

5. Diseño de isolíneas y uso del premapa

Pensar el espacio en función de sus verdaderas posibilidades y aprovecharlo considerando eventuales cambios, requiere medir, observar, analizar, evaluar y relacionar todas aquellas variables que inciden directa e indirectamente en éste, proporcionándole ventajas al hombre o mostrándole los posibles riesgos o limitantes.

El hombre requiere saber hasta dónde puede incidir en el espacio: qué tipo de cultivos y técnicas agrícolas puede emplear, qué elementos favorecen la ubicación de un nuevo emplazamiento, cuáles son los factores de localización en determinado momento, qué impactos puede generar en el paisaje, cuáles son las factibilidades de sus proyectos en función de la oferta ambiental, económica e infraestructural, cómo se difunden, organizan y estructuran algunos fenómenos sobre el espacio y finalmente, cómo estos evolucionan.

Para tales requerimientos, implica establecer áreas bien definidas, cuya delimitación parte de cambios importantes en la estructura y funcionalidad de los fenómenos a analizar, para precisar la verdadera organización y las posibles utilidades del espacio. Dicha delimitación puede descubrirse a partir del trazado de *isolíneas* que se constituyen en herramientas visuales y analíticas capaces de mostrar la variación, organización, evolución y difusión de un fenómeno.

El uso y trazado de isolíneas corrobora la importancia del análisis espacial en la medida en que sugiere la búsqueda de relaciones antes y después de su construcción, lo que exige varios niveles de interpretación que van desde la selección de los datos, su procesamiento y finalmente la búsqueda de relaciones con el espacio, integrando en cada uno de estos pasos las variables necesarias para tratar un problema. Es aquí donde se emplea el *premapa* como un documento en potencia del mapa, que permite establecer relaciones no cartográficas por medio de tratamientos estadísticos y gráficos que actúan como calibradores para hacer más comprensibles las relaciones espaciales que se harán evidentes posteriormente en los mapas de isolíneas y en su consecuente mapa de isopleas. Dichos calibradores contienen cierta flexibilidad en tanto permiten hacer los ajustes precisos en función de las variables no tenidas en cuenta directamente en el momento de pasar la información al mapa y que pueden modificar en parte, la representación de determinado fenómeno. Este tema es precisamente uno de los objetivos de este capítulo, por eso será ampliado en su momento.

5.1 Conceptos fundamentales

A continuación se hará una descripción y conceptualización de los elementos inherentes al trazado de isolíneas:



Isolínea: Para la Real Academia de la lengua Española (1995), el prefijo *iso* “significa igualdad o denota uniformidad o semejanza”. Es este sentido, las isolíneas son líneas que unen puntos de igual valor. Dichos puntos provienen de mediciones y de *interpolaciones* de las mismas. En el primer caso, y tratándose de variables climáticas, cada punto puede representar una estación meteorológica con una ubicación espacial precisa, en la que se pueden obtener los valores medios de temperatura, precipitación, humedad, radiación solar, nubosidad, etc. Sin embargo, cada uno de estos datos no sería suficiente para trazar las isolíneas, se habla entonces de *interpolación*, como un proceso para determinar “valores no conocidos a partir de valores conocidos”, según Barrera (1999).

Pero no todos los datos utilizados para trazar isolíneas provienen de puntos fijos, lo que requiere un tratamiento especial para ubicar esos puntos desconocidos y proceder a interpolar. Es el caso de las *isodemas* cuyos datos se originan en implantaciones zonales (población rural municipal) para las cuales es necesario ubicar un punto central que de cuenta de un comportamiento que espacialmente no es real, pero que le otorga cierta aproximación al investigador, de acuerdo con sus objetivos.

Límites o umbrales: Las isolíneas representan por sí mismas, *límites o umbrales*, que según Flórez (1997) se constituyen en momentos de quiebre de un mismo fenómeno que modifica su funcionamiento y estructura, bajo una dinámica establecida por unas condiciones máximas y mínimas. Para Brunet (1967), citado por Flórez (1997) “los umbrales muestran ya sea un cambio de ritmo en el funcionamiento, extinción y divergencia (aparición o separación de un nuevo sistema), manifestación de una nueva característica, una inversión o una saturación”. De esta manera, las isolíneas se presentan como una buena alternativa para establecer estos umbrales. No obstante, el trazado de algunas de ellas, reflejan un momento en particular que obviamente no es tan permanente. Es el caso de isolíneas de contaminación, trazadas a partir de la cantidad de partículas en suspensión emitidas desde diversos focos (industria). A su vez, dicho momento es el resultado de unas condiciones ambientales (dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad, hora del día...) y humanas precisas (días laborables, etapa de producción, calidad de equipos...).

Zonas entre isolíneas: Si la isolínea representa un límite, importa analizar la zona o área que está delimitando. En este caso, tenemos entonces un mapa de áreas denominado *mapa de isoplefas* que es definido como un mapa cuantitativo de superficie, según Monkhouse y Wilkinson (1966). Por ello, y de acuerdo a Strahler (1981) las isolíneas sirven para esquematizar la distribución de un fenómeno, además de ver detalladamente sus características, lo que no se lograría únicamente con datos puntuales. Las isolíneas permiten delimitar zonas obedeciendo a una característica en particular que a su vez viene definida por la interacción de otras variables. Por ejemplo, para identificar los posibles usos del suelo, las isoclinas pueden servir para reconocer áreas de pendiente. Esta característica viene definida por elementos tales como la altura y la distancia.

Rangos: Según Flórez y Thomas (1992), “cuando se hace referencia a la característica temática del área entre dos isolíneas, el área estará definida por un rango”. La definición de tales rangos es mucho más útil cuando se hace en función de la dinámica de ciertos procesos. Para establecer el área de ubicación de un nuevo asentamiento sería adecuado identificar qué tipo de riesgos existen en relación con fenómenos concretos, tales como los movimientos en masa, y entre ellos, los movimientos hidrogravitatorios (reptación, flujos,



soliflujión, geliflujión, avalanchas...) que se pueden establecer a partir de la pendiente por medio de rangos en cuya variación se observa la incidencia del fenómeno. Tales rangos están determinados por un parámetro acelerador de los mismos, que en éste caso es la pendiente; en consecuencia estos rangos no presentarán una equidistancia.

Premapa: hay análisis que exigen otro tipo de tratamiento de la información para posteriormente construir los mapas de isolíneas. Se sugiere, como proceso previo en estas situaciones, conocer la variación de un elemento con relación a otro que se pretende cartografiar, lo que implica establecer una correlación entre las variables (ver diagramas de dispersión, figuras 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20). A todo este procedimiento se le ha dado el nombre de premapa.

Caycedo y Flórez (1991), afirman que definir el premapa implica pensar en el proceso de investigación geográfica y específicamente en el requerimiento de ciertos documentos e informaciones con miras a ser tratados teniendo en cuenta el problema que se busca resolver. En este sentido el premapa adquiere dos connotaciones: en una de ellas, se presenta como el documento mismo: “fotografías aéreas o terrestres, imágenes de satélite, resultados de encuestas y censos, mapas de referencia, datos hidrometeorológicos y diagramas que resultan de una primera etapa del tratamiento de la información”. (Caycedo y Flórez, 1991).

