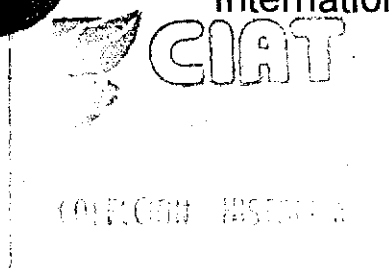


66723



CIAT

Centro Internacional de Agricultura Tropical
International Center for Tropical Agriculture



Aplicación de Estadísticas espaciales y SIG para el manejo de la bacteriosis vascular de la yuca

Reporte Técnico

Silvia Restrepo, Grégoire Leclerc,
Valerie Vardier y Juan Gabriel Leon

Enero, 2000

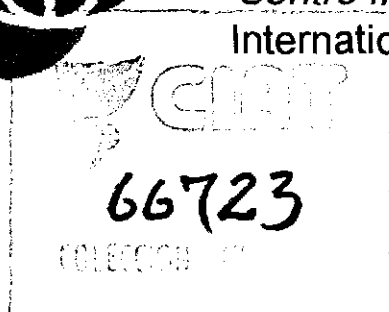
CGIAR

Consultative Group on International Agricultural Research



CIAT

Centro Internacional de Agricultura Tropical
International Center for Tropical Agriculture



Aplicación de Estadísticas espaciales y SIG para el manejo de la bacteriosis vascular de la yuca

Reporte Técnico

Silvia Restrepo, Grégoire Leclerc,
Valérie Vardier y Juan Gabriel Leon

Enero, 2000

CGIAR

Consultative Group on International Agricultural Research

66723

Aplicación de Estadísticas espaciales y SIG para el manejo de la bacteriosis vascular de la yuca

Objetivo

El objetivo del proyecto es el de proponer un modelo de soporte de decisiones que ayude a determinar parámetros importantes para la producción de yuca. El análisis estadístico-espacial de la distribución de la enfermedad debería permitir el desarrollo de una herramienta poderosa para aconsejar a los mejoradores y agricultores en sus decisiones para sembrar nuevos campos y controlar la enfermedad. El objetivo del estudio es el de examinar el potencial del SIG para evaluar y predecir patrones espaciales de incidencia y diversidad del patógeno causante de la bacteriosis vascular de la yuca, *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* (Xam).

Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es uno de los cultivos más importantes en Colombia, representando una superficie de 196.000 hectáreas. La producción se ha estimado en 2 millones de toneladas anuales (FAO, 1998). La bacteriosis vascular es uno de los factores limitantes de la producción de yuca. La enfermedad es causada por la bacteria *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* (Xam) y se caracteriza por la gran variedad de síntomas que induce en la planta (manchas foliares, marchitamiento y muerte descendente) (Lozano, 1986). Con el propósito de diseñar la estrategia de control adecuada, se llevó a cabo un estudio de la distribución de la enfermedad en Colombia.

La caracterización de patrones espaciales de la enfermedad proporciona información importante sobre la epidemiología, no solamente en relación con modelos de dispersión del patógeno sino también para identificar correlaciones significativas con variables como por ej. variables climáticas. Sin embargo, métodos eficientes de análisis e interpretación de los patrones espaciales son necesarios para analizar los datos epidemiológicos que se necesitan para el diseño de programas de manejo de enfermedades. Las estadísticas espaciales y el SIG proveen herramientas poderosas para mejorar nuestro conocimiento y comprensión de los aspectos espacio-temporales de la enfermedad (Nelson *et al.*, 1999).

Metodología

El trabajo que se plantea, se basa en una base de datos sobre la bacteriosis vascular de la yuca establecida y coordinada por V. Verdier y colaboradores. La base de datos contiene todas las cepas de la bacteria recolectadas entre 1995 y 1999 con su sitio de origen (localidad, ecozona

(ECZ), departamento, coordenadas geográficas y elevación), la variedad de la cual fue aislada, la fecha exacta de recolección, su grupo molecular (determinado por la técnica RFLP (Restrepo y Verdier, 1997) y la incidencia asignada para cada uno de los campos. La incidencia es estimada según una escala de 1 a 5 en donde 1 es una baja incidencia y 5 una incidencia alta. A esta base de datos del patógeno, se adicionaron datos climáticos para cada una de las localidades visitadas. Estos datos fueron: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para cada mes entre 1995 y 1998.

De esta base de datos se generó un archivo en el cual la cepa no fuera el individuo de estudio sino el campo para un mes y un año determinados. Las cepas de cada campo sirvieron para calcular la diversidad del patógeno presente en cada campo. Con este nuevo archivo, se facilitó la búsqueda de correlaciones entre las variables incidencia y diversidad y las variables climáticas. El estudio de correlaciones y los análisis estadísticos en general fueron realizados gracias al programa S-PLUS 2000.

Además de los datos climáticos antes mencionados, se agregaron los siguientes datos: temperatura de la noche, temperatura del día y diferencia de temperatura entre el día y la noche. Es importante decir que para el estudio solo se consideraron dos meses para cada campo, el mes durante el cual se efectuó la recolección de las cepas y el mes anterior. Así, los datos climáticos que aparecen en el archivo de trabajo corresponden a estos meses, 1 para el mes anterior a la visita al campo y 2 para el mes en el cual se efectuó la visita.

A continuación, aparecen las fórmulas que se emplearon para el cálculo de la diversidad y las temperaturas de día y de noche como para el cálculo de la diferencias de temperaturas entre el día y la noche.

DIVERSIDAD

La diversidad se calculó de acuerdo con el índice de Simpson, prácticamente independiente del tamaño de la muestra.

$$H = \sum_{i=1}^s (n_i (n_i - 1) / n(n-1))$$

Donde n_i es el número de cepas del haplotipo i , n es el tamaño de la muestra y S es el número de diferentes haplotipos en la muestra

TEMPERATURA DE LA NOCHE

$$T_{\text{noche}} = (2T_{\text{min}} + T_{\text{max}}) / 3$$

TEMPERATURA DEL DÍA

$$T_{\text{dia}} = (2T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 3$$

DIFERENCIA DE TEMPERATURA DIA-NOCHE

$$T_{diff} = (T_{max} + T_{min})/3$$

Los pasos a seguir son entonces, la búsqueda de correlaciones significativas entre las variables incidencia y diversidad. Una vez identificadas las variables climáticas con mayor influencia sobre la enfermedad, se procederá a mapear los sitios con mayores probabilidades de presencia de la enfermedad, para cada mes de acuerdo a la distribución espacio-temporal de las variables climáticas. el mapeo se efecturá con el programa ArcView.

Resultados

Incidencia de la enfermedad

El primer paso a seguir era el de establecer las correlaciones existentes entre la incidencia y las variables climáticas. Se utilizó, para todos los casos, un tipo de regresión no paramétrica adecuada para relaciones no lineales y errores de tipo no normal.

Las variables que presentaron coeficientes de correlación más elevados con incidencia fueron: Precipitación durante el mes que se visitó el campo (P2) y temperatura máxima para el mismo mes (TM2).

Para combinar las variables se tienen varias opciones: GAM (General additive models) o Local regression models. Los modelos aditivos pueden fallar si existen interacciones entre las variables. En ese caso se prefiere un model de regresión local. En el estudio se determinó la existencia de interacciones entre variables predictoras de una variable dependiente, en este caso la incidencia. Por ejemplo la relación entre incidencia y temperatura dependerá de los valores de precipitación.

Se ensayaron varios modelos, todos incluyendo las variables temperatura máxima mes 2 y precipitación mes 2, el modelo con el mayor coeficiente de regresión fue:

$Inc \sim P2 + TM2$ $r^2 = 0.33$ en una regresión de tipo Loess (no-paramétrica) y con un rango (span) de 0.75. Se hizo un estudio completo del modelo (distribución de los residuos, ajuste del modelo, etc).

Una vez establecido el modelo, se procedió a construir un árbol de decisión (opción TREE MODELS de SPLUS 2000). El modelo completo se puede ver en la figura 1.

Con el fin de mapear la distribución de la incidencia según estos parámetros climáticos, se procedió de la siguiente manera: para la variable precipitación se consideraron dos rangos:

$P > 111\text{mm}$ (1)

$P < 111\text{mm}$ (2)

Para la variable Temperatura máxima se establecieron tres rangos:

$TM2 > 34.6$ (10)

$30.6 < TM2 < 34.5$ (20)

$TM2 < 30.6$ (30)

Así, tenemos según el modelo del árbol para incidencia:

PRECIPITACION + TEMPERATURA MAXIMA	INCIDENCIA
11	Baja
12	Baja
21	Alta
22	Baja
31	Alta
32	Alta

Los mapas de distribución de la incidencia según dos rangos: alta y baja incidencia para cada mes del año aparecen en la figura 2

Diversidad

Se hizo el mismo análisis, tomando como modelo

$Div \sim P2 + TM2 + Var \quad r^2 = 0.47$ con $Var =$ número de variedades por campo.

El árbol de decisiones aparece en la figura 3.

Falta por construir los mapas de la distribución de la diversidad en Colombia según estos parámetros.

PERSPECTIVAS Y COMENTARIOS

Se han identificado hasta ahora las variables de mayor influencia para explicar la diversidad y la incidencia de la enfermedad bacteriosis vascular de la yuca y su patógeno *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* en Colombia. Sin embargo, en el mejor de los casos, sólo se explica el 30% de la incidencia y el 47% de la diversidad, por lo que hay que considerar nuevas variables en el modelo.

PERSPECTIVAS

- Como primera medida, se debe completar la base de datos con datos importantes para el desarrollo de la enfermedad: número real de variedades por campo, edad del campo, intensidad y tipo de campo. Con estas nuevas variables se debe estudiar la correlación entre ellas y las variables incidencia y diversidad y si es el caso mejorar los modelos que se tienen.

- Completar los datos de 1999, para esto es necesario pedir los datos climáticos al IDEAM en Bogotá o con la base de datos del CIAT

- Se podría estudiar el caso de un campo haciéndole seguimiento a la incidencia y diversidad a lo largo del ciclo de cultivo (de 8 a 18 meses dependiendo de la ecozona). Se podría escoger un campo como Villavicencio, Cajibío u otro para el cual se tengan datos climáticos diarios y así determinar hasta qué día de anterioridad las condiciones del medio son importantes para determinar el desarrollo de la enfermedad.

- Una vez que se tengan mapas de incidencia y diversidad se podrían superponer con los mapas (ya existentes) de zonas aptas y óptimas de cultivo de yuca, ya que la enfermedad puede tener condiciones óptimas de presencia pero la yuca ausente

- Tener en cuenta que son tres los factores que determinan la evolución de una enfermedad: el hospedero, el patógeno y el medio. Del hospedero, la yuca, se desconoce el nivel de resistencia de las variedades de cada campo pero con las variedades ya evaluadas se podría tener un estimativo.

- Tratar de realizar un estudio por ECZ por varias razones: el patógeno puede presentar adaptación a ciertas condiciones y una temp max de 35°C puede afectar a una cepa en el Cauca pero no en la costa norte. En general, la relación patógeno-hospedero depende del medio y será diferente en cada una de las ECZs. Una aproximación al estudio por ECZs se comenzó a realizar y los archivos aparecen en la carpeta Datos Dic 99. Las gráficas dan una idea que las correlaciones varían de acuerdo a la ECZ.

- Tener en cuenta los campos con dos o tres cepas pues pueden dar estimativos sesgados de diversidad por la poca cantidad de muestras.

- Tener en cuenta que todas cuando la localidad es la misma, no necesariamente se trata del mismo campo: Pivijay puede en realidad corresponder a dos o tres campos diferentes y estos campos deben ser diferenciados, una buena manera es con las nuevas columnas: tipo de campo, intensidad de siembra de yuca, etc

- Tener en cuenta el origen de las estacas que se utilizan en cada campo, esta información la posee mejoramiento de yuca.

