro en las estaciones empleadas comprenden el periodo 1941-1984 .

Para determinar el número promedio de heladas por año para cada estación se calculó primero las medias del número de heladas por mes para luego sumar cada una de estas, se procede así porque frecuentemente hay años en que se carecen de los datos para algunos meses.

La ecuación de la línea recta ajustada tuvo la siguiente forma:

$$y=a+bx$$

Donde:

y=la variable dependiente , en este caso frecuencia de heladas

a=ordenada al origen

b=gradiente o pendiente

x=variable independiente , es decir metros sobre el nivel del mar

Los valores de a y b se determinaron usando el método de mínimos cuadrados, con lo que se obtiene la recta de mejor ajuste (Infante y Zarate, 1984)

Para trabajar de esta forma con las ecuaciones exponencial y logística, se emplearon transformaciones de la variable dependiente (Walker, 1979).

CUADRO 1

LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES

#	NOMBRE	ESTADO	COORDENADAS		
			LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m. s. n. m.)
1	San Gabriel	Morelos	18 - 37	99 - 28	897
2	Huehuetlan el Chico	Puebla	18 - 43	98 - 10	900
3	Chiella	Puebla	18 - 31	98 - 34	1222
4	Ixcar de matamoros	Puebla	18 - 37	98 - 28	1285
5	Cuautla	Morelos	18 - 48	98 - 37	1291
6	Huehuetlan	Puebla	18 - 44	98 - 10	1300
7	El Rodeo	Morelos	18 - 40	99 - 25	1470
8	Palpan	Morelos	18 - 52	99 - 25	1470
9	Guernavaca	Morelos	18 - 55	99 - 14	1529
10	Atlatlahuacan	Morelos	18 - 56	98 - 34	1600
11	Huaquechula	Puebla	18 - 46	98 - 32	1640
12	Tlacotepec	Morelos	18 - 47	98 - 45	1802
13	Maninalco	Mexico	18 - 58	99 - 27	1840
14	Echevarria	Puebla	18 - 58	98 - 17	1850
15	Tlacotepec E. Juárez	Puebla	18 - 41	97 - 40	1950
16	Neppitla Tepeitlixpa	Mexico	18 - 59	98 - 50	1969
17	Tecamachalco	Puebla	18 - 58	97 - 43	2055
18	Salco del diablo, Texaluca	Puebla	18 - 55	98 - 07	2061
19	Chapulco	Puebla	18 - 59	98 - 13	2128
20	Acatzingo	Puebla	18 - 59	97 - 48	2160
21	Puebla	Puebla	19 - 02	98 - 11	2162
22	San Miguel Tlaxpan	Mexico	19 - 32	98 - 49	2000
23	Tlaxco	Tlaxcala	19 - 38	98 - 08	2240
24	Col. Escandon	D. F.	19 - 24	99 - 11	2245
25	Chapingo	Mexico	19 - 29	98 - 53	2250
26	Tepeaca	Puebla	18 - 58	97 - 54	2257
27	San Gregorio Atlapulco	D. F.	19 - 15	99 - 03	2259

CONT. DE CUADRO 1

LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES

#	NOMBRE	ESTADO	COORDENADAS		
			LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m. s. n. m. l)
28	Ixtalcalco	D. F.	19 - 28	99 - 07	2261
29	Texcoco	Mexico	19 - 31	98 - 58	2270
30	San Martín Texmelucan	Puebla	19 - 17	98 - 26	2275
31	Huejotzingo	Puebla	19 - 09	98 - 24	2291
32	Atenco	Mexico	19 - 38	98 - 55	2300
33	Presa Guadalupe	Mexico	19 - 38	99 - 19	2300
34	Tepexpan	Mexico	19 - 37	98 - 57	2300
35	Reyes la Paz	Mexico	19 - 12	98 - 54	2300
36	Chiantlingo	Mexico	19 - 12	99 - 28	2326
37	Oriental	Puebla	19 - 22	97 - 37	2345
38	Acajete	Puebla	19 - 07	97 - 57	2454
39	Amecameca	Mexico	19 - 07	98 - 46	2470
40	San Rafael Tlaxiaco	Mexico	19 - 12	98 - 43	2530
41	Tlaxcala	Tlaxcala	19 - 19	98 - 14	2552
42	Huamantla	Tlaxcala	19 - 10	97 - 56	2555
43	Calpulalpan	Tlaxcala	19 - 36	98 - 94	2578
44	Cd. Ezequiel Chalchicomula	Puebla	18 - 59	97 - 27	2585
45	Tlatchichulca	Puebla	19 - 08	97 - 25	2590
46	Almoloya del Río	Mexico	19 - 09	99 - 29	2470
47	El Tejocote	Mexico	19 - 27	98 - 53	2700
48	Huixquilucan	Mexico	19 - 22	99 - 21	2700
49	Huixtla	Tlaxcala	19 - 17	98 - 34	2706
50	La Granda	Mexico	19 - 31	98 - 59	2800
51	Río Flix	Mexico	19 - 21	98 - 41	3000
52	Desierto de los Leones	D. F.	19 - 19	99 - 18	3200
53	El Zarco	D. F.	19 - 17	99 - 21	3400
54	Hueyatlaco	Mexico	19 - 05	98 - 39	3557
55	San Juan Tetla Chiantlingo	Mexico	19 - 11	98 - 34	3300

Para la exponencial, la ecuación original es :

$$y = C e^{bx}$$

aplicando logaritmo (Ln) se tiene una recta:

$$\text{Ln } y = a + bx$$

Donde $a = \text{Ln } c$

Lo mismo se tiene con la logistica, en que la ecuación original es:

$$y = K / 1 + e^{a-bx}$$

Donde:

K = Constante que indica el punto máximo al que tiende la curva.

La versión par efectuar el ajuste es:

$$\text{Ln } (k/y-1) = a-bx$$

Los valores de K usados para hacer los cálculos, estuvieron dados por el número máximo de días que tiene cada mes.

Cuando se requirió usar logaritmos, fue necesario eliminar los ceros, esto se logro sumando la unidad a cada uno de los datos.

Para evaluar los tres modelos se usaron los siguientes parámetros: La F de regresión, el coeficiente de determinación y el coeficiente de variación, además se empleo

adicionalmente la técnica de análisis de residuos, definiéndose el residuo como la diferencia entre un valor observado Y_i y un valor esperado \hat{Y}_i , es decir $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$.

A e_i se le puede definir como residuos estandarizados r_i , los cuales se calculan de la siguiente manera (Draper y Joiner, Ryan et al citado por Curtis 1984):

$$r_i = e_i / e.s(e_i)$$

$e.s(e_i)$ = error standar
de los residuos

$$e.s(e_i) = \sqrt{\text{var}(e_i) - \text{var}(\hat{y}_i)}$$

otra forma empleada para calcular r_i es:

$$r_i = e_i / s$$

Donde s es la desviación estandar de los residuos (e_i)

Para el análisis gráfico se uso los residuos estandarizados como valores de la ordenada y a la variable independiente X_1 como la abscisa (Draper and Smith, Ascombe, Citado por Chatterjee 1977).

IV RESULTADOS Y DISCUSION

Los tres modelos se ajustaron mejor al promedio anual, así como a los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, que corresponden a la estación fría del año y consecuentemente de mayor número de días con helada, mas comparativamente de acuerdo a los parámetros usados el modelo que sobresale es el logístico con una F de regresión de hasta 171.5 y un coeficiente de determinación de 0.77 (Cuadros 2.3 y 4). Estos resultados se hacen evidentes al observar las figuras (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z), en donde se puede apreciar que la curva logística tiende siempre a caer en los valores medios entre la recta y la exponencial; la K usada en el modelo logístico fue de acuerdo al número de días que tiene el mes, en el promedio anual la K de 365 no tuvo el ajuste esperado ya que aún en la estación de Hueyatliaco que es la más alta de México tiene temperaturas arriba de los 0°C, por lo que su mejor ajuste es con K de 180 que es ligeramente superior al mayor número de días con helada registradas en dicha estación.