En una segunda connotación, el premapa se relaciona con el proceso de tratamiento de los anteriores documentos, lo que implica hacer una reclasificación de los mismos y pensar en las variables que explican la verdadera dinámica del fenómeno a analizar. Definido lo anterior, el siguiente paso consiste en establecer las relaciones y correlaciones de las variables a partir de diagramas “*calibradores* para caracterizar adecuadamente la distribución espacial de las variables objeto de estudio” (Caycedo y Flórez, 1991). Este último proceso lleva a la construcción de un nuevo premapa, como ocurre con el diagrama de dispersión, que “resulta de relacionar espacialmente dos variables y es la base de la correlación simple entre pares de variables y el fundamento de la regresión entre las mismas” (Dent, 1985, citado por Caycedo y Flórez, 1991).

Los resultados obtenidos por este tipo de diagramas, nos permiten trazar de una manera adecuada y lógica, las isolíneas, como se ampliará más adelante.

5.2 Características de las isolíneas

Sin importar de qué isolínea se trate, éstas presentan las siguientes características (ver figura 5.1):

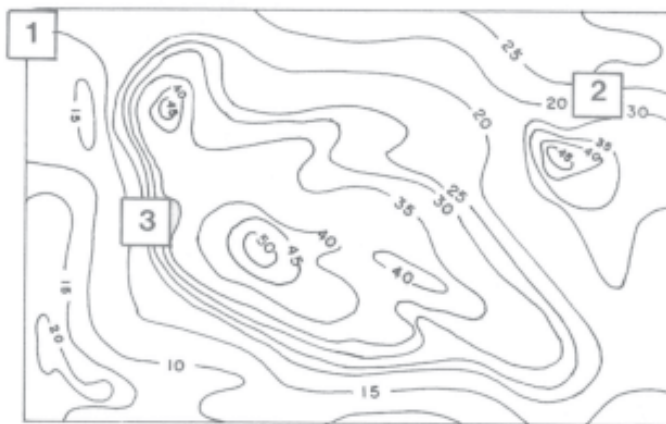


Fig. 5.1 Características de las isolíneas



1. Todas las isolíneas se cierran, a pesar de que los mapas no las muestren de manera completa, se asume que la distribución del fenómeno que representan es continua y no puede desaparecer de manera brusca.
2. No es posible que las isolíneas se crucen puesto que cada una representa un único valor.
3. El acercamiento o la separación entre las isolíneas, muestra las características de la variación del fenómeno en relación con la distancia. Cuando estas se acercan expresan un cambio notorio del fenómeno y cuando se separan el cambio es gradual, más suave o lento.

En relación con este último aspecto, *el gradiente* permite determinar cuál es el grado de variación del fenómeno, presentando una relación de cambio en función de aspectos tales como la distancia, el tiempo y la velocidad. Por ejemplo, en el gradiente bórico, como lo expresa Monkhouse (1978), “un gradiente *pronunciado* implica una gran diferencia de presión con isobaras muy próximas, mientras que un gradiente *débil* implica solo una pequeña diferencia con isobaras muy distantes”. Así mismo es conveniente pensar en otros aspectos asociados al fenómeno; siguiendo al mismo autor “un gradiente pronunciado suele estar asociado a fuertes vientos”.

5.3 Clasificación y aplicación de las isolíneas

Todas las isolíneas buscan mostrar la variación espacial de un fenómeno, ya sea de carácter humano o físico. Su aplicación depende de los objetivos perseguidos. Algunas isolíneas sirven para estudiar las características, dinámica y evolución de fenómenos físicos; otras son utilizadas para identificar las potencialidades del espacio y unas pocas dan cuenta de fenómenos que atañen a la acción humana.

En este sentido, no vale la pena hacer una clasificación estricta de las isolíneas, puesto que, en el caso de una isoclina, que identifica un fenómeno físico como lo es la pendiente, permite a su vez descubrir posibilidades de uso (agrícola, asentamientos, mecanización) que de hecho son de corte humano.

Para fines didácticos, se puede establecer una clasificación de las isolíneas a partir de la procedencia de sus datos, con lo que obtenemos dos grupos. En el cuadro 5.1 se presenta una clasificación de isolíneas, con base en varias fuentes: Strahler (1981), Monkhouse y Wilkinson (1978), Gil y Olcina (1997) e Hyparion (2000).

Un primer grupo reúne a todas aquellas isolíneas cuyos datos parten de la observación de fenómenos físicos: isohipsas, isoyetas, isotermas, isohelias, isobaras, isobatas, isogonas, isoclinas... En un segundo grupo, se pueden ubicar las isolíneas que dependen del comportamiento humano, pero cuya distribución espacial no es tan *permanente* como las del primer grupo. Es el caso de las isocronas, las isodemas, las líneas de isoprecios....

Es necesario recordar que para uno y otro caso, las isolíneas representan umbrales de cambio o de variación, siendo el área entre las mismas (isopleta) de información más relevante.

A continuación se hará una breve descripción de algunas isolíneas; nótese que unas de ellas definen directamente una isopleta. Más adelante serán tratadas sólo unas pocas para ejemplificar su construcción. En la figura 5.2, se muestran algunos ejemplos gráficos de éstas isolíneas



Cuadro 5.1 Clasificación de las isolinneas a partir de las subdisciplinas geográficas que las emplean

GEOGRAFÍA FÍSICA	Geomorfología Geología Topografía	Isohipsas – Isobasas Isobatas Isoclinas - Isotracónicas Isopacas Isogonas Isogeotermas
	Climatología Meteorología	Isoyetas – Isohietas Isotermas Isohelias Isobaras – Isolobaras Termoisoalinas Isobrontias Isoqueimas – Isoteras Isotalantósicas - Isotalantas Isalotermas Isocrimas Isocinéticas Isonefas Isanemonas Isanómalas Isoamplitud Isocasma Isomera
	Hidrogeografía	Isolíneas de escorrentía superficial Isolíneas de caudales Isohalinas
	Biogeografía	Isoiketas Isofitas
INTEGRACIÓN	Riesgos	Isolíneas de inundación Isosísmicas Isolíneas de contaminación
GEOGRAFÍA HUMANA	G. Población	Isodemas
	G. Urbana G. Rural	Isoprecios Isodapanas Isoforas
	G. Social	Isocronas Isolíneas de criminalidad



Isohipsas: líneas que unen valores de la misma altura, también llamadas curvas de nivel. Probablemente son las isolíneas más conocidas y utilizadas cuya información es la base para la construcción de otras isolíneas. (Ver figura 5.4)

Isobatas: líneas que unen puntos de igual profundidad en el mar. Se utilizan para identificar la diferencia altitudinal de la topografía marina. (Ver figura 5.4)

Isoclinas o Isotraccónicas: líneas que unen puntos con la misma pendiente.

Isobasa: isopleta que representa la altitud de un estrato geológico.

Isogonas: líneas que unen puntos con la misma declinación con relación al polo magnético. (Ver figura 5.2 e)

Isogeoterma: Isopleta que representa la temperatura de las profundidades de un determinado astro o planeta.

Isopaca: Isopleta que representa la potencia de una determinada formación geológica.

Isoyetas o Isohietas: líneas que unen puntos de igual pluviometría. (Ver figura 5.24)

Isotermas: líneas que unen puntos de igual temperatura. (Ver figura 5.23)

Isohelias: líneas que unen puntos con la misma incidencia de brillo solar.