Fig.1

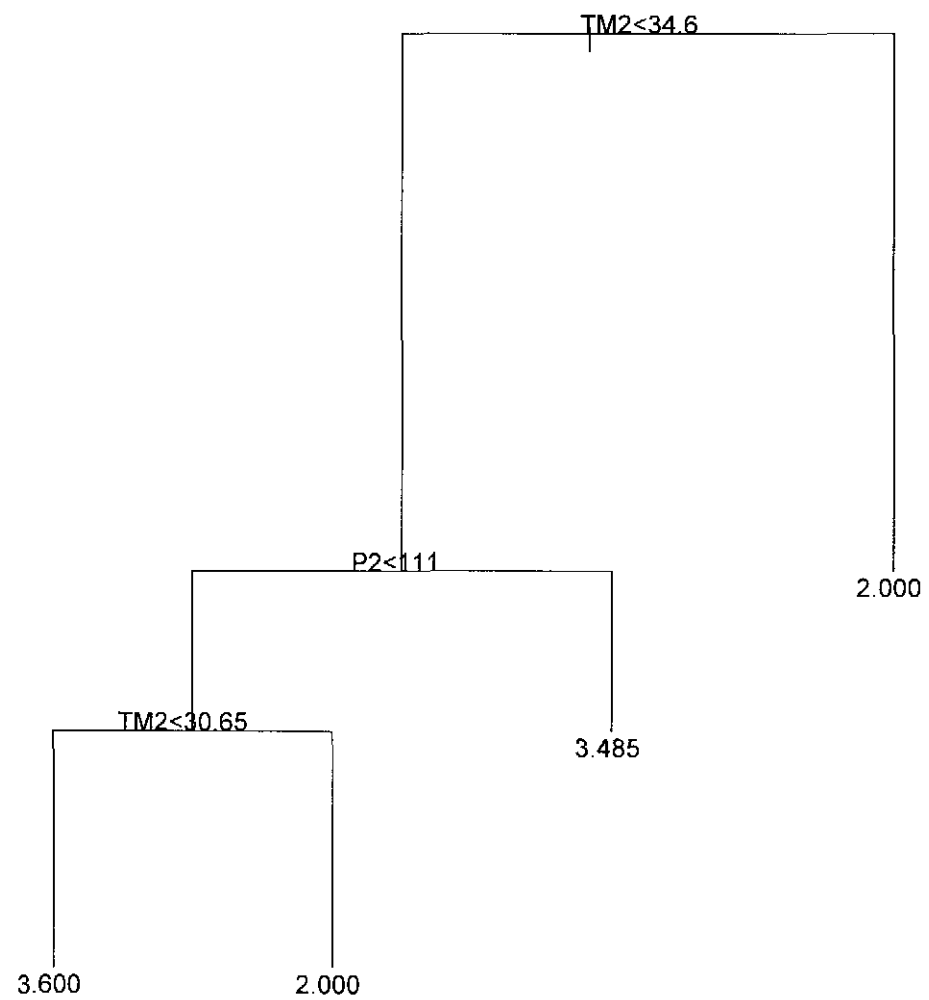
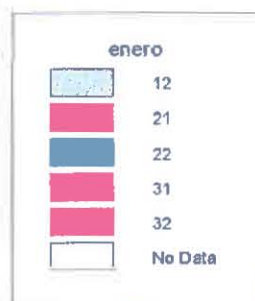


Fig. 2

RIESGO PARA EL MES DE ENERO

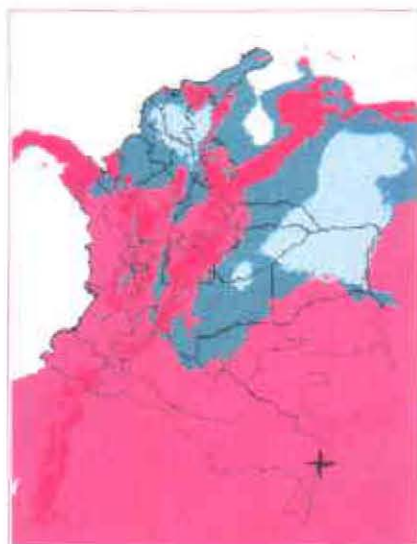


Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Enero.

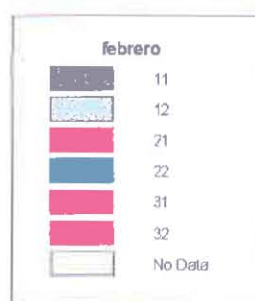


100 0 100 200 Kilometers

RIESGO PARA EL MES DE FEBRERO



Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Febrero.



100 0 100 200 Kilometers

RIESGO PARA EL MES DE MARZO



Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Marzo.



100 0 100 200 Kilometers

RIESGO PARA EL MES DE ABRIL



Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Abril.

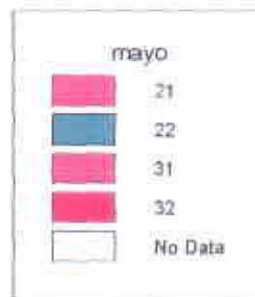


100 0 100 200 Kilometers

RIESGO PARA EL MES DE MAYO



Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Mayo.

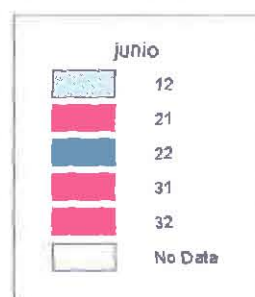


100 0 100 200 Kilometers

RIESGO PARA EL MES DE JUNIO



Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Junio.

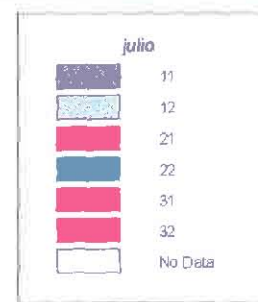


100 0 100 200 Kilometers

RIESGO PARA EL MES DE JULIO



Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Julio.

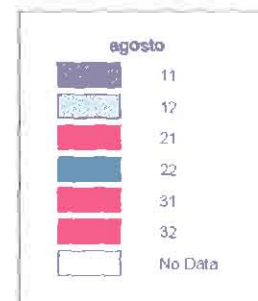


100 0 100 200 Kilometers

RIESGO PARA EL MES DE AGOSTO



Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Agosto.



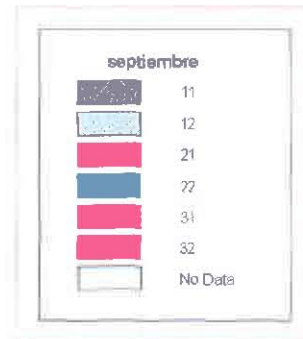
100 0 100 200 Kilometers

RIESGO PARA EL MES DE SEPTIEMBRE



100 0 100 200 Kilometers

Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Septiembre.

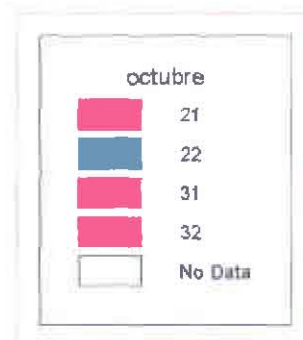


RIESGO PARA EL MES DE OCTUBRE



100 0 100 200 Kilometers

Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Octubre.



RIESGO PARA EL MES DE NOVIEMBRE



Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Noviembre.



100 0 100 200 Kilometers

RIESGO PARA EL MES DE DICIEMBRE

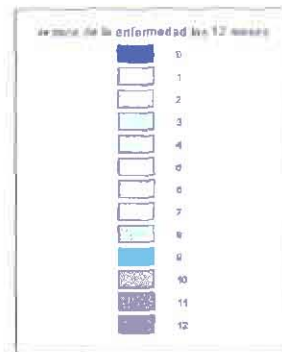


Este mapa corresponde al mapa de riesgo por precipitación y temperatura máxima para el mes de Diciembre.



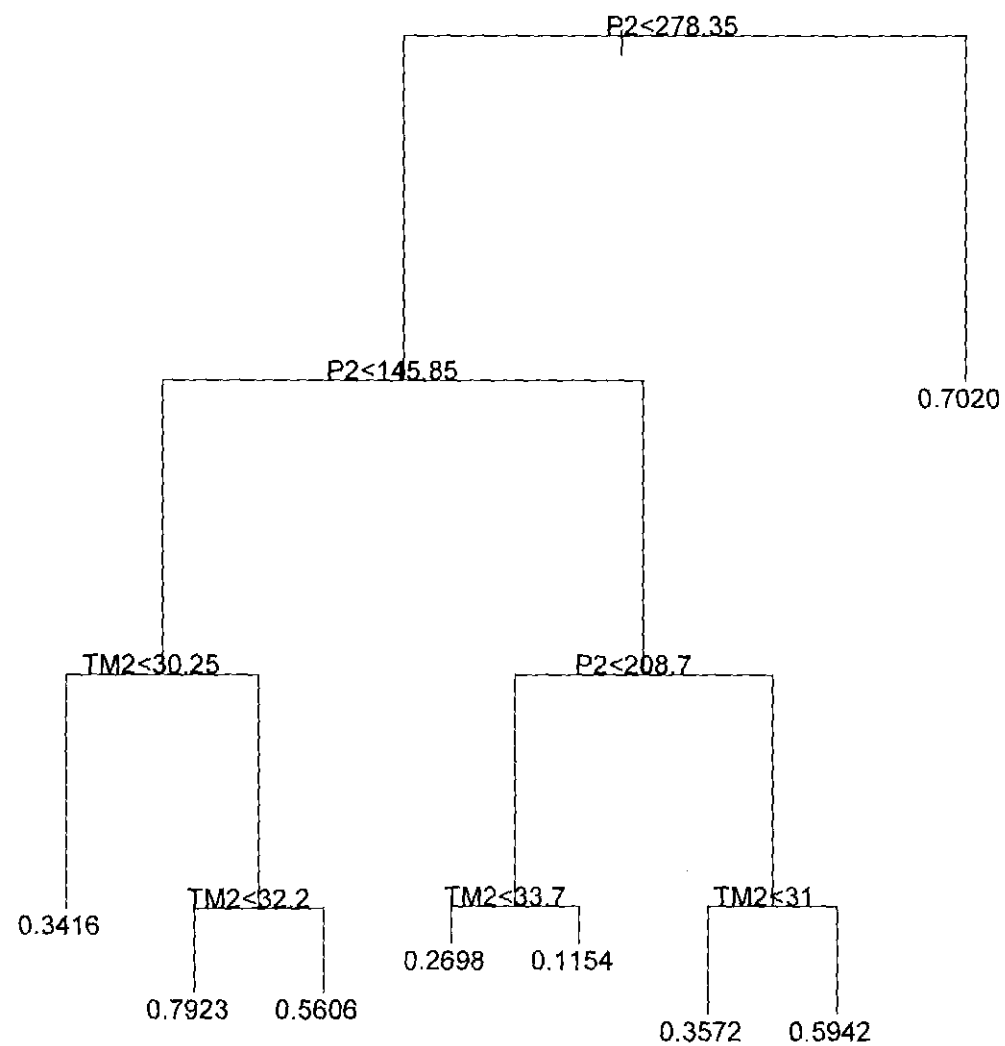
100 0 100 200 Kilometers

AVANCE DE LA ENFERMEDAD DURANTE 12 MESES



200 0 200 400 Kilometers

Fig.3





Anexos

GIS-Xam

Análisis exploratorio de los datos.