Para los meses de marzo a septiembre restantes la variación explicada por el modelo mencionado baja drásticamente de un 77 a un 29% que es el mismo nivel a que llega el modelo exponencial sin embargo la recta se va aún más abajo con una variación explicada de solo 22% (Cuadro # 3)

CUADRO No. 2		F DE REGRESION	
Mes	MODELO		
	Recta	Exponen.	Logis.
Ene	114.2	115.2	146.9
Feb	115.6	111.1	171.5
Mar	53.2	101	96
Abr	39.7	71.5	68
May	29.6	42.6	47.7
Jun	34	37	36
Jul	15	22	22
Ago	18	21	21
Sep	35.8	56.3	54.9
Oct	62.7	117	114
Nov	123.6	152.7	175.3
Dic	119.9	115.9	146.5
Anual	122.7	124.1	
K180			164.1
K365			136.7

CUADRO No. 3 COEFICIENTE DE DETERMINACION

Mes	MODELO		
	Recta	Exponen.	Logis.
Ene	0.68	0.69	0.73
Feb	0.69	0.73	0.76
Mar	0.50	0.66	0.64
Abr	0.43	0.57	0.56
May	0.36	0.44	0.44
Jun	0.39	0.41	0.40
Jul	0.22	0.30	0.29
Ago	0.25	0.29	0.29
Sep	0.40	0.51	0.51
Oct	0.54	0.69	0.68
Nov	0.70	0.74	0.77
Dic	0.69	0.69	0.73
Anual	0.70	0.70	
K180			0.76
K365			0.72

CUADRO No.4 COEFICIENTE DE VARIACION

Mes	MODELO		
	Recta	Exponen.	Logis.
Ene	0.44	0.32	1.32
Feb	0.52	0.35	0.65
Mar	1.08	0.54	0.29
Abr	1.47	0.82	0.16
May	1.89	1.26	0.13
Jun	1.71	1.52	0.06
Jul	3.28	2.31	0.08
Ago	2.50	2.05	0.06
Sep	1.51	1.00	0.09
Oct	0.94	0.49	0.19
Nov	0.50	0.32	0.41
Dic	0.44	0.32	0.86
Anual	0.52	0.29	
K180			0.55
K365			0.33

- 1 -

Esto último resulta por las sobreestimaciones que da este modelo en las estaciones menores a los 2500 msnm las cuales constituyen el grueso de las estaciones estudiadas. En tanto que el modelo exponencial por el contrario tiene las mayores sobreestimaciones en las estaciones arriba de 3000 msnm, sin embargo nos da estimaciones muy buenas en las estaciones bajas, por lo que su ajuste con respecto a la recta es mucho mejor. En las figuras (-) se puede observar como la curva exponencial se sobrepone muchas veces a la curva logística es decir que nos arroja estimaciones muy parecidas por lo que se podría manejar cualquier modelo en cuestión para esta temporada en especial.

Como se puede ver el mes considerado afecta notoriamente el ajuste de los modelos así se tiene que el coeficiente de variación del modelo logístico en los meses no fríos es muy bajo contrariamente a la recta lo cual indica que este modelo no puede aplicarse a las estaciones bajas o de clima cálido. La exponencial tiene un comportamiento parecido a la logística en esos meses ya que aún en las estaciones altas no hiela todo el mes.

Se sabe que los errores estadísticos estandarizados r_i , tienen una distribución normal, con media de cero y varianza igual a uno. por lo que se espera que el 95% de los residuos estandarizados tiendan a caer entre 2 y -2 en nuestro caso al analizar cada uno de los modelos se encontró que la recta

tiene un 60% de los valores extremos mayores a 2.5, en contraste con la exponencial y la logistica que tienen un 35 y 30% respectivamente, (cuadro 5). Se espera tambien que los residuos esten independientemente distribuidos sin formar ningun patron especifico, tal condicion se ajusta mas en los meses frios de otono - invierno, asi como en el promedio anual de los modelos mencionados; ver figuras 17-19, 26-29.

Cabe señalar sin embargo, que los modelos exponencial y logistico presentaron errores acumulativos en el manejo de cifras significativas por lo que muchos de los casos extremos menores de 2.5 son en realidad errores de medida.

Por otra parte el haber incluido estaciones con datos reales muy desviados, puede haber influido en los valores de B_0 y B_1 del modelo de regresión lineal y no por la mayoría del conjunto de estaciones, por lo cual se sugiere excluir las estaciones muy perturbadas como son las urbanas o aquellas en que se sospecha que influirán demasiado en el análisis estadístico, además de trabajar con un número similar de estaciones altas y bajas en relación al nivel del mar.

CUADRO No.5

Tamaño de los Residuos Estandarizados Absolutos
en los casos extraños

2 - 2.5				2.5		
Mes	Recta	Expon.	Logis.	Recta	Expon.	Logis.
Ene	3	2	3	-	1	-
Feb	1	2	3	-	1	1
Mar	-	3	4	2	-	-
Abr	-	3	2	3	1	2
May	1	2	2	1	1	1
Jun	1	2	2	2	2	2
Jul	-	-	-	1	1	1
Ago	-	2	2	1	1	1
Sep	-	-	-	2	2	2
Oct	1	-	1	1	-	-
Nov	2	2	2	-	-	-
Dic	1	2	3	1	1	-
Año	-	2	3	1	1	1

V. CONCLUSIONES

1. El modelo más consistente para determinar número de heladas es el logístico.
2. Dicho modelo no es confiable en áreas urbanas.
3. Se demostró que la altitud es un factor determinante en la frecuencia de heladas.
4. La curva exponencial funciona solo en los meses calientes y por consiguiente en las estaciones bajas.
5. Se reafirma el hecho de que la recta sea un mal estimador del número de heladas para las condiciones de México, pues en el trabajo de Benavides (1979) se obtuvieron coeficientes muy bajos para todos los meses del año, aunque cabe decir que no fue así en la estimación de la temperatura media, máxima y mínima usando el mismo método.
6. Se cumplieron los objetivos de este estudio.

BIBLIOGRAFIA

Contreras. A.A. s/a Regimen de Heladas en la Región de Chapingo. Comisión Nacional del Maíz. Folleto Técnico. México. 46p

Curtis. J.B. 1984. Introducción al Análisis de Residuos en Biología. Biotica 9 (3) : 271-278

García, E. J. 1979. Estructura Metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior modificación. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Mexico. PP 60-62, 81-89

García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) Ed. del Autor. México, pp 152.

Grassi, C.B.A. 1983. Riesgo de Primeras y Últimas Heladas en Puebla y Tlaxcala. Respecto a los Cultivos Básicos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 120 p.

Infante, F.S. y Zarate de L.G.P. 1984. Métodos Estadísticos, un enfoque interdisciplinario Trillas. México. pp 463-524.

Jauregui, O.E. 1968. Mesoclima de la región Puebla-Tlaxcala. UNAM. Instituto de Geografía. México. 29 p

-----1971a. Distribución de las Frecuencias de Heladas Lluvias y Tormentas Electricas en México. Ingeniería Hidraulica en México 24 (3): 320- 340.

-----1971b Mesomicroclima de la Cd. de México. UNAM. Méx.
pp 8-11,30,43,82,83.

Jauregui, O.E. y Vidal, B.J. 1981. Aspectos de la Climatología del Estado de México. UNAM Instituto de Geografía No. 11 pp21-23, 34-49.

Mendoza, G.J.A. 1979 Prácticas para evitar algunos efectos meteorológicos nocivos a la agricultura. UACH. Depto de Irrigació. Boletín Técnico Chapingo, México. 40 p.

Ortiz S C A. 1984. Elementos de agrometeorología cuantitativa con aplicaciones a la República Mexicana. UACH. Opto. de suelos México. pp 73-88.

Samprit Chatterjee Bertram Price. 1977 Regression Analysis by Example. John Wiley & Sons. N.Y. University. N.Y. USA pp 8-10.