Isobaras: líneas que unen puntos que presentan la misma presión atmosférica. Según Monkhouse y Wilkinson (1978) también se les denomina isalobara o isanomala. (Ver figuras 5.2 a y 5.2 b)

Termoisotalinas: líneas que unen puntos de igual temperatura con relación a la profundidad del lecho marino.

Isobrontias: líneas que unen lugares en los que se registran tormentas en un mismo momento.

Isoqueimas: isolíneas de temperatura en invierno.

Isotalantósicas o Isotalantas: líneas que unen puntos que registran igual amplitud térmica anual.

Isocrimas: líneas que representan los períodos de tiempo más fríos.

Isocinéticas: líneas que unen puntos con la misma velocidad de viento.

Isonefas: líneas que unen puntos con el mismo nivel de precipitación de nieve.

Isanemona: Isopleta que representa la velocidad mediana del viento.

Isanómala: Isopleta que representa las anomalías de un elemento o fenómeno especialmente meteorológico.

Isoamplitud: Isopleta que representa la amplitud y la oscilación térmica.

Isocasma: Isopleta que representa la frecuencia anual de visibilidad de auroras.

Isomera: Isopleta que representa el porcentaje de precipitaciones mensuales o estacionales con respecto al total anual.

Isolíneas de escorrentía superficial: Isolíneas que representan la misma cantidad de flujo de agua en superficie. (Ver figura 5.2 f)

Isolíneas de caudales: Isolíneas que muestran la variación en el caudal de un río.

Isohalina: Isopleta que representa la salinidad del agua tanto en el sentido vertical como en el horizontal.

Isoiketas: líneas que determinan el grado de habitabilidad de especies animales y vegetales.

Isofitas: líneas que muestran el crecimiento vegetativo.

Isolíneas de evaporación: líneas que representan la misma cantidad de vapor de agua en el aire. (Ver figuras 5.2 c y 5.2 d)



Fig. 5.2 Tipos de isolíneas

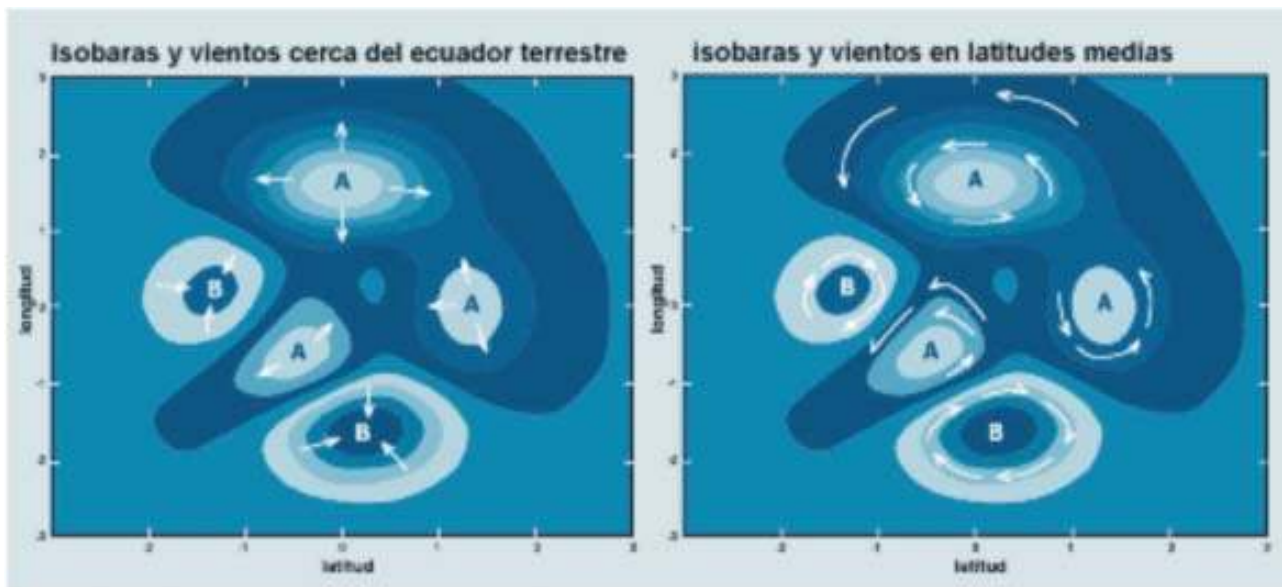


Fig. 5.2.a Isobaras. Esquema de circulación de vientos a un nivel dado en torno a centros de alta (A) y baja (B) presión. Izquierda: cerca del Ecuador terrestre; Derecha: en latitudes medias del hemisferio sur.

Fuente: www.atmosfera.cl/HTML/meteorología

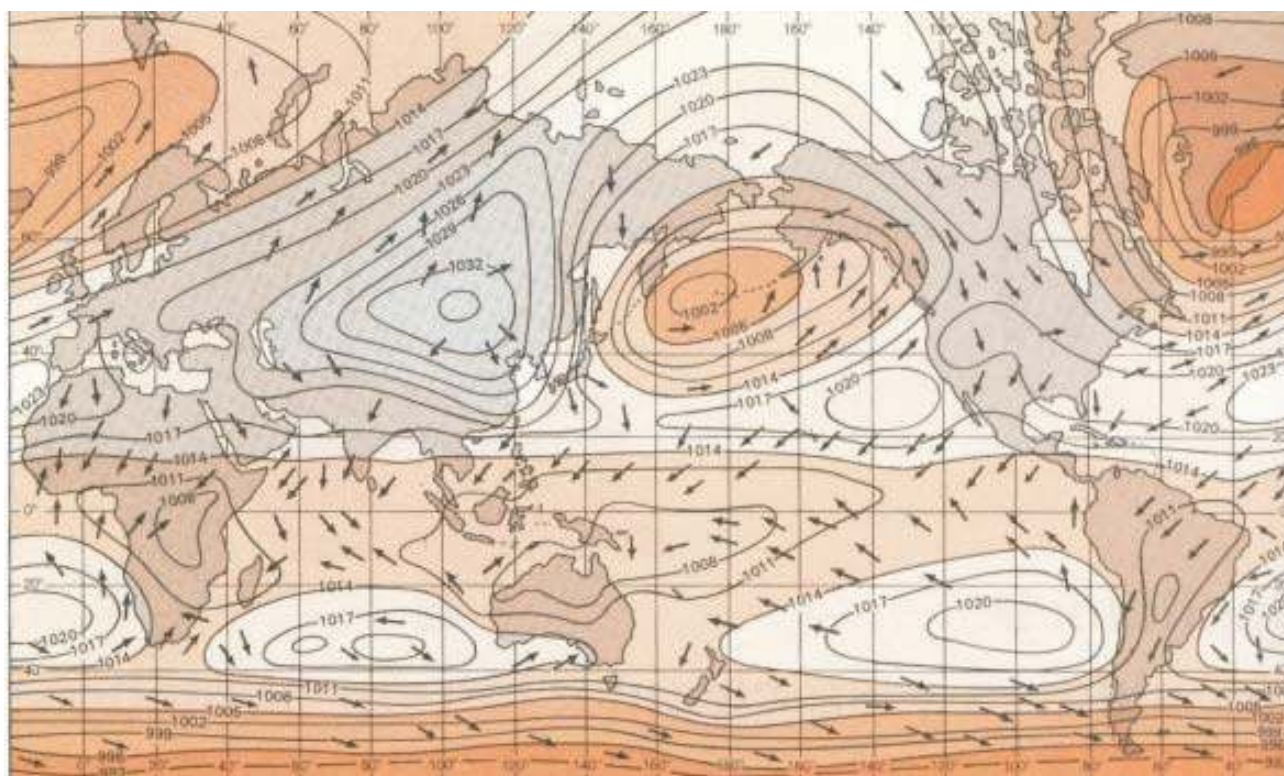


Fig. 5.2.b. Isobaras. Presión atmosférica global.