Del archivo **TOTAL** se hicieron varios archivos:

texp: Se eliminaron, los individuos, considerando un solo dato por campo (mes-año). Igualmente, se eliminaron las bandas (1/0), y se calculó la diversidad de cada campo. Se consideraron solamente dos meses de datos climáticos: el mes antes de la colección de la cepa y el mes de la colección, y se llamaron mes 1 y mes 2 respectivamente. P = Precipitación; Tm = temp. máxima; tm=temp. mínima.

texp2: se calcularon las siguientes variables: Psum ($P1 + P2$), Tmsum, tmsum, tnoche ($(TM + 2tm)/3$), tdia ($(2TM+tm)/3$) y tdiff (diferencia entre temperatura del día y la noche) ($(TM + tm)/3$).

texp3: se eliminaron todas las localidades con datos faltantes.

Se trabajó con el archivo **texp3**.

VARIABLE INCIDENCIA

1) SCATTERPLOT: Inc - variables climáticas

En la figura 1 se puede ver la relación entre la incidencia y las variables climáticas sumadas para dos meses (1 y 2). Las líneas que aparecen son el resultado de una regresión no paramétrica (smooth) del tipo spline. Relación positiva para la Psum y negativa para Tmsum, tmsum, tdiassum, tnochesum y tdiffsum. Sin embargo, al usar la regresión loess, se ve que la relación es más compleja (Fig.2).

Se utilizó una regresión no paramétrica adecuada para relaciones no lineales y errores de tipo no normal.

2) Análisis de regresión SMOOTH-LOESS

Sólo se indican las relaciones con los coeficientes más altos.

Inc ~P2	$r^2 = 0.37$
Inc ~TM2	$r^2 = 0.54$
Inc ~tdia2	$r^2 = 0.48$
Inc ~tm2	$r^2 = 0.21$
Inc ~tdiffsum	$r^2 = 0.34$

Para combinar las variables se tienen varias opciones: GAM (General additive models) o Local regression models. Los modelos aditivos pueden fallar si existen interacciones entre las variables. En ese caso se prefiere un modelo de regresión local.

3) Interacciones entre variables (Trellis-plots).

En las figs 3-6 se pueden apreciar las interacciones entre variables. En todos los casos se ensayó un smooth de tipo super-smooth..

4) Modelos de regresión local

Se ensayaron los modelos

Inc ~P2 +TM2 + tmsum $r^2 = 0.63$

Inc ~P2 + TM2 +tdia 2 $r^2 = 0.61$

con un rango (span de 0.75)

y los modelos

Inc ~P2 +TM2 + tmsum $r^2 = 0.82$ (error residual = 0.93)

Inc ~P2 +TM2 +tdia2 $r^2 = 0.74$

Inc ~P2 + TM2 + tdiffsum $r^2 = 0.61$

con un rango de 0.9

5) Revisión de modelos y arboles

Aunque los procedimientos que describimos están diseñados para relaciones lineales, fueron empleados para explorar los datos.

a) STEPWISE REGRESSION

Este procedimiento permite revisar si las variables tienen una influencia mayor en la respuesta que se quiere estudiar (en este caso la incidencia).

Se aceptaron las variables P2 en comparación a P1 y Psum y lo mismo para las demás variables con excepción de tdiffsum, que explica mejor la incidencia en comparación de tdiff1 y tdiff2.

Se revisó el siguiente modelo, Inc ~ P2 +TM2 +tsum, fue aceptado tal cual. Es decir el modelo completo es aceptado sobre el modelo con una variable menos.

b) Arbol

FIGS 7-10.

VARIABLE DIVERSIDAD

Se hizo el mismo análisis, tomando como modelo

Div ~Elevación + TM2 + Var $r^2 = 0.44$ (error = 1.202)

FIGS. 11-12

Informe de GIS 2

Con los datos climaticos actualizados, sin datos faltantes, se realizaron nuevos archivos: **datos por campo** conteniendo todos los datos climaticos desde 1995 hasta 1998, **Datos 1199** con los datos climaticos de dos meses antes de la toma de la muestra (el mes anterior y el mes de la colecta). Se adicionaron los datos rain1-rain12, Tmax1-Tmax12 y Tmin1- Tmin2 que son los promedios de todos los meses de 1995 a 1998. En el archivo datos 1199 rain 1 y rain2 representan estos promedios para el mes antes y el mes de la colecta de la cepa respectivamente. Lo mismo para Tmax y Tmin.

Incidencia

Se realizo un scatterplot (Fig.1) para todos los datos climaticos con relacion a la incidencia. Las correlaciones se establecieron usando la regresion local (loess). Las mayores correlaciones se obtuvieron para TM2, P2, tdia1 y tdiff2.

Se establecieron dos modelos, $Inc \sim P2 + TM2 + Tdiff2$ y $Inc \sim P2 + TM2 + tdia1$

Al estimar las correlaciones y hacer un stepwise regresssion, se decidio tomar el modelo $Inc \sim P2 + TM2$ que con un span de 0.9 da una regresion de 0.32.

Arbol Fig.2, superficie estimada Fig.3 y arbol con datos estimados, Fig.4

Diversidad

El Scatterplot de los datos climaticos en relacion a la diversidad aparece en la fig.5. En base a las correlaciones, se estimaron dos modelos:

$Div \sim var + P2 + Tdiff2$

$Div \sim var + P2 + TM2$, se acepto este modelo con $r^2 = 0.47$ y un span de 0.75.

Superficies estimadas (Figs 6 y 7), Arbol, Fig. 8.

Al considerar solamente ciertas localidades con un seguimiento a traves de los años, se establecio otro archivo: Pocas localidades.

El modelo para incidencia: $Inc \sim P2 + TM2 + Tdiff2$

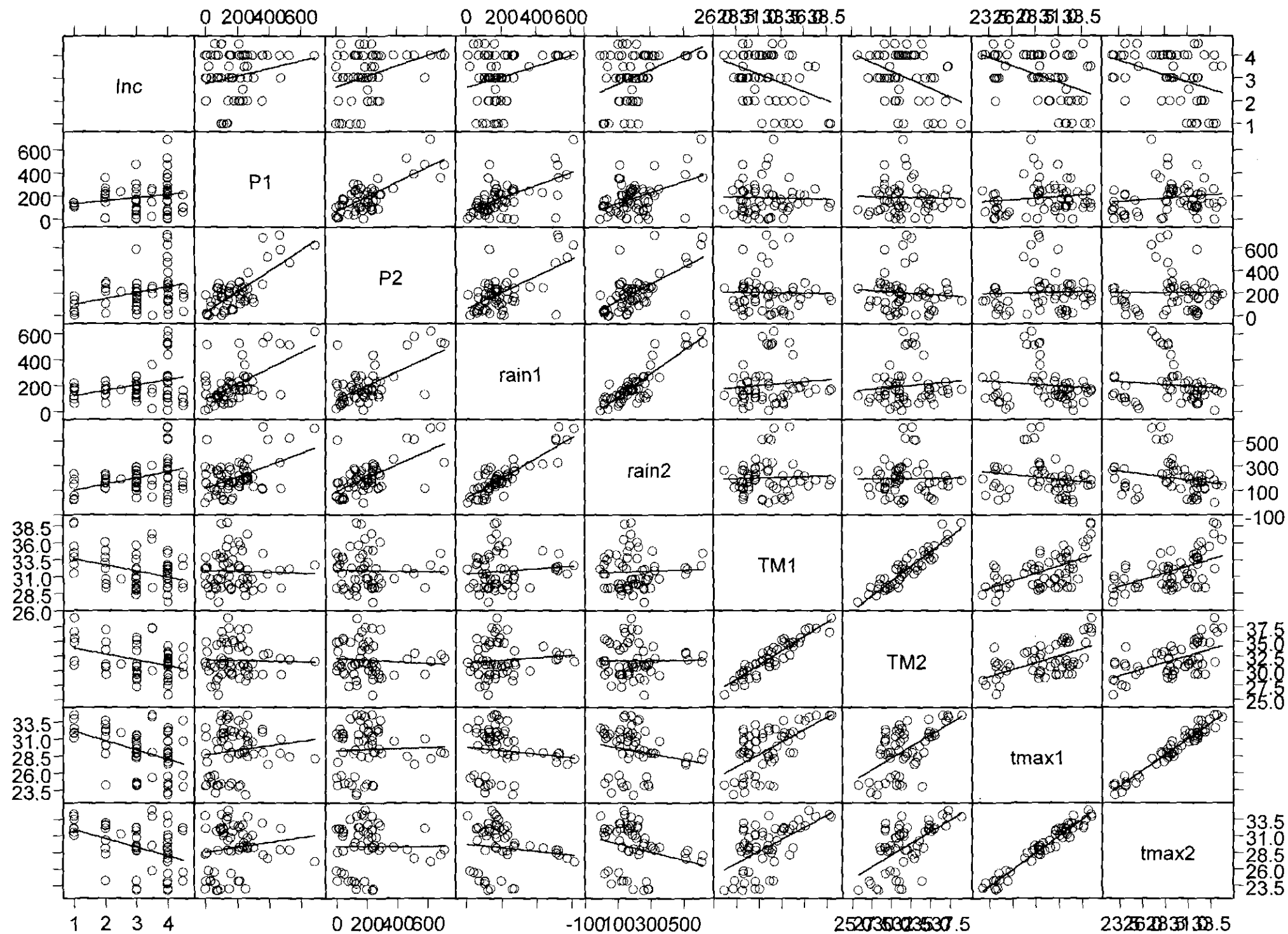
$r^2 = 0.57$ con span de 0.9

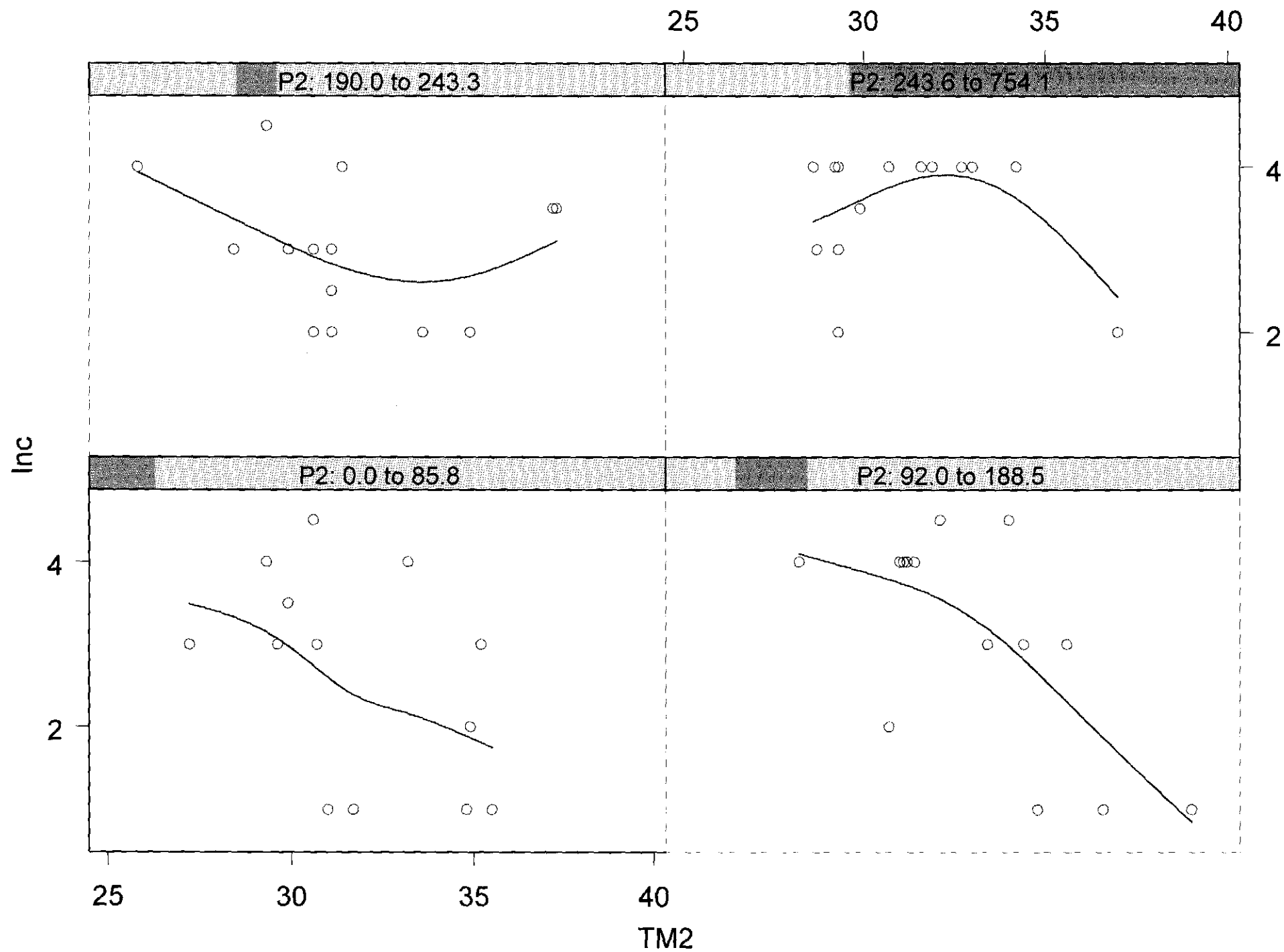
El modelo para diversidad: $Div \sim P2 + TM2 + var$