Sarasola A.A. (1965). Efectos de las heladas en las plantas. INTA. Buenos Aires. Argentina. pp 4 - 9

Rzedowski, J. Huerta, L.M 1978. Vegetación de México. Limusa. México. pp 39-46.

Torres R E 1984 Agrometeorología, Diana. México pp 60-70.

William, R. and Harry, L.S. 1970. Frost and the prevention of frost damage. Silver Spring, Md Us Departmente of Commerce. pp 1-7, 30-32.

Walker, E. 1979 Algunas relaciones no lineales su aplicación en la investigación agrícola. Apuntes tercer taller de trabajo. CAE-Laguna. INIA. Mimeografo. México. 24 p.

FIG. 4 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEVOLCANICO

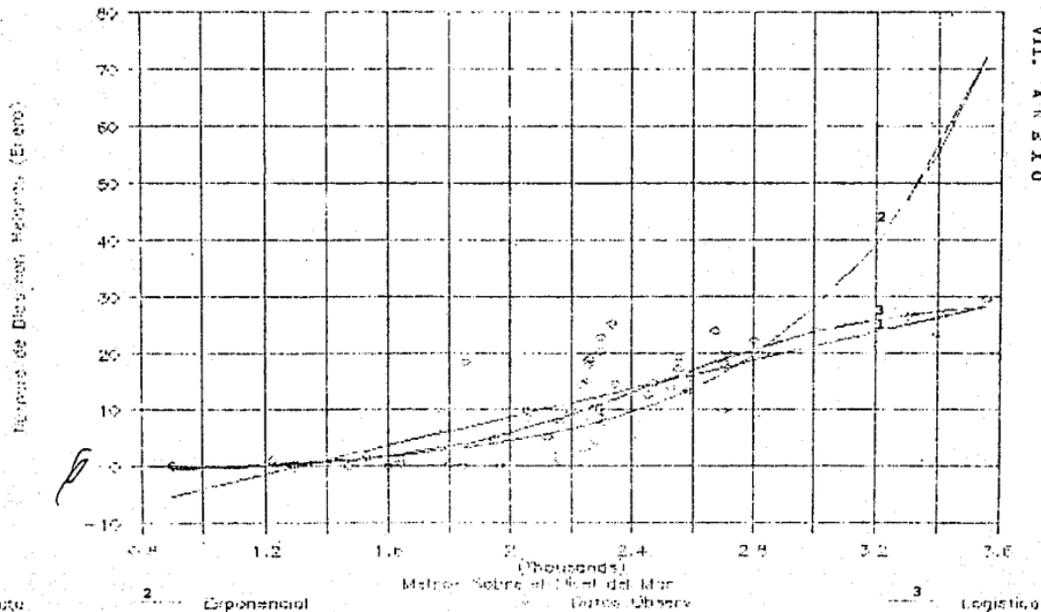


FIG. 5 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEOVOLCANICO

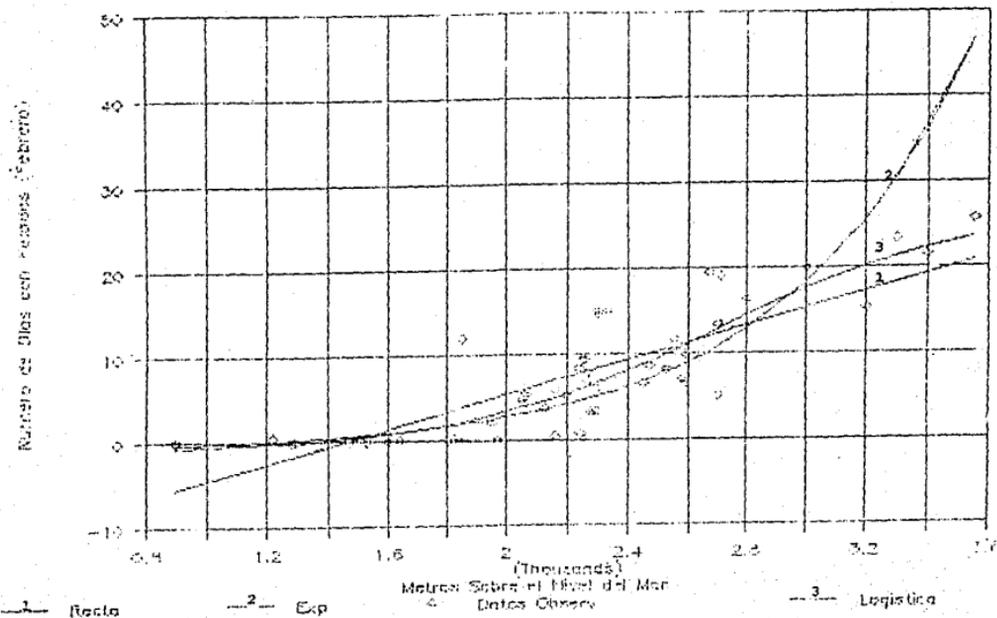


FIG. 6 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE
HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEOVOLCANICO

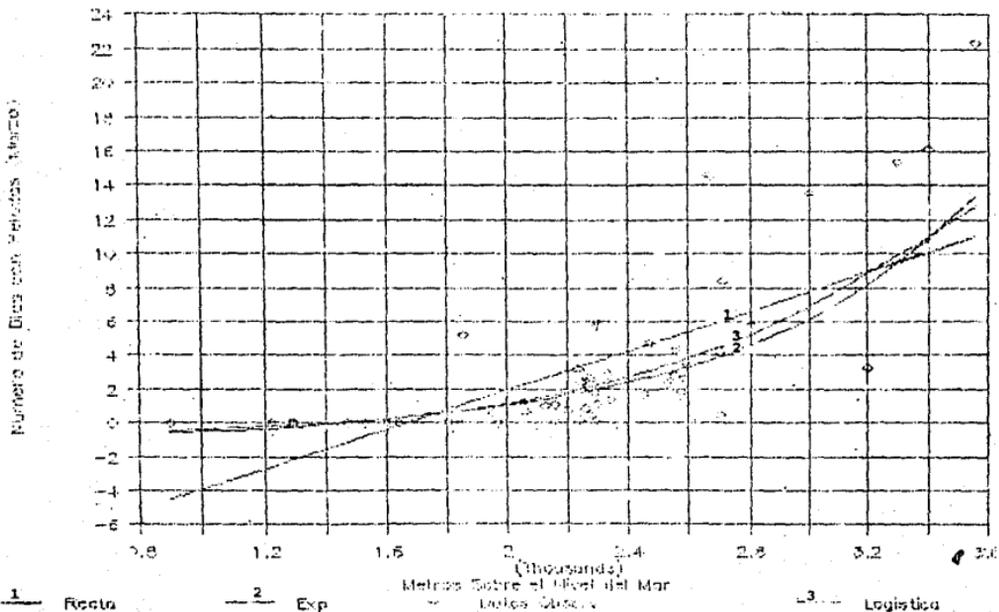


FIG. 7 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEOVOLCANICO

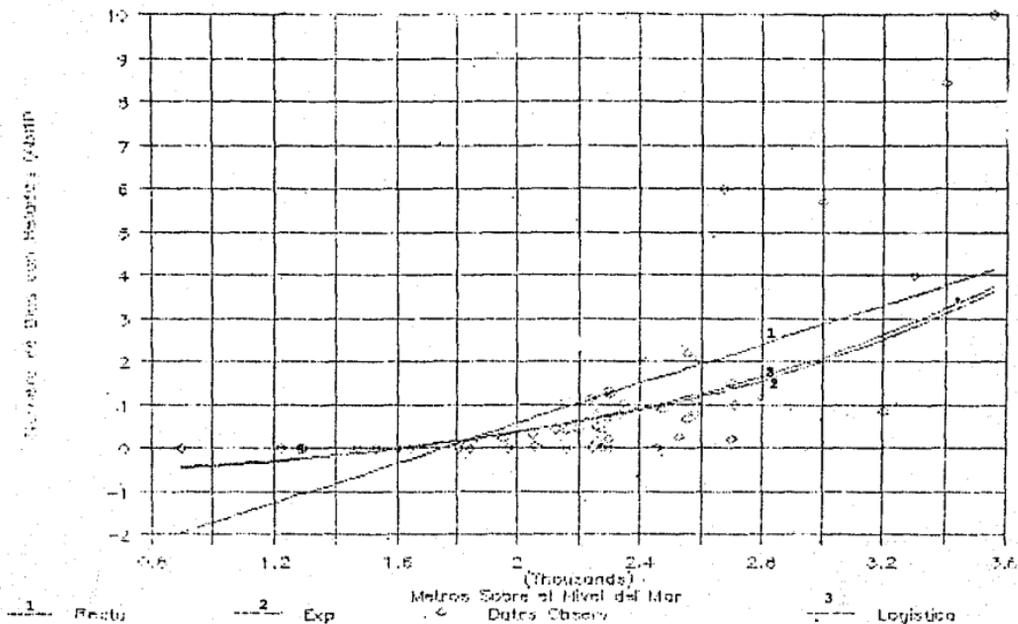


FIG. 6 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE
HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEOVOLCANICO

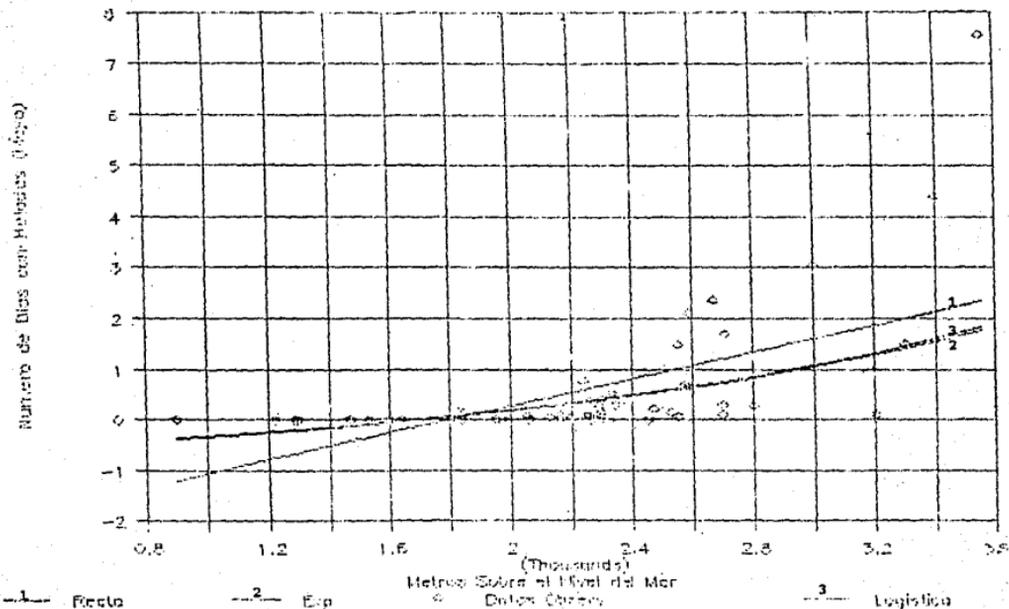


FIG. 9 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEVOLCANICO

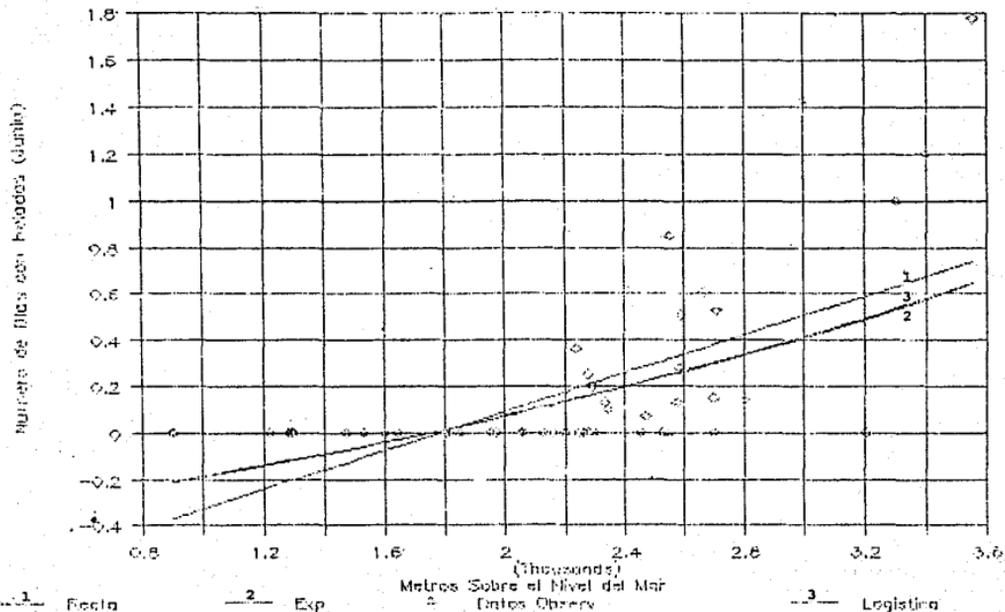


FIG. 10 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEVOLCANICO

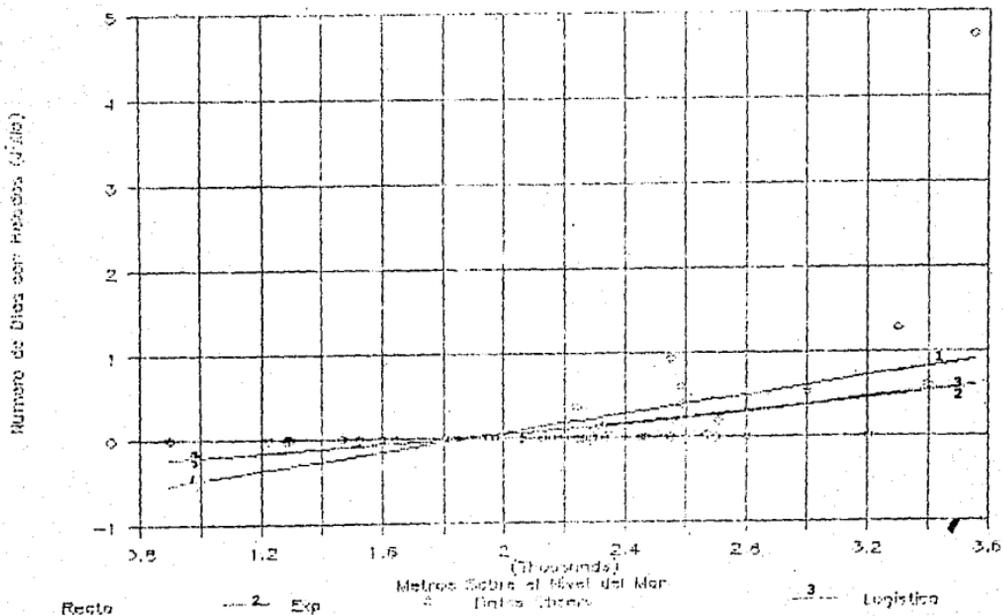


FIG. 11 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEVOLCANICO

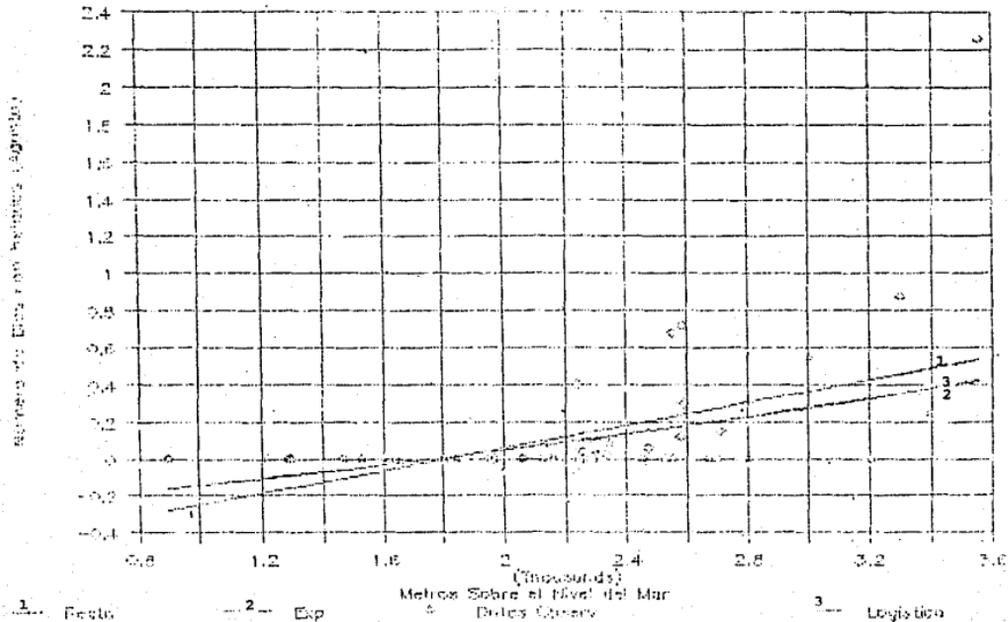