Fuente: Strahler (1981)

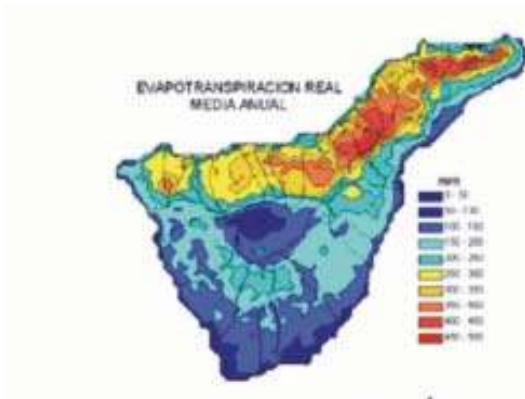


Fig. 5.2.c. Mapa de isóneas de evaporación real. Media del período: 1986/87 - 1992/93. Tenerife
Fuente: www.aguastenerife.com

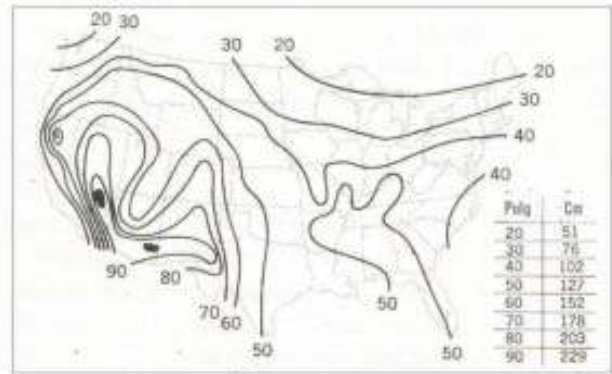


Fig. 5.2.d. Isóneas de evaporación. Desiertos suroccidentales de los Estados Unidos.
Fuente: Strahler (1981)

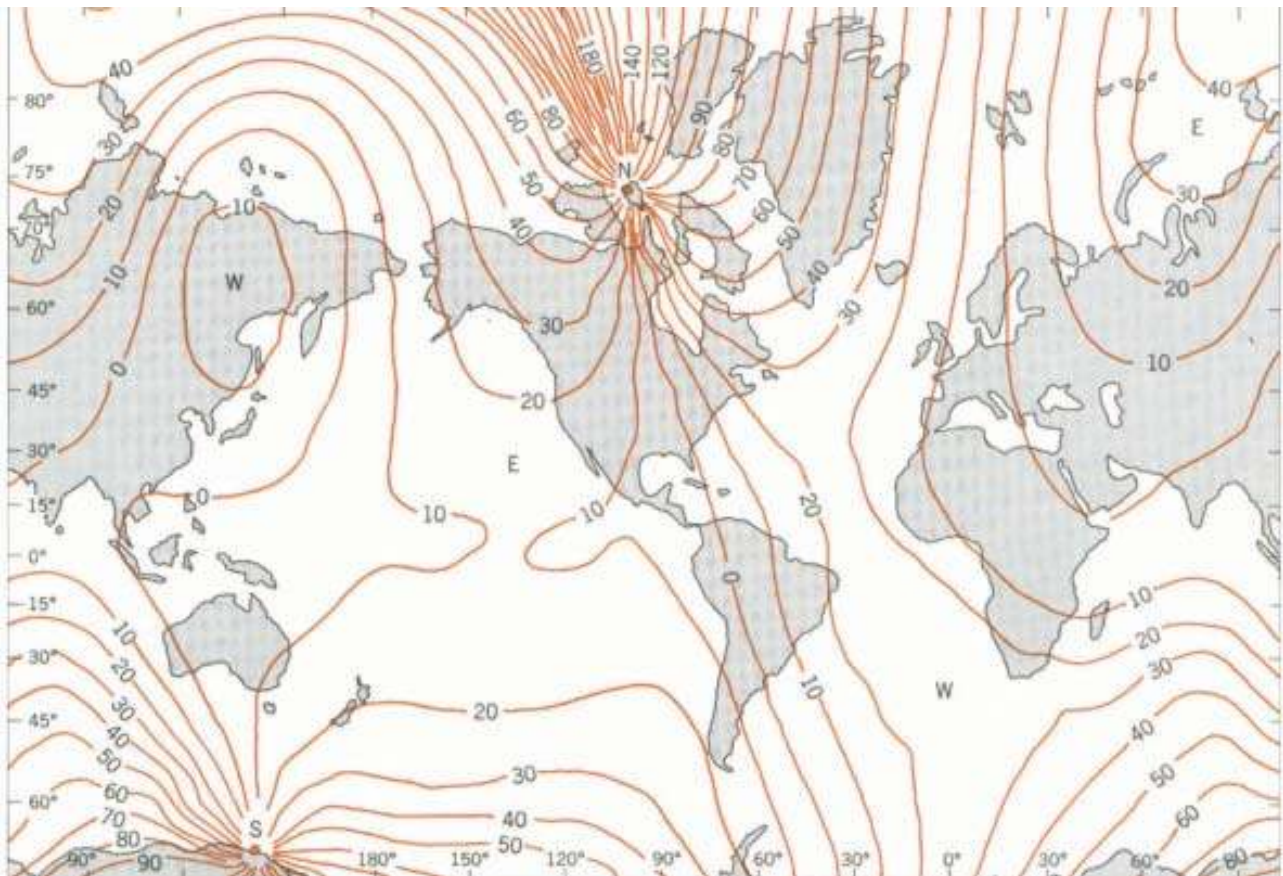


Fig. 5.2.e. Isogonas. En este mapa la declinación se indica a intervalos de diez grados a nivel mundial.
Fuente: Strahler (1981)

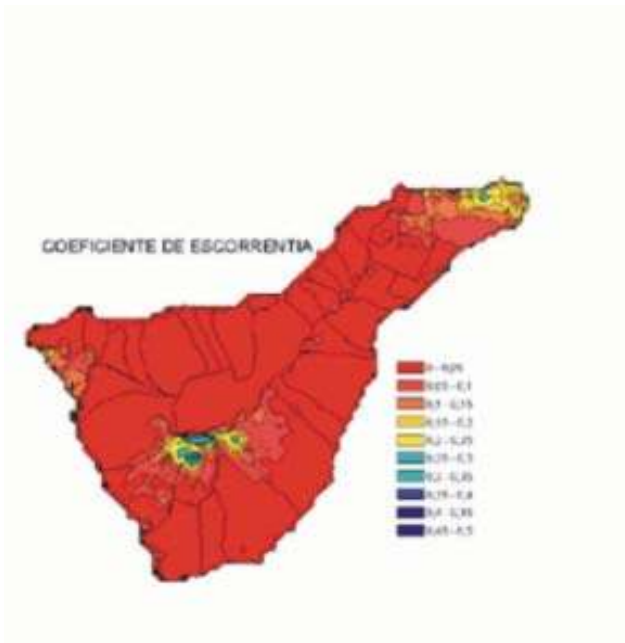


Fig. 5.2.f. Mapa de isolíneas de coeficientes de escorrentía. Período: 1986/87 - 1992/93. Tenerife. Fuente: www.aguastenerife.com



Fig. 5.2.g. Isocronas. Expansión de la Muerte Negra en la Europa del siglo XIV, en el que se muestra la división política del continente en la época. Fuente: Selecciones de Scientific American (1979)

Islíneas de inundación: Líneas que unen puntos de avance de las corrientes hídricas.