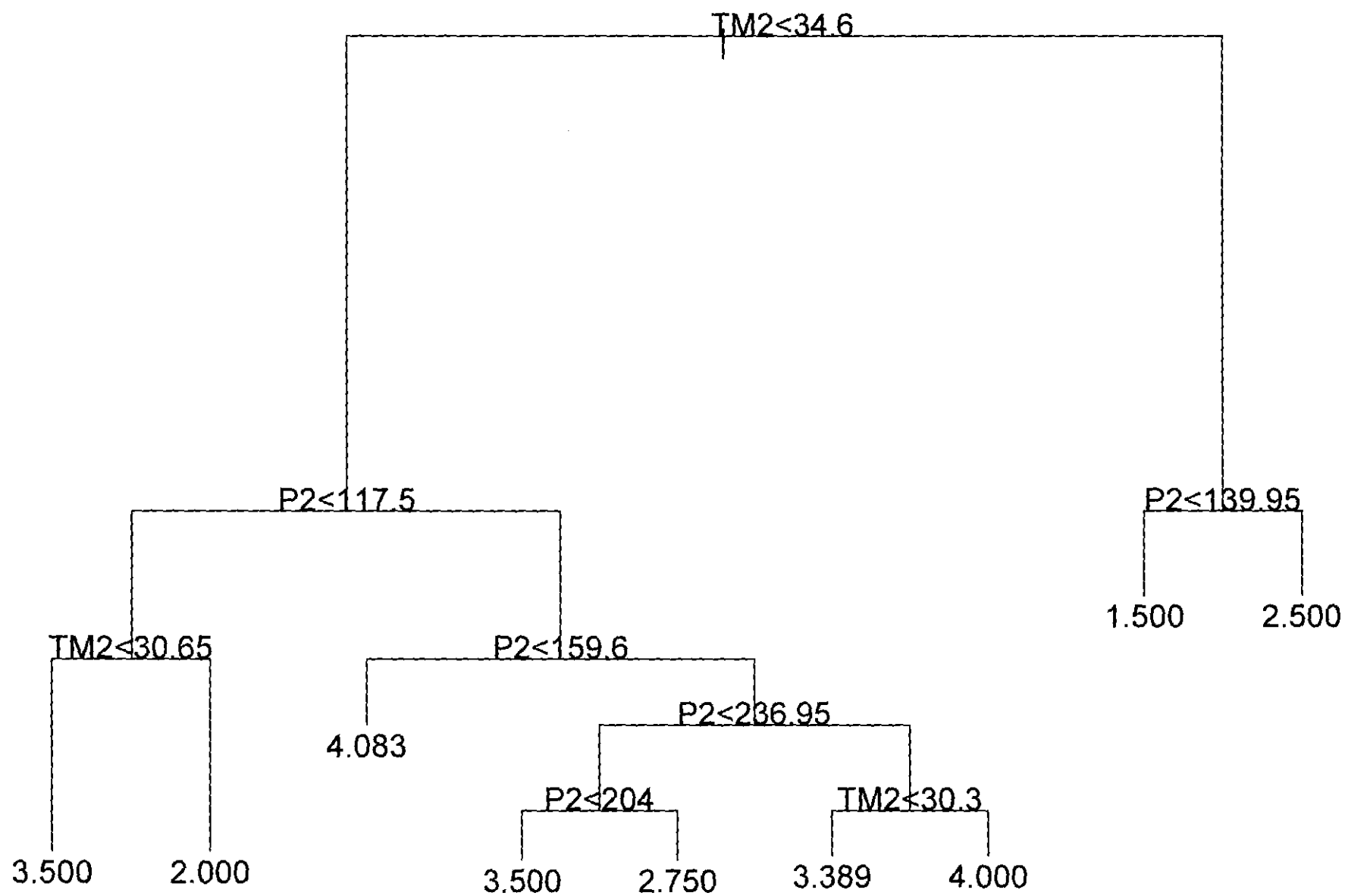
$r^2 = 0.52$ con un span de 0.9

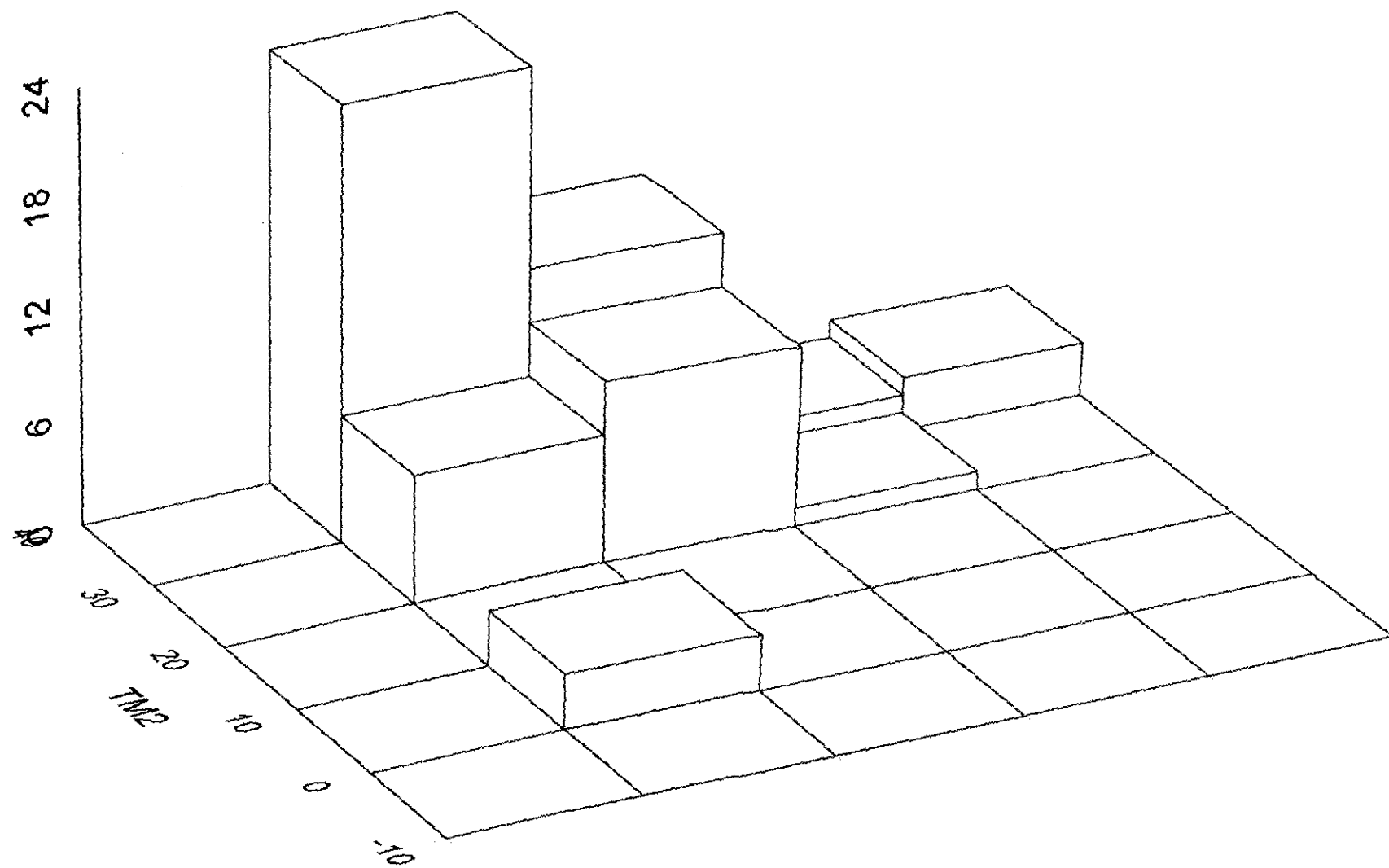
Las figuras para incidencia: Figs: 9 y 10

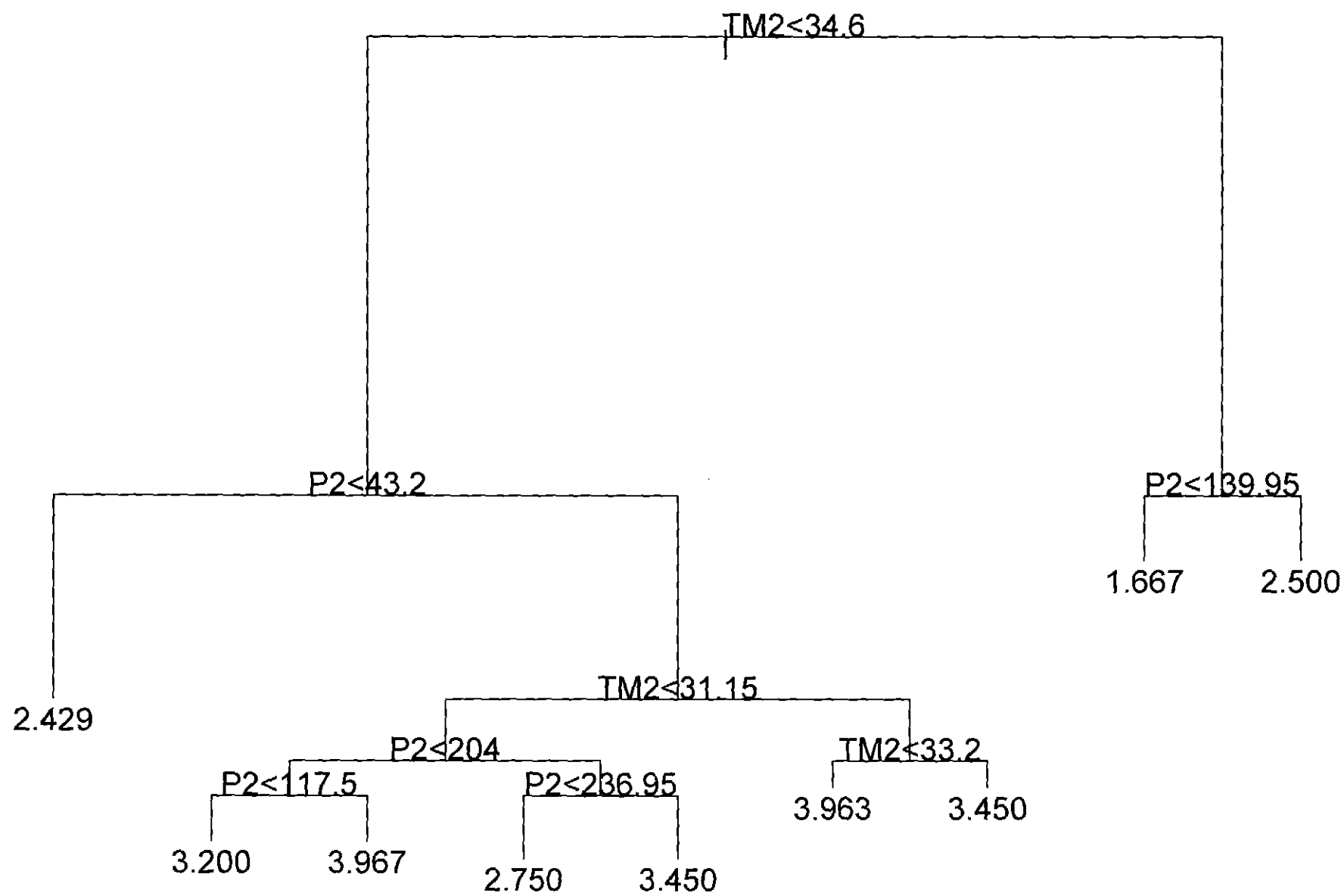
Las figuras para diversidad: Figs 11, 12, 13 y 14.