FIG. 12 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEOVOLCANICO

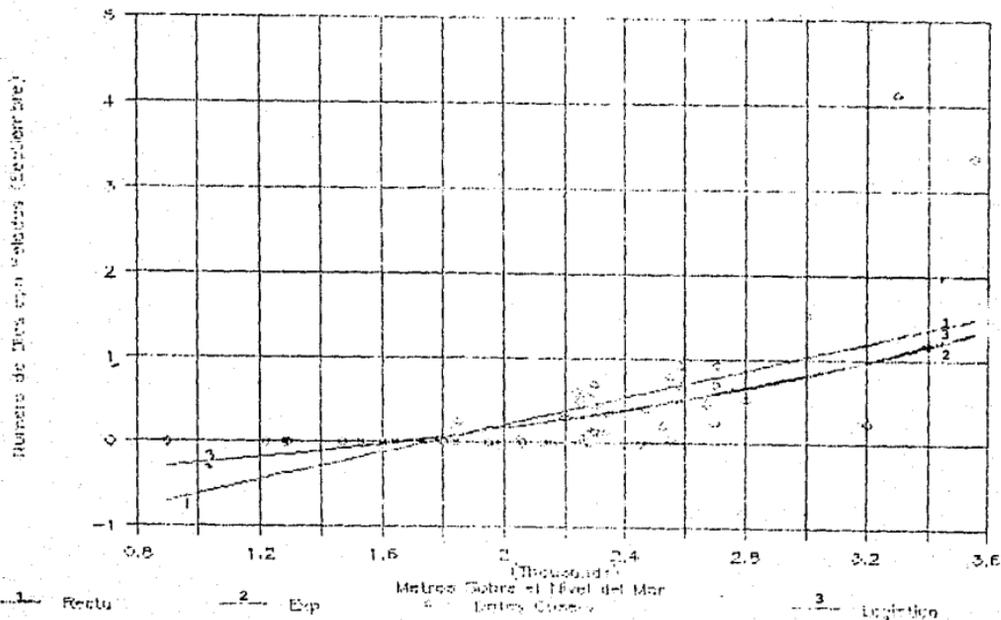


FIG. 13 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEVOLCANICO

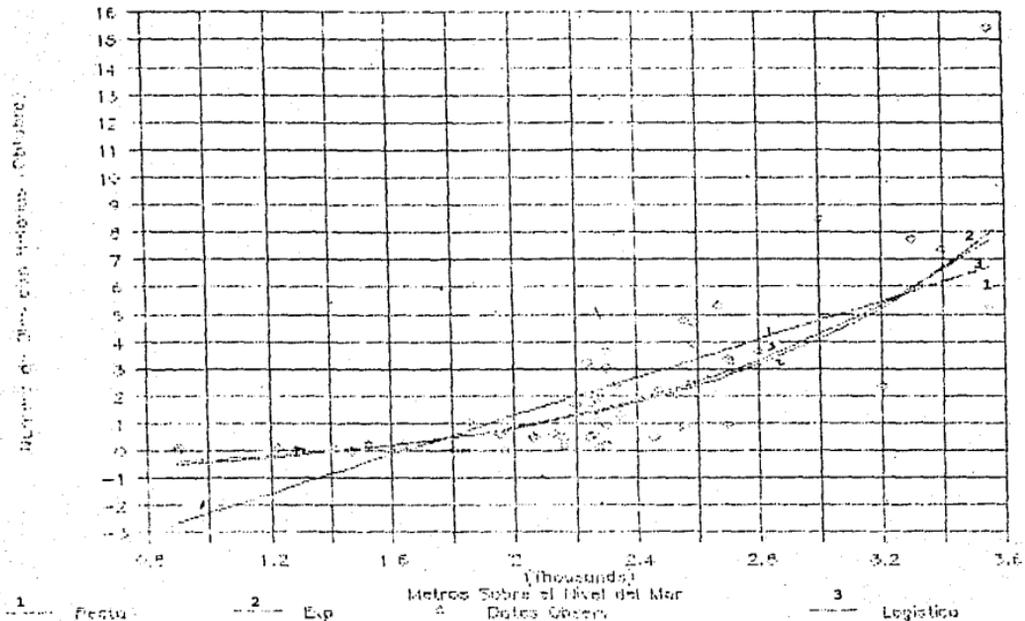


FIG. 14 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE
HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEOVOLCANICO

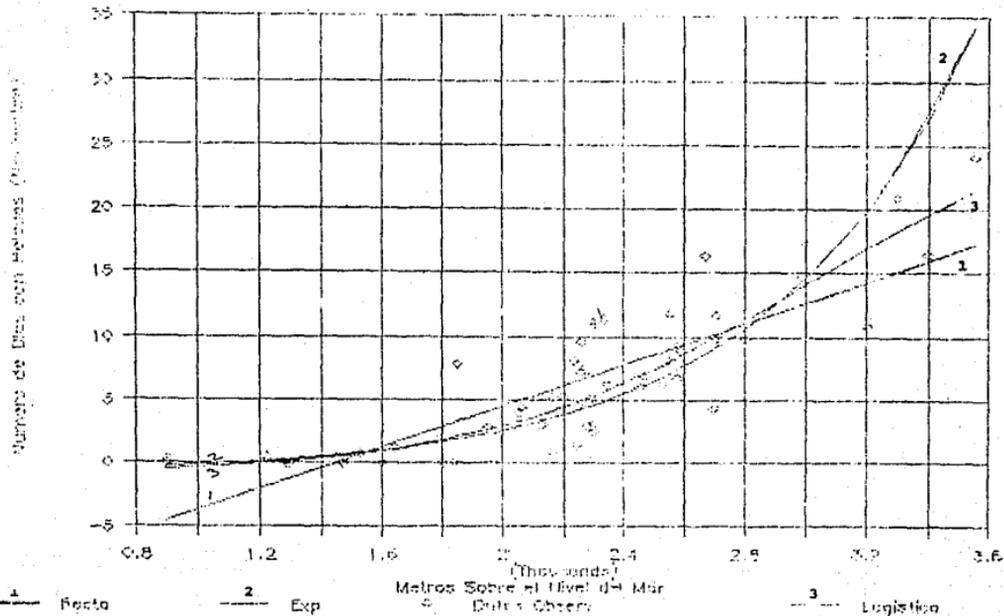


FIG. 15 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FRECUENCIA DE HELADAS EN ESTACIONES DEL EJE NEOVOLCANICO

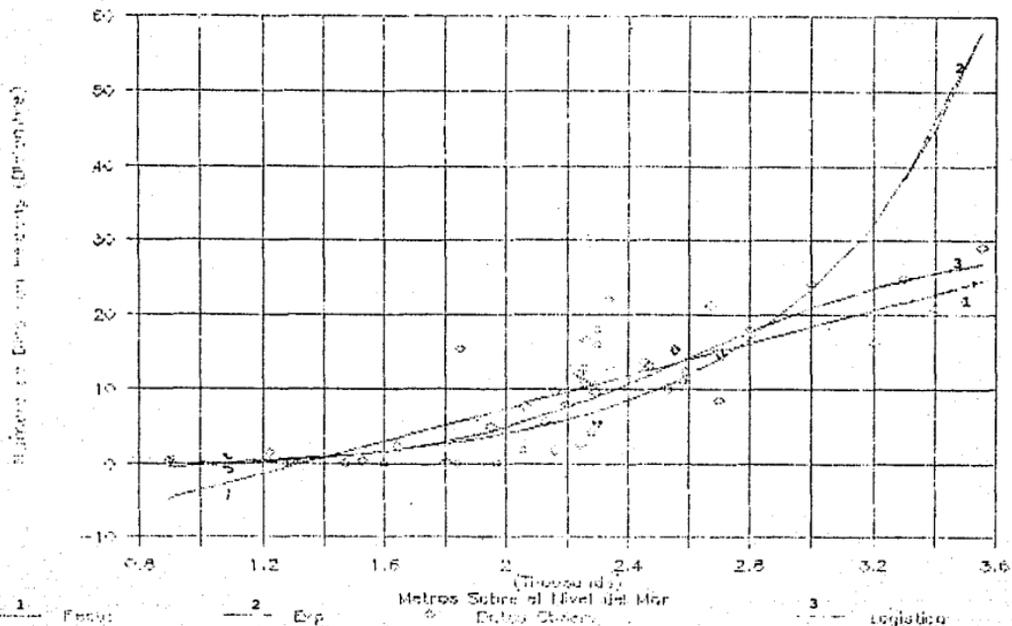
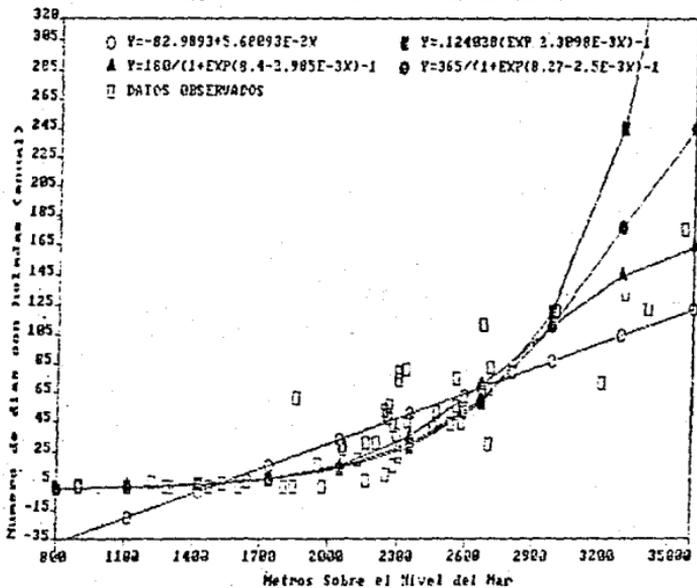


FIG.16 AJUSTE DE 3 MODELOS A LA FREC. DE HELADAS



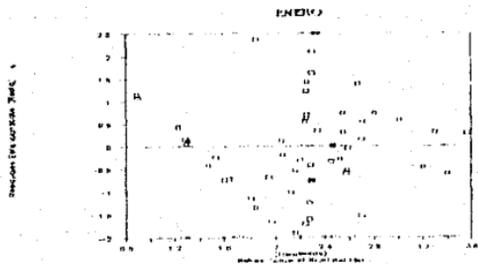
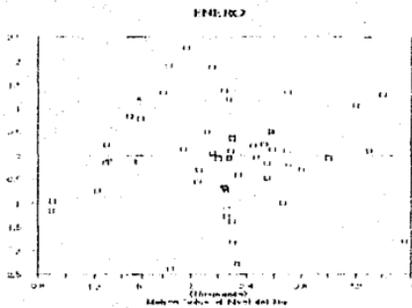


Fig. ---17--- Distribución de los residuos (r) en la logí-
tica, exponencial y recta para el mes de Enero.

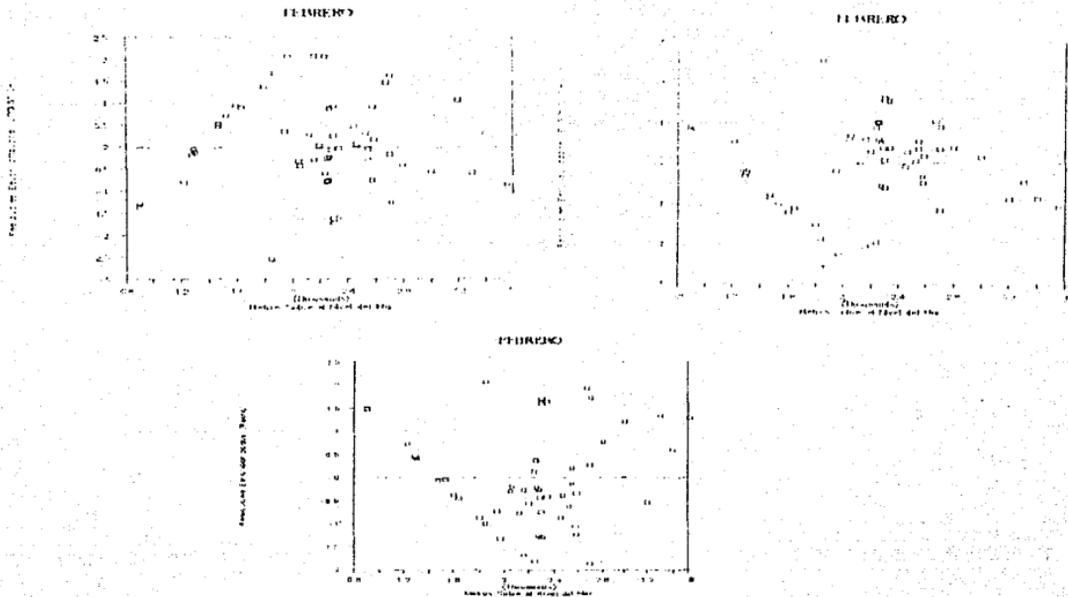
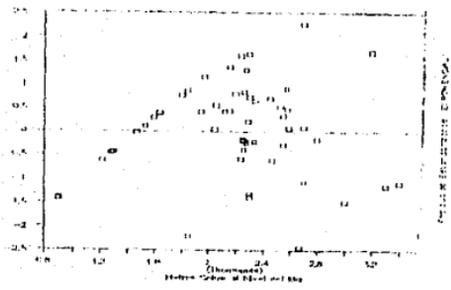


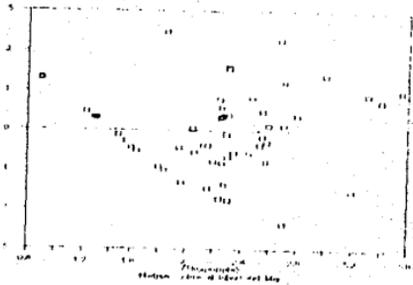
Fig. ---18--- Distribución de los residuales (r) en la logística, exponencial y recta para el mes de Febrero.

Residuos Distribuidos Loge

MARZO

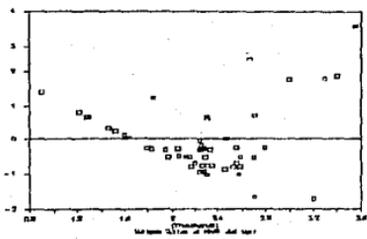


MARZO



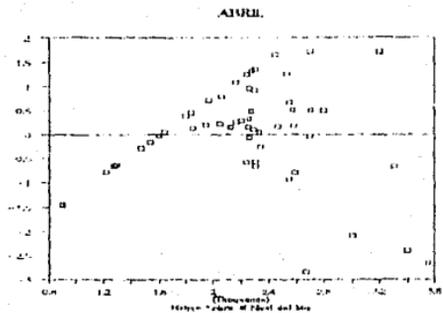
MARZO

Residuos Distribuidos Loge



- 51 -

Fig. 18 --- Distribución de los residuos (r) en la logística, exponencial y recta para el mes de Marzo.