Islíneas de contaminación: líneas que unen puntos con la misma cantidad de partículas contaminantes.

Isosísmicas: líneas que muestran la intensidad de los sismos.

Isodemas: líneas que unen puntos con la misma densidad o cantidad poblacional. (Ver figuras 5.13 y 5.14)

Isoprecios: líneas que unen puntos con el mismo valor monetario. Se utiliza para señalar el precio o la renta de la tierra.

Isodapanas: Isopleta que representa el coste total del transporte en la teoría de la localización industrial.

Isofora: Isopleta que representa las tarifas del transporte a partir de un centro determinado.

Isocronas: líneas que unen puntos con la misma regularidad horaria.

Islíneas de criminalidad: Líneas que representan niveles de criminalidad (robos, asesinatos...)

5.4 Aspectos básicos en el trazado de isolíneas

De acuerdo a Del Canto, et al. (1993), al construir un mapa de isolíneas se pueden evidenciar varias dificultades como: “la naturaleza de los datos, la forma y tamaño de las unidades para las que se dispone de información, la búsqueda del lugar adecuado donde situar los puntos de referencia o también del método de interpolación que se utilice”.

- *La naturaleza de los datos* puede verse en dos sentidos: uno, en cuanto al tipo de variable que representan, discreta (valores enteros) o continua (valores fraccionados) que



siendo más una clasificación de tipo teórico que práctico, no interviene de manera notoria en el trazado de isolíneas puesto que los valores de éstas son decisión del usuario o de los rangos que determine el fenómeno mismo. Y dos, en cuanto al origen de los datos o el sitio donde se toma el registro (p. ej. una estación de medida de contaminantes) algunos de los cuales ya tienen una implantación puntual lo que sirve directamente en el trazado de isolíneas. Sin embargo, existen datos con implantación zonal (p. ej. población rural, densidad) para los que es necesario tomar una decisión en cuanto a la ubicación del punto representativo del dato. En cuanto a la calidad de los datos, Robinson, et al (1995) señala algunos tipos de errores que afectarían el trazado de isolíneas; entre ellos, el error en la toma del dato mismo ya sea de carácter instrumental o humano; la fuente de los datos, con lo que se puede crear una excesiva generalización; los errores que surgen del procesamiento y/o tratamiento de los datos; y los errores conceptuales que se cometen ante una mala interpretación del fenómeno a analizar o del tipo de tratamiento estadístico o matemático que se haya aplicado.

- *La forma y el tamaño de las unidades* para lo que se dispone de información, o como lo afirman Robinson, et al (1995), el número de puntos de control (de observación y medición), lo cual puede llevar a un excesivo detalle o a una generalización equivocada, pudiendo presentarse ambos casos en una misma área de trabajo.

- *La interpolación* se presenta como un problema a tener en cuenta en el trazado de isolíneas, puesto que por lo general se asume un aumento uniforme en el valor de dos puntos, para buscar un tercero entre estos, sin tener en cuenta otros aspectos. Así mismo es necesario no obviar la cantidad y cercanía de los puntos y el método de interpolación utilizado.

- *La selección de intervalos* no puede ser por sí misma un proceso rígido, teniendo presente que existen fenómenos cuyos umbrales de funcionamiento marcan los límites del intervalo. Para otro tipo de estudios como los socioeconómicos, los umbrales dependen de los parámetros establecidos. En ambos casos la selección del intervalo no es uniforme respondiendo más a una necesidad de análisis. Según Robinson, et al (1995) se sugiere entonces incluir en el mapa de isolíneas una justificación de tal decisión, con el fin de que el lector tenga una aprehensión fácil del resultado.

5.5 La interpolación

Bosque (1992) define la interpolación como “un procedimiento que permite calcular el valor de una variable en una posición del espacio (punto no muestral, con un valor estimado conocido) conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos muestrales, con valores reales)”. La ubicación precisa de cada punto es necesaria para un trazado eficiente de las isolíneas, más aún cuando representan umbrales funcionales de determinada superficie.

Actualmente existen numerosos métodos de interpolación automáticos que obviamente surgieron de propuestas manuales y, alrededor de los cuales, se han establecido varias formas de clasificarlos.

Bosque (1992) propone tres formas de clasificación de las cuales destacamos dos:

En la primera, interesa saber la cantidad de datos que se utilizan para hallar un valor desconocido. Con los *métodos globales* se incluyen todas las observaciones para llegar a la estimación de un valor, mientras que los *métodos locales* utilizan sólo las observaciones más cercanas al valor que se desea hallar.



En una segunda clasificación, lo que importa es la capacidad de análisis para relacionar variables que permitan una estimación más exacta del valor y la posición a identificar. *Los métodos directos* parten de suposiciones generales en cuanto al comportamiento de las variables sobre la superficie y aplican una función matemática para hallar valores desconocidos; en este sentido es muy similar a los métodos locales en tanto utilizan las observaciones más cercanas. *Los métodos analíticos* “tienen en cuenta el grado y tipo de autocorrelación existente entre las variables” (Bosque, 1992). Son métodos que no parten de generalizaciones sino de comportamientos específicos de cada variable sobre la superficie, asumiendo el grado de dependencia de la variable a interpolar, en relación con las demás. Cabe agregar que no es necesario establecer entre las variables únicamente relaciones del orden cuantitativo ya que variables tales como el uso del suelo, el tipo de vegetación o el tipo de rocas, ofrecen información cualitativa capaz de corroborar ciertas hipótesis.

La interpolación lineal que es una de las más conocidas, corresponde al primer grupo y más específicamente a los métodos locales. A continuación se explicará su procedimiento:

¿Cómo se realiza una interpolación lineal?

Procedimiento:

- 1 Se determina el espacio a trabajar y sobre éste se ubican los puntos para los cuales se tienen los datos acerca de una medida en particular: altura, precios, nivel de contaminación, horas, etc...
- 2 Se definen los valores a interpolar.
- 3 Se identifican los pares de puntos (A, B) dentro de los cuales se ubica el valor a interpolar (C).
- 4 Se halla la diferencia entre los dos pares de puntos (A-B).
- 5 Se mide la distancia en mm entre un punto y otro (Distancia de A a B).
- 6 Se determina la diferencia de valores entre el punto a identificar (C) y cualquiera de los otros dos puntos (A o B).
- 7 Se busca la ubicación del nuevo punto (C) aplicando la siguiente regla de tres.

Diferencia A y B	—————	Distancia A a B
Diferencia A y C		¿Cuál es la distancia entre A y C?

o también,

Diferencia A y B	—————	Distancia A a B
Diferencia B y C		¿Cuál es la distancia entre B y C?

- 8 Se ubica el nuevo punto a partir del punto de referencia escogido.



Fig. 5.3 Interpolación lineal



Entre los puntos 55 y 72 de la figura 5.3, se desea buscar la ubicación del punto 60.