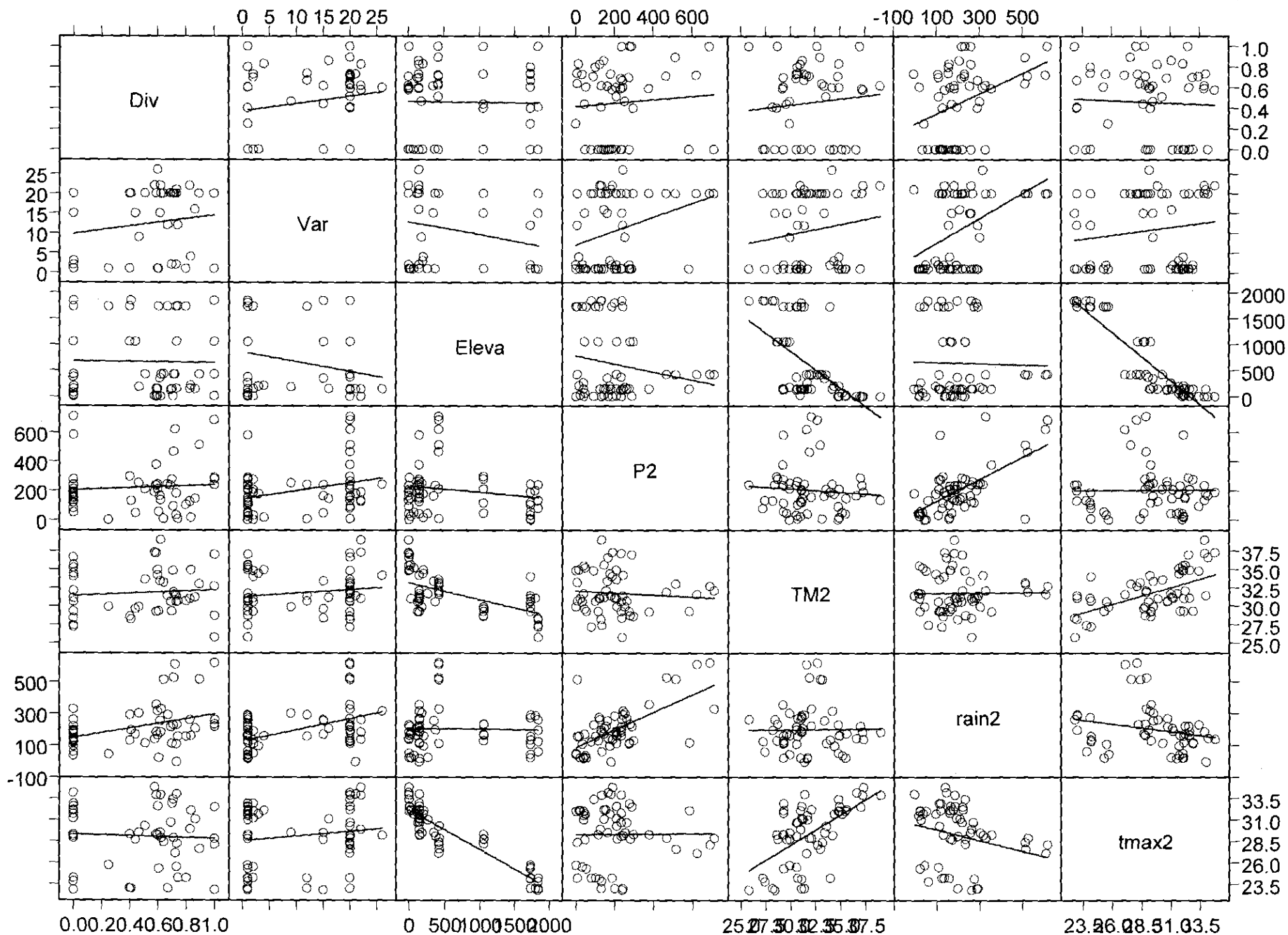


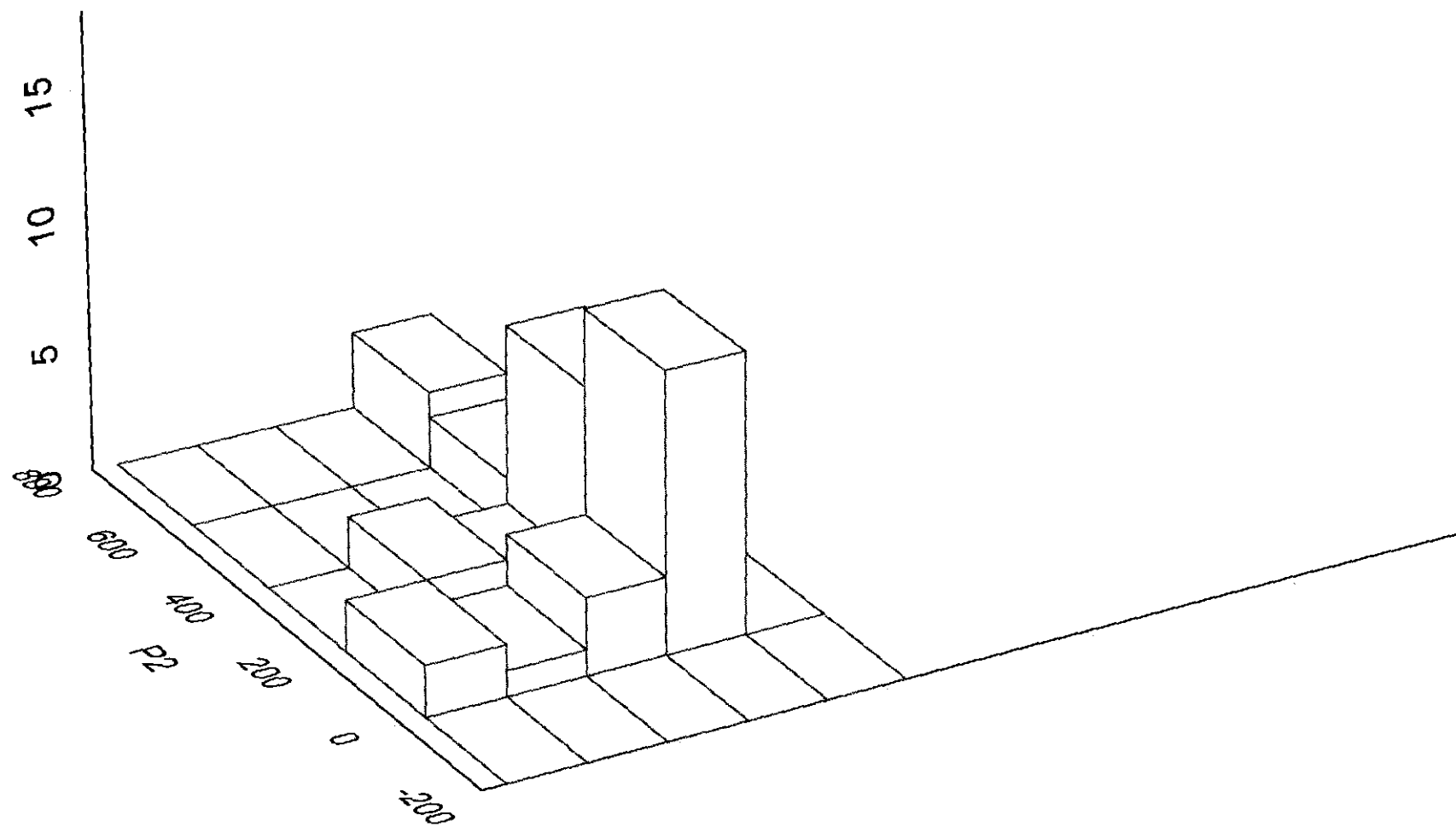


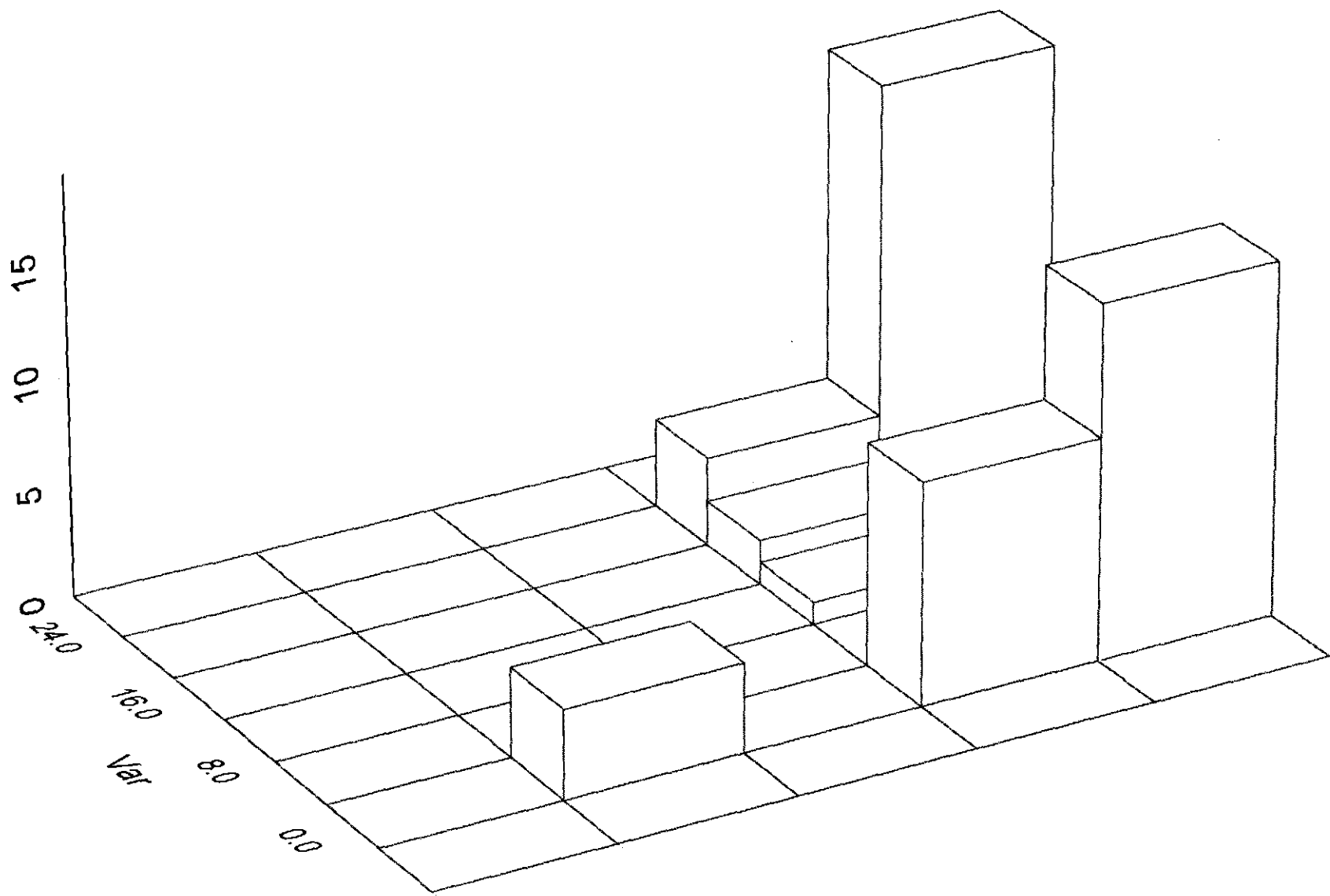


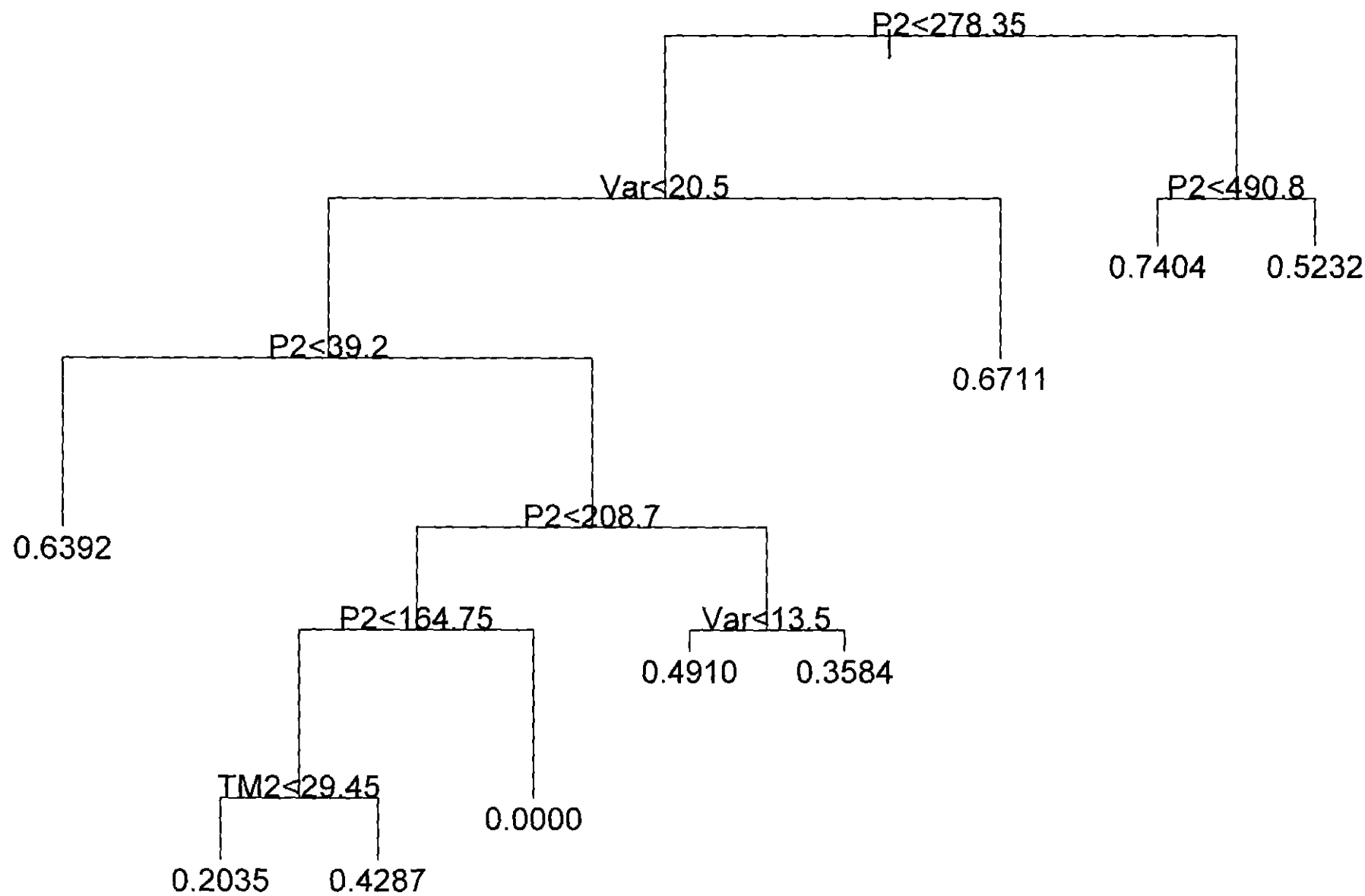


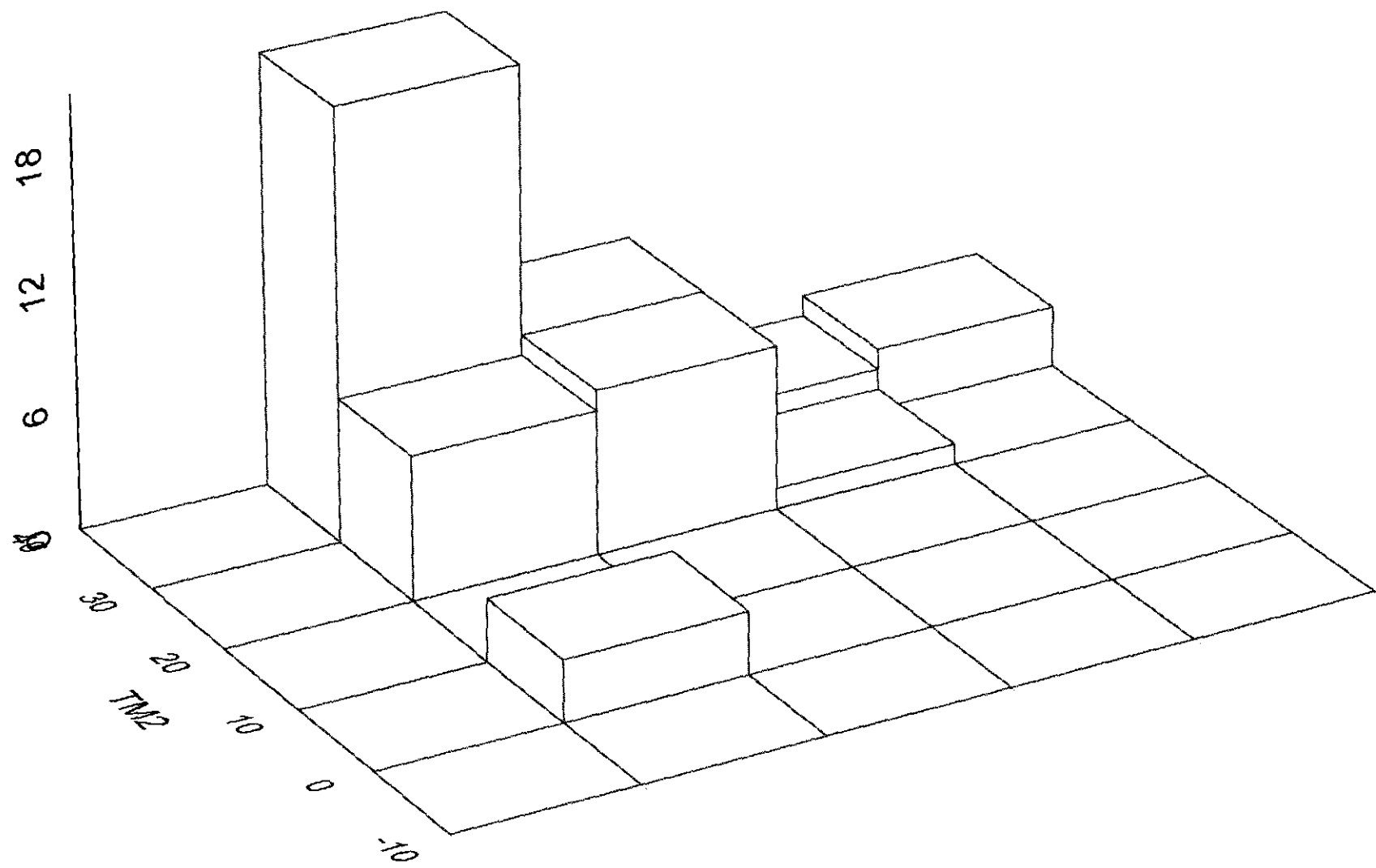


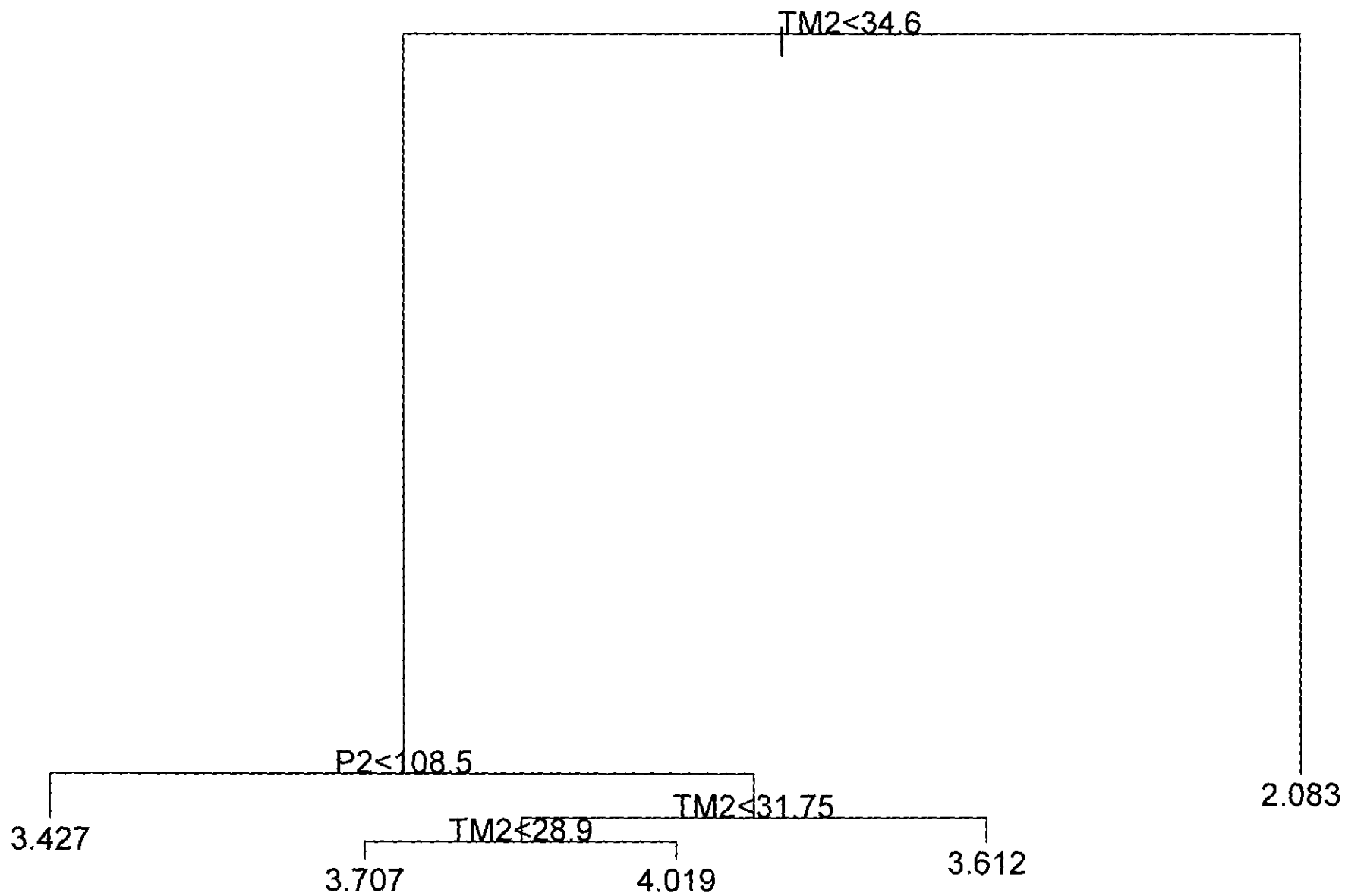


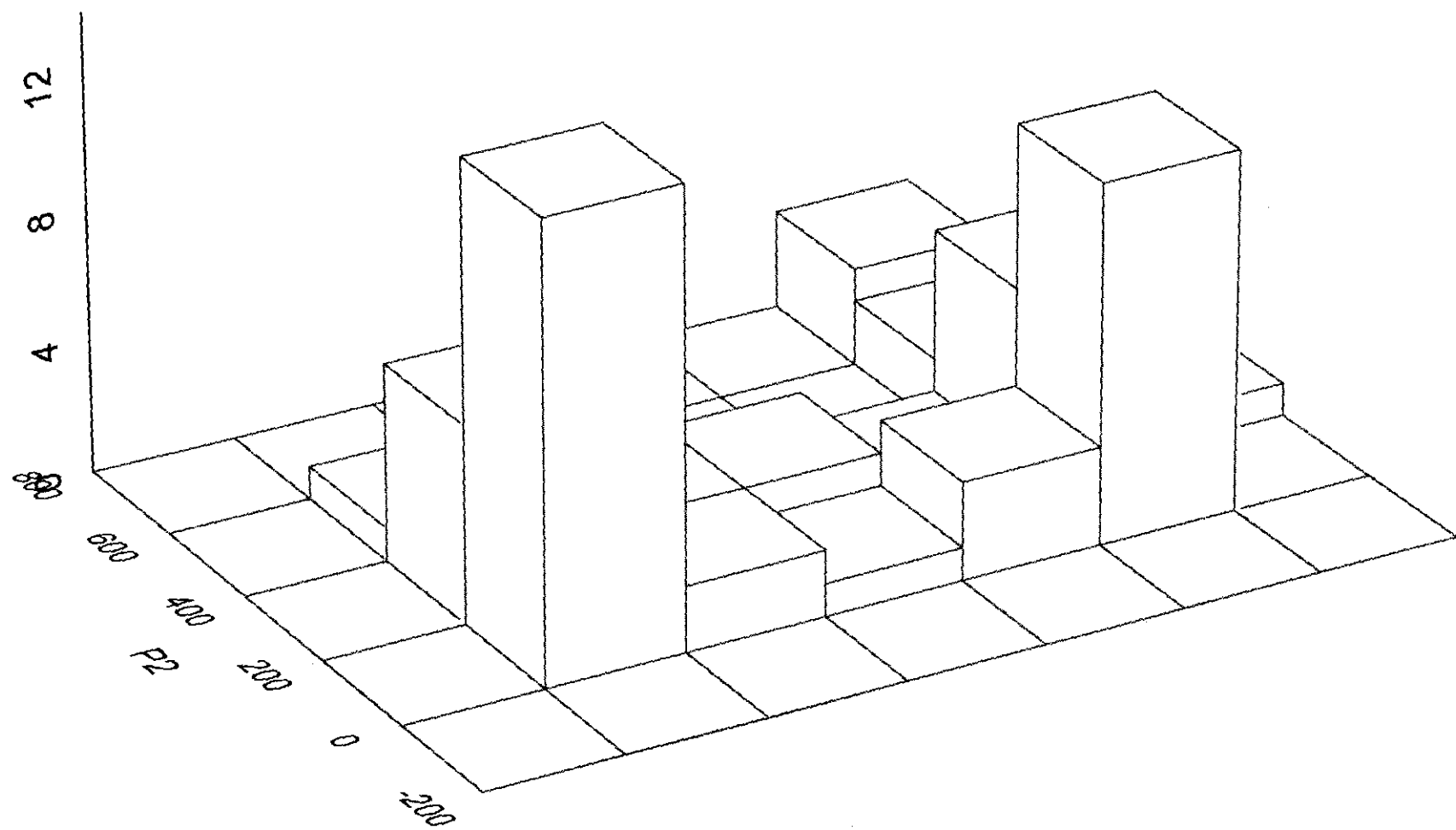


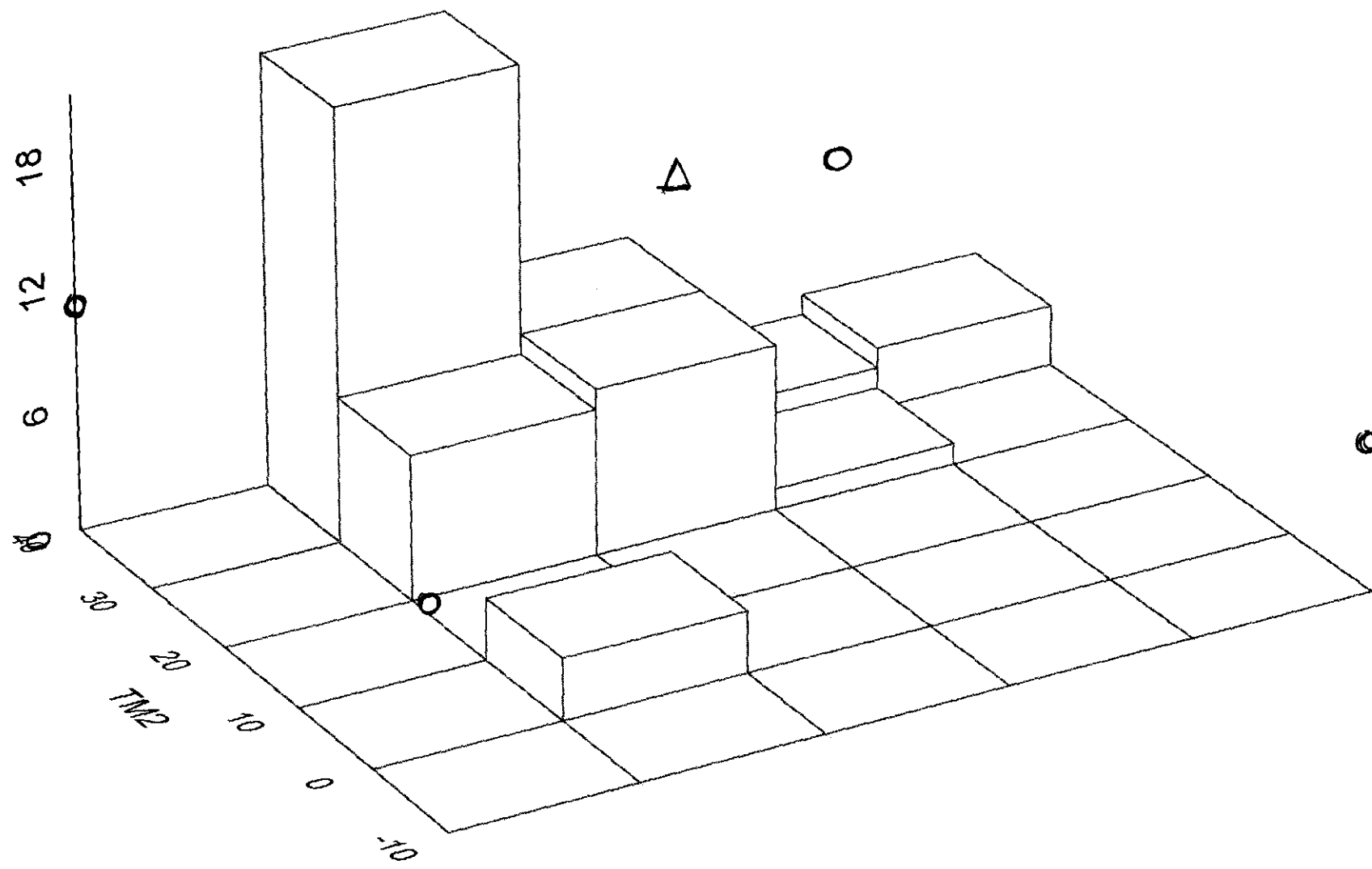


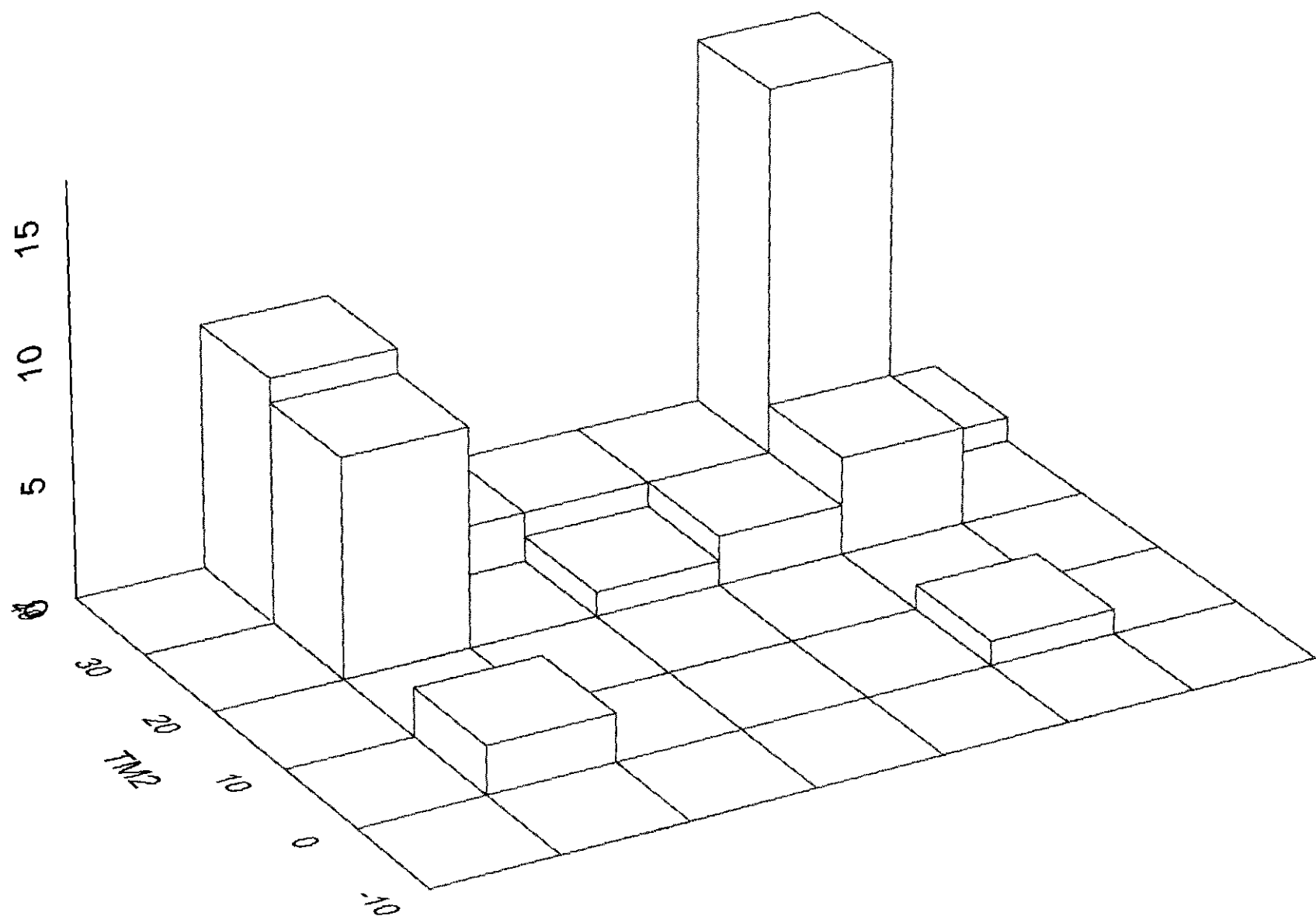


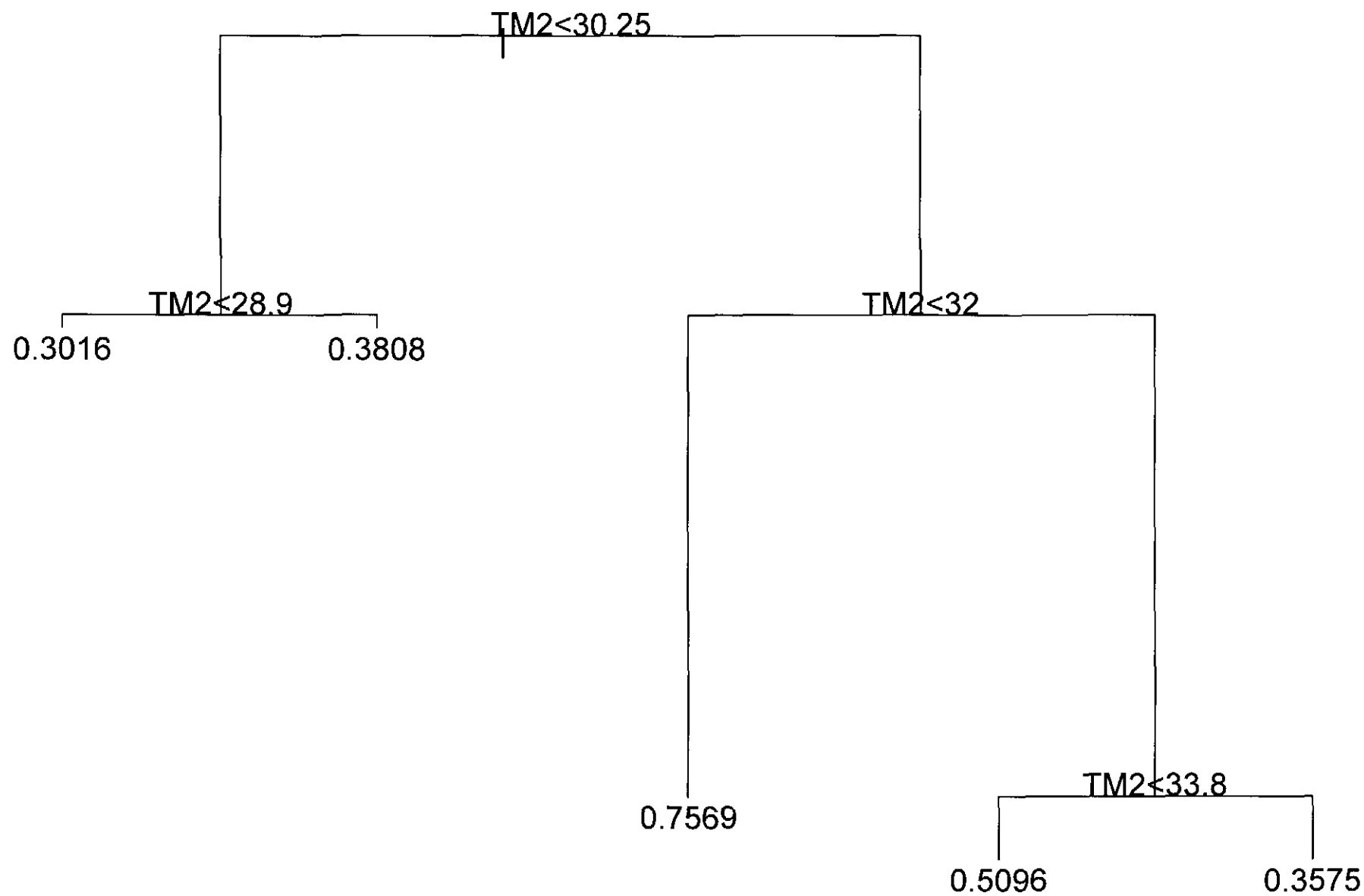












Informe final GIS-Xam

Archivos

Todos los archivos del proyecto GIS-Xam se encuentran en D:\proyectos\cbb. Hay cuatro carpetas: Total, Texp, Datos Nov 99 y Datos Dic 99. En la carpeta Total hay dos sub-carpetas con los datos originales y actualizados. Los datos originales son los datos de todas las cepas colectadas hasta 1998 incluido y con los datos mandados por el IDEAM. En estos datos hay muchos datos faltantes. En los datos actualizados los datos climaticos faltantes fueron completados con promedios.

En la carpeta Texp, se manejo un archivo, Texp3 en S-PLUS. Este archivo contiene datos originales, mandados por el IDEAM. Solamente se conservaron los datos climaticos de dos meses: el mes en el que se visito el campo y se recolectaron las muestras (mes 2) y el mes anterior (mes 1). Igualmente, las cepas fueron eliminadas y como unidad se tomo el campo-mes-año. En cada campo se calculo un indice de diversidad en base a las cepas colectadas durante ese mes en ese campo. Dos variables fueron consideradas para el analisis de datos: diversidad e incidencia. Los resultados estan en dos archivos: DIVERSIDAD e INCIDENCIA. Los resultados aparecen resumidos en el informe de GIS #1.

En la carpeta Datos Nov 99, se trabajo con los datos climaticos completados con promedios (no datos faltantes). Los resultados aparecen en el informe #2, las figuras y el informe en formato power-point estan en la misma carpeta. El archivo de trabajo fue Datos 1199. El archivo Pocas localidades es el mismo archivo Datos 1199 pero con menos localidades.