Residuos (r) en el eje Y.

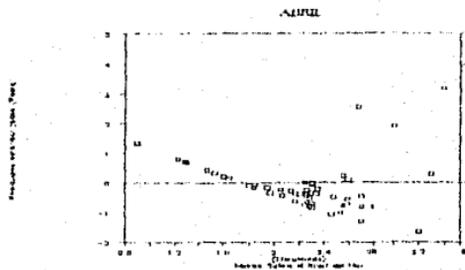
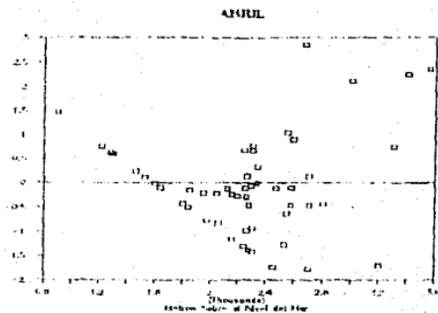
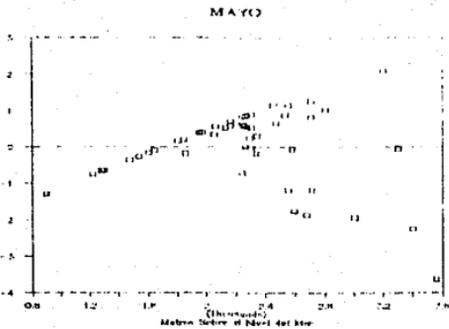


Fig. 20 Distribución de los residuales (r) en la logí-
tica, exponencial y recta para el mes de Abril.



Residuos Exponencial y Recta

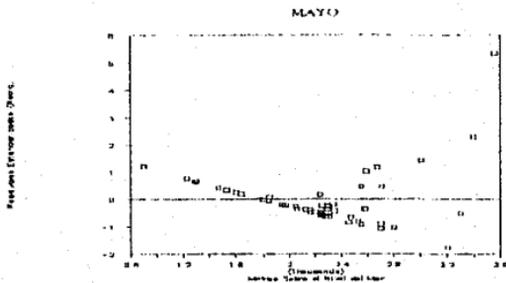
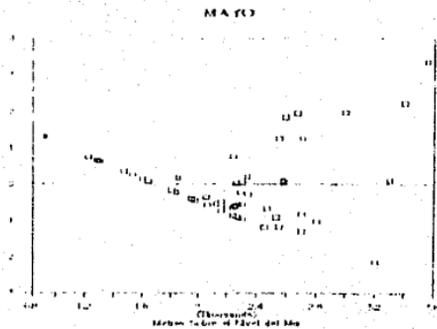


Fig. 21 ----- Distribución de los residuales (r) en la logística, exponencial y recta para el mes de Mayo.

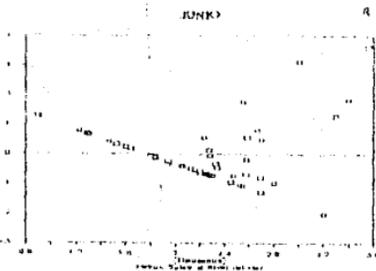
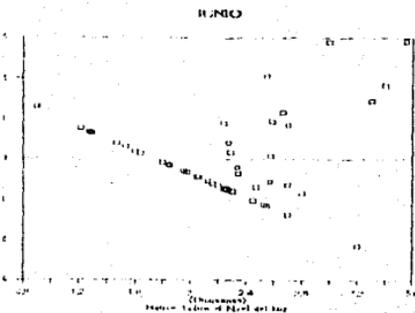
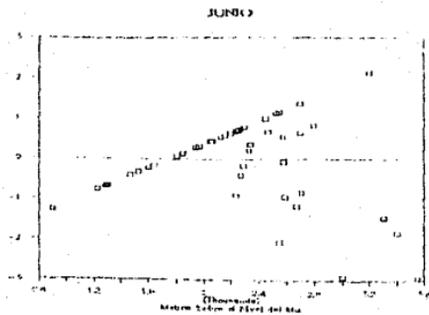


Fig. 22 Distribución de los residuos (r) en la logística, exponencial y recta para el mes de Junio.

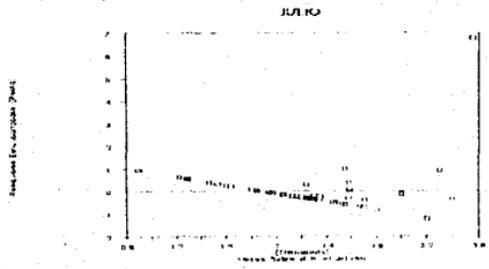
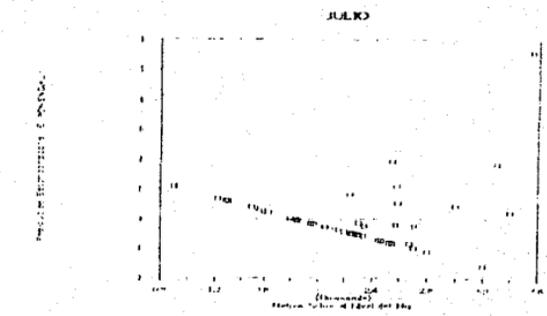
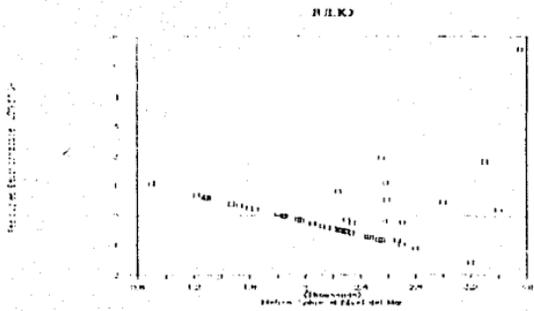
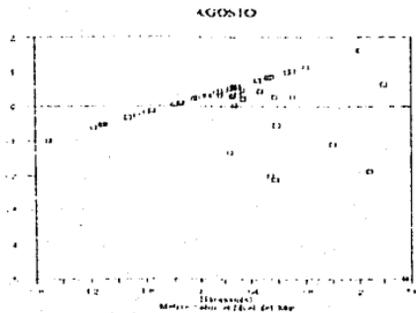
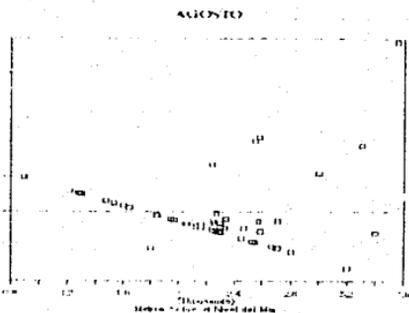


Fig. 23 --- Distribución de iso-residuales (r) en la logística, exponencial y recta para el mes de Julio.

Residuos de los modelos de ajuste



Residuos de los modelos de ajuste



Residuos de los modelos de ajuste

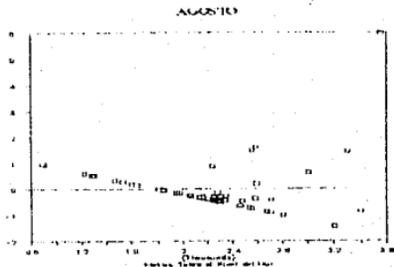


Fig. 24 --- Distribución de los residuales (r) en la logística, exponencial y recta para el mes de Agosto.