Para hallar la ubicación de este nuevo punto, se estableció la diferencia entre los valores conocidos ($72 - 55 = 17$). La distancia entre los dos puntos es de 27 mm. El punto de referencia escogido fue el 55, que tiene una diferencia de 5 en su valor con relación a 60. Aplicando la regla de tres, tenemos que:

$$\begin{array}{ccc} 17 & \text{—————} & 27\text{mm} \\ 5 & & X \\ \frac{5 \times 27\text{mm}}{17} = \frac{135}{17} = 7,9 \end{array}$$

Con este tipo de interpolación se asume una distribución uniforme entre los dos puntos extremos a partir de los cuales se halla un tercero, con lo que de hecho no se reconocen otras variables y otras ubicaciones que podrían cambiar de manera drástica la distribución del fenómeno.

Para el trazado de otras isolíneas es posible evitar el anterior inconveniente en la medida en que se pueden establecer relaciones y/o correlaciones previas con el uso del premapa para posteriormente definir las nuevas ubicaciones. En ese caso, se utilizan métodos del segundo grupo, específicamente los analíticos como se mostrará durante la descripción del trazado de isotermas.

Los SIG por su parte, son mucho más precisos, rápidos y ágiles en la implementación de métodos de interpolación ya que tienen la capacidad de relacionar variables, hacer los cálculos automáticamente, mostrar un resultado gráfico, simular a partir de diferentes ponderaciones como en el caso de la interpolación de Kriging y por último, generar modelos digitales de terreno en los que la variación de cualquier fenómeno se hace visible de manera vertical. Según Bosque (1992) “se puede crear un MDT (Modelo Digital de Terreno) de cualquier hecho que cumpla unas mínimas características, la continuidad espacial de la variación, sin que existan saltos bruscos del valor Z” ... “aspectos físico-naturales, como la precipitación, la temperatura, la composición litológica o mineral, la acidez o basicidad de los suelos o también las variables sociales: número de habitantes, densidad de población, etc”.

Cabe agregar que la interpolación se estima a partir de valores conocidos o dentro de un intervalo, sin embargo cuando dicha estimación debe hacerse por fuera del área de estudio, o no existen los datos suficientes para completarla, se habla de *extrapolación*.

El conocimiento del gradiente de variación, para algunos fenómenos, permite también hallar valores desconocidos puesto que tras varias observaciones en lugares específicos, se han establecido los puntos de ruptura o cambio de una variable en relación con otra, como ocurre con los gradientes de temperatura. De acuerdo a Strahler (1981) “el aire que asciende, al igual que cualquier gas, experimenta un descenso en su temperatura, aunque no pierda energía calórica”. A partir de esta idea se han establecido dos tipos de gradientes: el gradiente adiabático seco “cuando no se produce condensación”... la variación es de “1°C cada 100 metros de elevación” y el gradiente adiabático saturado “cuando el vapor de agua atmosférico se condensa que es de 0,6°C para cada 100m”.



5.6 El trazado de algunas isolíneas

5.6.1 Las curvas de nivel

Son líneas que muestran las irregularidades del terreno, uniendo puntos que tienen la misma altura y/o profundidad. Cuando dichas líneas son trazadas sobre el nivel del mar, se les denomina *isohipsas*, y cuando representan la topografía del lecho marino toman el nombre de *isobatas*.

Robinson, et al (1995) presentan una descripción mucho más precisa geoméricamente, de estas isolíneas, en tanto las definen como los trazos que muestran la intersección de un plano horizontal con la superficie topográfica, y su proyección ortogonal sobre un mapa, como lo muestra la figura 5.4.

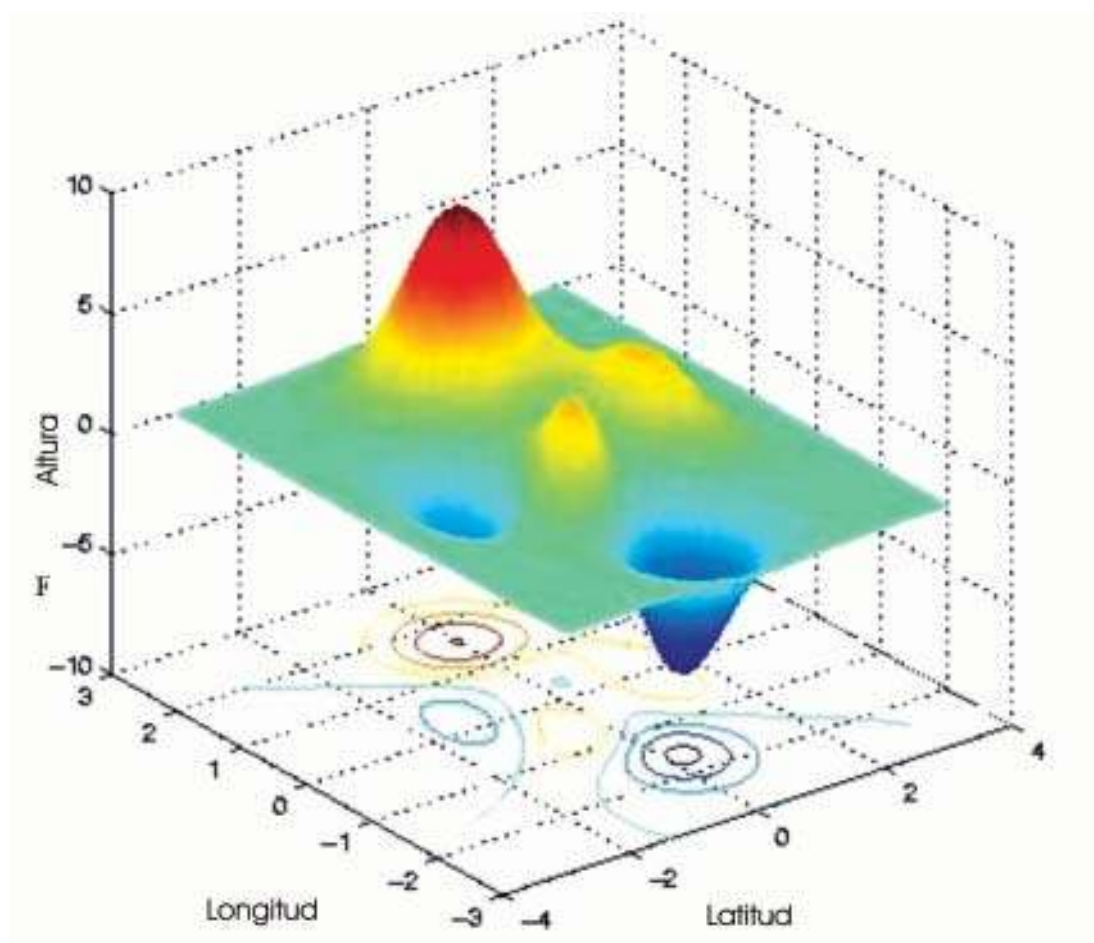


Fig. 5.4 Isohipsas e isobatas

Fuentes: www.atmosferas.cl/HTML/meteorología

Además de las características mencionadas para las demás isolíneas, las curvas de nivel, presentan tres particularidades más:

- Forman una “v” al hacer contacto con la hidrografía, “cuyo vértice indica la dirección de donde vienen las aguas, es decir la parte más alta del terreno” (IGAC, 1981).