En la carpeta Datos Dic 99 se trabajo con el archivo Datos1299, es el mismo archivo Datos 1299 pero con unas columnas suplementarias. Estas columnas contienen variables relacionadas con el hospedero y que considero importantes para el sistema: el numero de variedades de acuerdo con datos de mejoramiento de yuca, la intensidad, es decir cuantos años consecutivos se ha cultivado la yuca en el mismo campo, el tipo de campo, campo de observacion, ensayo de rendimiento, etc. La ultima columna es la edad del cultivo, en meses desde el momento de la siembra.

Recomendamos trabajar con este archivo: Datos 1299 en la carpeta Datos Dic 99.

Formulas

Las diferentes formulas empleadas para completar los archivos fueron:

DIVERSIDAD:

La diversidad se calculo de acuerdo con el indice de Simpson, practicamente independiente del tamaño de la muestra.

$$H = \sum_{i=1}^S (n_i (n_i - 1) / n(n - 1))$$

Donde n_i es el numero de cepas del haplotipo i , n es el tamaño de la muestra y S es el numero de diferentes haplotipos en la muestra

T Noche

$$T_{\text{noche}} = (2T_{\text{min}} + T_{\text{max}}) / 3$$

T Dia

$$T_{\text{dia}} = (2T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 3$$

Diferencia de Temperatura dia-noche

$$T_{\text{diff}} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 3$$

Archivo de trabajo

Se dejo como archivo de trabajo el archivo **Datos 1299** en formato S-PLUS. En este archivo, se tiene como unidad de trabajo el campo-mes-año. Por ejemplo Cajibío-5-95.