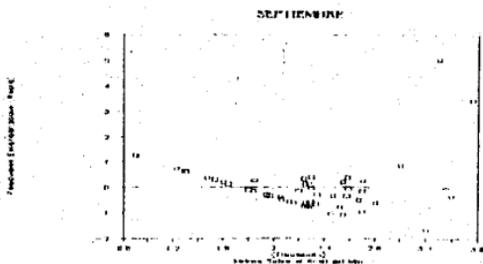
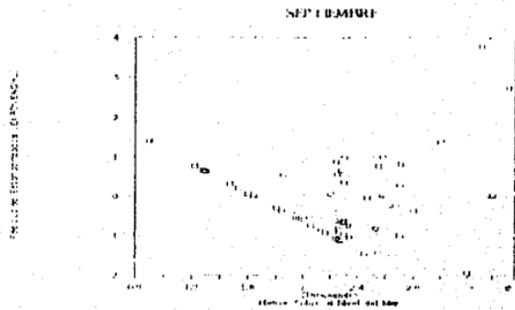
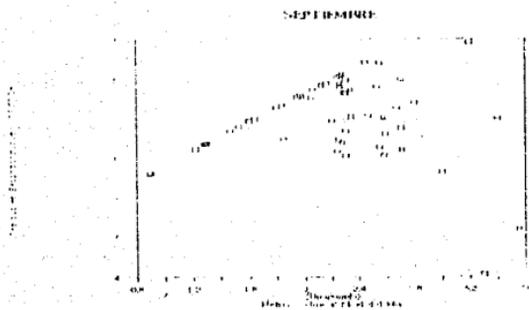
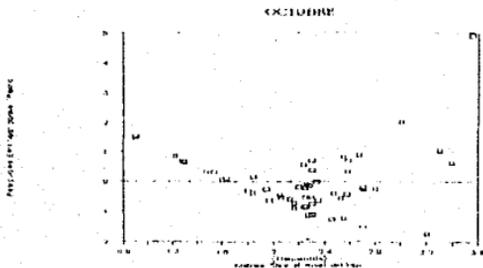
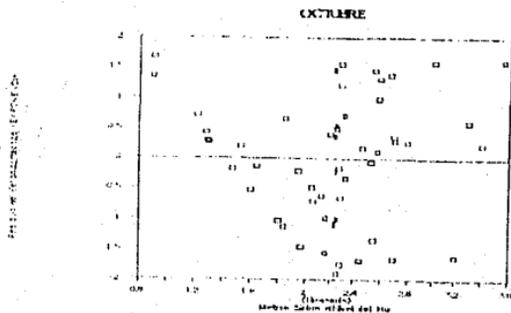
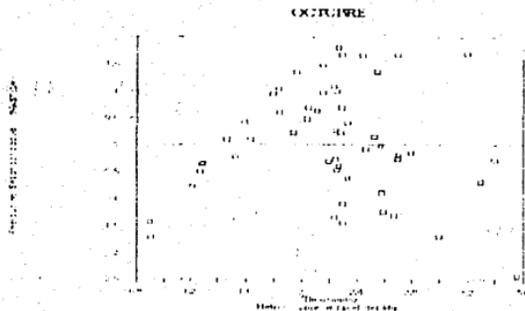


Fig. 25 ----- Distribución de los residuales (r) en la logística, exponencial y recta para el mes de Septiembre.



20
 Fig. ----- Distribución de los residuales (r) en la logística, exponencial y recta para el mes de Octubre.

ESTR
TESS
CO
PROY
SABR
DE
LA
INDUSTRIA

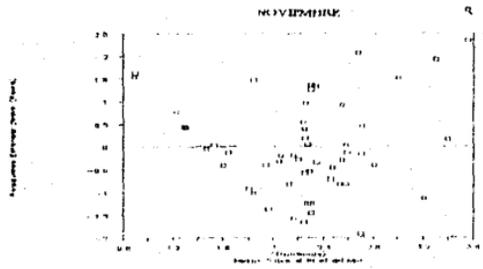
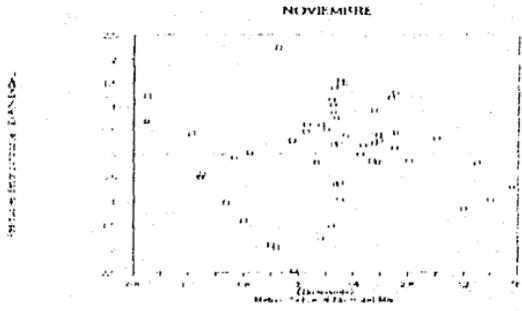
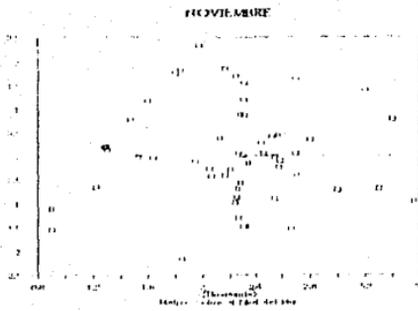
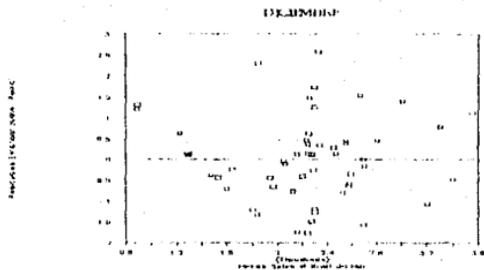
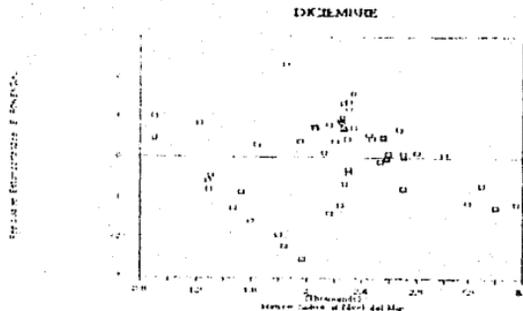
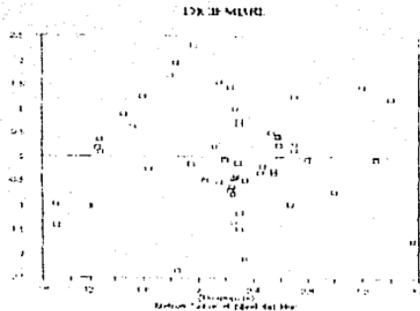
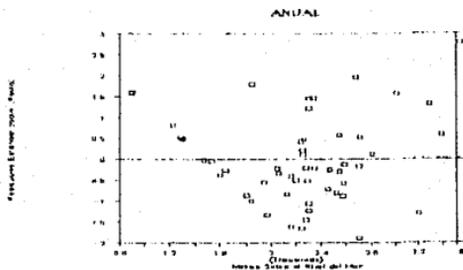
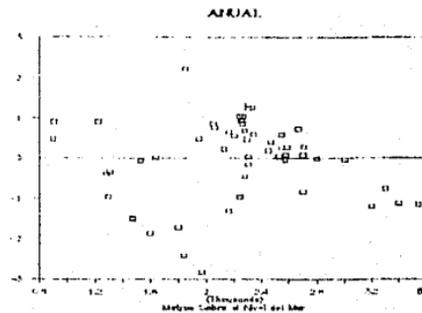
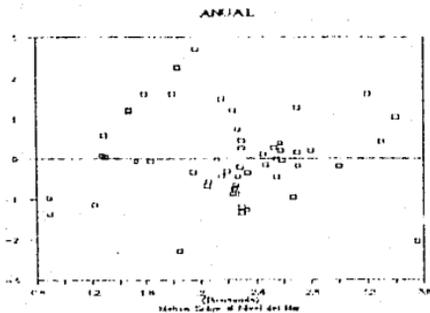


Fig. ---27--- Distribución de los residuales (e) en la logística, exponencial y recte para el mes de Noviembre.



28
 Fig. ----- Distribución de los residuos (r) en la logística,
 exponencial y recta para el mes de Diciembre.



29
 Fig. ----- Distribución anual de los residuales (r) en la
 logística, exponencial y recta.