- Cuando el relieve a representar es muy quebrado, las curvas de nivel presentan varios entrantes y salientes.
- No siempre la curva del centro muestra una altura, también puede representar una depresión.

¿Cómo se trazan las curvas de nivel?

Procedimiento:

- Un conjunto de puntos con una ubicación específica y un valor altitudinal para cada uno de estos, se constituyen en los datos básicos para trazar las curvas de nivel.
- Se definen las **isolíneas** a trazar y/o el intervalo de las mismas.
- Se **interpola**.
- Se **unen los puntos de igual valor**.

En la figura 5.5, tenemos una malla de puntos, cada uno con una altura definida. A partir de esta, se desea señalar las curvas de nivel con los siguientes valores: 1.600, 1.800, 2.000, 2.200, 2.400, 2.600 y 2.800, los cuales fueron hallados por interpolación para finalmente obtener el conjunto de líneas de la figura 5.6.

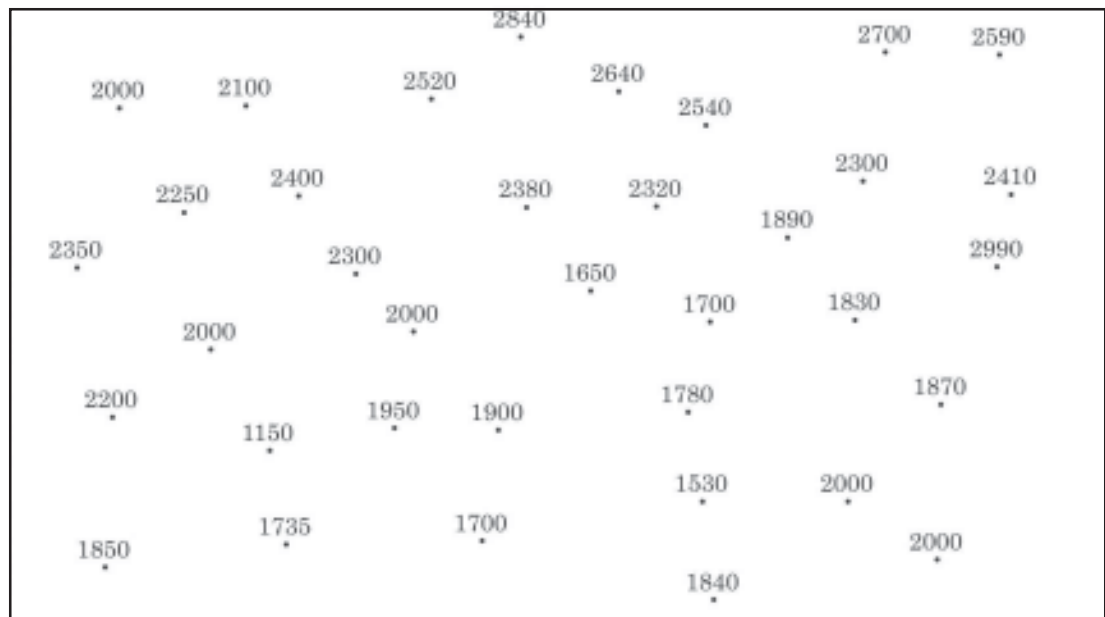


Fig. 5.5 Malla de puntos con alturas

Probablemente las curvas de nivel son las **isolíneas** que menos se trazan de forma manual ya que estas se elaboran por métodos automáticos. Sin embargo es importante reconocer su proceso lógico de construcción para lograr un buen entendimiento de las características topográficas del terreno y su posible relación con otros fenómenos.

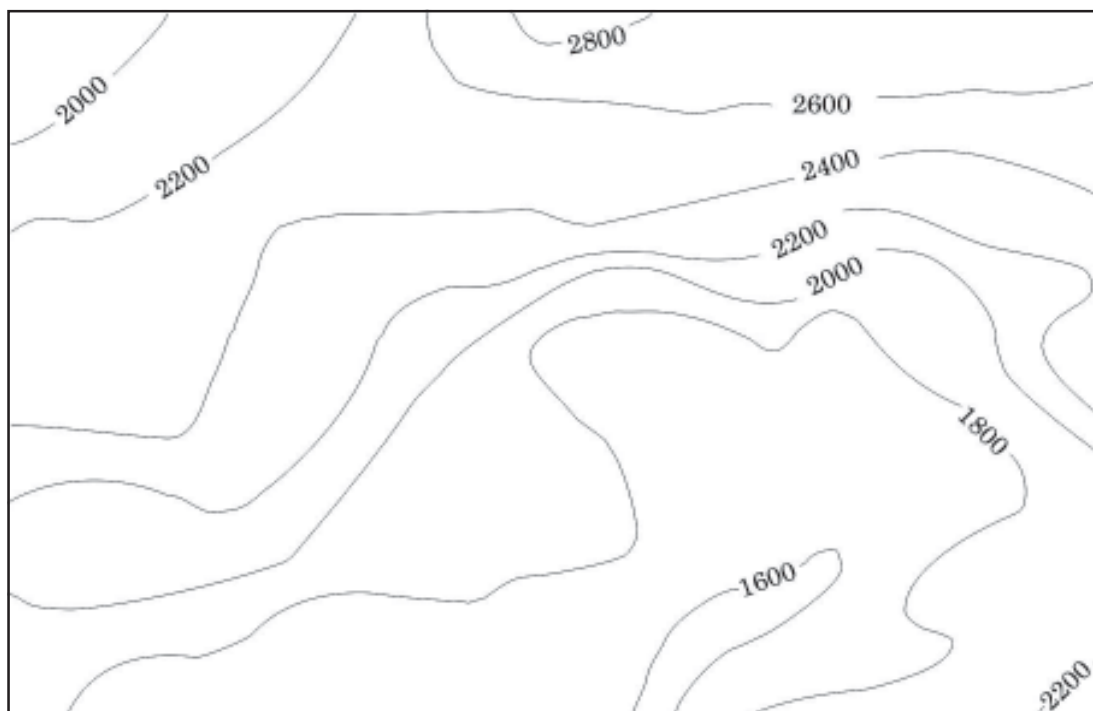


Fig. 5.6 Curvas de nivel

5.6.2 Las isoclinas

Son líneas que unen puntos que tienen la misma pendiente. Esta última es definida como “la variación de la altura entre dos puntos del territorio en relación con la distancia que los separa” (Bosque, 1992) o el “ángulo que forma la superficie topográfica con la horizontal” (Sthraler, 1981). Ambas definen a su vez el gradiente que permite establecer la variación espacial de este fenómeno.

El trazado de isoclinas da como resultado un mapa de pendientes cuyas áreas entre isoclinas no sólo ofrecen una característica topográfica del terreno, sino que permiten clasificarlo de acuerdo a un uso en particular en el que la pendiente sea definitiva en el desarrollo de ciertas actividades o en la caracterización de un fenómeno. Teniendo en cuenta que la pendiente funciona como un factor determinante (aceleración-disminución) en la dinámica de varios fenómenos tales como: la escorrentía superficial, los movimientos en masa, la formación de suelos, la cobertura vegetal, o dinámicas particulares como el desprendimiento, transporte y acumulación de materiales, el mapa de isoclinas resulta de gran utilidad para la “definición de posibles usos del suelo, estudios de factibilidad para la construcción de asentamientos humanos y detección de posibles áreas de riesgos naturales”. (Bahamón y Flórez, 1991).