Así, para cada campo se tienen los datos climáticos de un mes (mes en el cual se visitó y se recolectaron las muestras) y del mes anterior. Estos meses se llaman 2 y 1 respectivamente. Para cada campo se tienen datos de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura del día, temperatura de la noche y la diferencia de temperaturas día-noche.

Resultados

Los resultados presentados a continuación corresponden al archivo Datos 1299. El modelo que se aceptó para Incidencia fue $\text{Inc} \sim P2 + TM2$ que para el caso de una regresión de tipo Loess (local regression), dio un r^2 de 0.33 (con un span de 0.75). La columna Inc.fit corresponde a este modelo.

Para diversidad se trabajó con el modelo

$\text{Div} \sim \text{Var} + TM2 + P2$ con un $r^2 = 0.47$ (span de 0.75)

Para la variable INCIDENCIA, se realizaron árboles simplificados para los modelos y se determinaron tres rangos: alta incidencia, incidencia media y baja incidencia. Esto para las dos variables temperatura máxima y precipitación. Los tres rangos quedaron de esta forma:

Baja incidencia: Temperatura max > 34.6 y precipitación < 51.5

Incidencia media: $29.25 < T_{\text{max}} < 34.6$ y $51.5 < P < 236.95$

Alta incidencia $T_{\text{max}} < 29.25$ y precipitación > 236.95

Con estos valores se comenzó a trabajar en la elaboración de mapas

Perspectivas y comentarios

Entre las perspectivas esta,

- como primera medida, completar el archivo Datos 1299, es decir las cuatro ultimas columnas de la derecha: variedades por campo, edad del campo, intensidad y tipo de campo. Con estas nuevas variables se debe estudiar la correlacion entre ellas y las variables incidencia y diversidad y si es el caso mejorar los modelos que se tienen.
- Completar los datos de 1999, para esto es necesario pedir los datos climaticos al IDEAM en Bogota o con la base de datos del CIAT
- Se podria estudiar el caso de un campo haciendole seguimiento a la incidencia y diversidad. Se podria escoger un campo como Villavicencio, Cajibío u otro para el cual se tengan datos climaticos diarios y asi determinar hasta que día de anterioridad las condiciones del medio son importantes para determinar el desarrollo de la enfermedad.
- Los mapas: una vez que se tengan mapas de incidencia y diversidad se podrian superponer con los mapas (ya existentes) de zonas aptas y optimas de cultivo de yuca, ya que la enfermedad puede tener condiciones optimas de presencia pero la yuca ausente
- Tener en cuenta que son tres los factores que determinan la evolucion de una enfermedad: el hospedero, el patogeno y el medio. Del hospedero, la yuca, se desconoce el nivel de resistencia de las variedades de cada campo pero con las variedades ya evaluadas se podria tener un estimativo.
- Tratar de realizar un estudio por ECZ por varias razones: el patogeno puede presentar adaptacion a ciertas condiciones y una temp max de 35°C puede afectar a una cepa en el Cauca pero no en la costa norte. En general, la relacion patogeno-hospedero depende del medio y sera diferente en cada una de las ECZs. Una aproximacion al estudio por ECZs se comenzo a realizar y los archivos aparecen en la carpeta Datos Dic 99. Las graficas dan una idea que las correlaciones varian de acuerdo a la ECZ.
- Tener en cuenta los campos con dos o tres cepas pues pueden dar estimativos sesgados de diversidad por la poca cantidad de muestras.
- Tener en cuenta que todas cuando la localidad es la misma, no necesariamente se trata del mismo campo: Pivijay puede en realidad corresponder a dos o tres campos diferentes y estos campos deben ser diferenciados, una buena manera es con las nuevas columnas: tipo de campo, intensidad de siembra de yuca, etc
- Tener en cuenta el origen de las estacas que se utilizan en cada campo, esta informacion la posee mejoramiento de yuca.