¿Cómo se trazan las isoclinas?

El trazado de isoclinas es aconsejable en mapas a escala 1:25.000 o superiores a ésta, puesto que su detalle permite tener mayor precisión en su definición. En escalas inferiores, dicho trazado tiende a generalizar el estudio mismo. El mapa topográfico es la base para la elaboración del mapa de pendientes puesto que este utiliza como datos básicos las curvas de nivel y la distancia. Para elaborar el mapa de pendientes a escala 1:25.000 se ha establecido el siguiente procedimiento, de acuerdo a Bahamón y Flórez (1991):



Procedimiento:

- Sobre un calco se delimita el área de estudio y se traza una cuadrícula de 1cm² cada unidad. (Ver figura 5.7)
- Sobre cada cuadro de 1cm² se traza una línea horizontal, una vertical y dos diagonales.
- Se identifican las intersecciones de cada una de estas líneas con las curvas de nivel y se totalizan. Mentalmente es conveniente hacer un buen conteo siguiendo las manecillas del reloj.
- Se halla la pendiente para cada uno de los cuadros aplicando la siguiente fórmula:

$$m = \arctang. \frac{\sum i \Delta H}{4L}$$

en donde:

- Σi = Total de intersecciones en cada unidad
- ΔH = Diferencia de altura entre una curva y otra.
- 4 = Actúa como una constante y representa cada una de las líneas trazadas por unidad.
- L = Longitud de un lado del cuadrado.
Para una escala 1:25.000, cada cm equivale a 250 m

Al aplicar la anterior fórmula se ha hallado la pendiente media para cada Unidad, posteriormente:

- Se traza una nueva cuadrícula y en el centro de cada unidad se escribe el valor de la pendiente media. (Ver figura 5.8)
- Se determinan los rangos en función del problema a analizar.
- Se interpolan los valores.
- Se trazan las isoclinas.
- Se aplica una variable visual acorde con el fenómeno a mostrar para darle mayor visibilidad al área entre isoclinas.

En el trabajo propuesto por Ortiz (1989) en el área del Líbano (Tolima), se establecieron categorías de pendiente (abrupta, empinada, fuerte, moderada, débil y muy débil) que “obedecen a umbrales de desencadenamiento de procesos morfogénicos o erosivos” tales como los que muestra el cuadro 5.2. Para este trabajo se elaboró un mapa de pendientes a escala 1:50.000. En nuestro caso se optó por hacer un mapa de pendientes a escala 1:25.000 para lo cual se ha tomado un pequeño sector (ver figura 5.7) del área inicialmente trabajada por Ortiz (1989).

Cuadro 5.2 Clasificación de pendientes por procesos morfogénicos

Categoría	Valor de la pendiente	Proceso morfogénico
Abrupta	Mayor a 45°	Desplomes, derrumbes en seco.
Empinada	35-45°	Hidrogravitacionales
Fuerte	25-35°	
Moderada	15-25°	Hipodérmicos
Débil	5-15°	Esguerramiento hídrico superficial, difuso a concentrado
Muy débil	menos a 5°	

Fuente: Ortiz, 1989

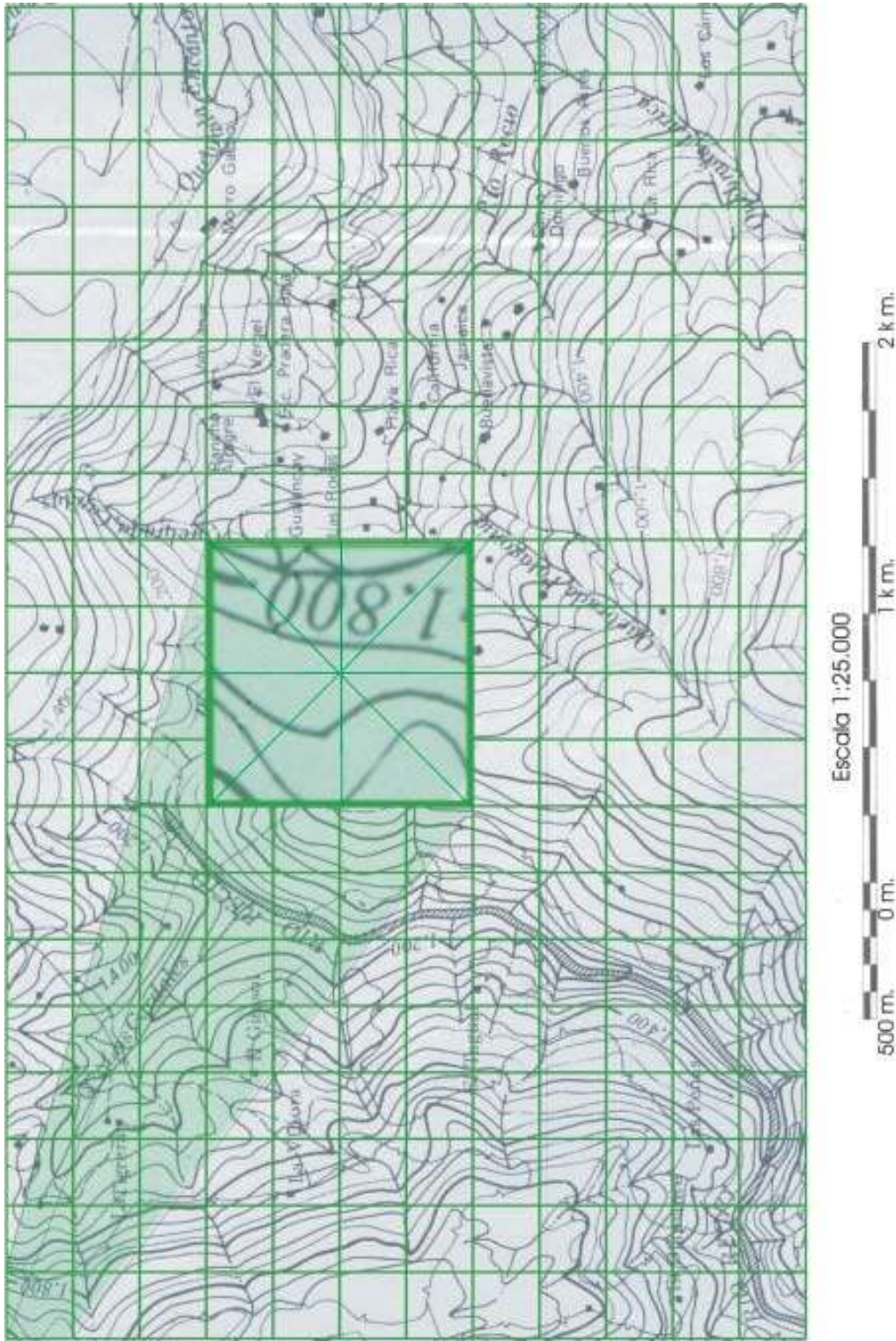


Fig. 5.7 Cuadrícula de trabajo para hallar las pendientes medias
Fuente mapa base: IGAC (1989) Municipio del Líbano, Dpto. del Tolima. Plancha No. 226-I-A Municipio del Líbano, Dpto. del Tolima.

Para cada una de las demás cuadrículas se aplicó el mismo procedimiento, y se elaboró una nueva cuadrícula con los resultados (ver figura 5.8).

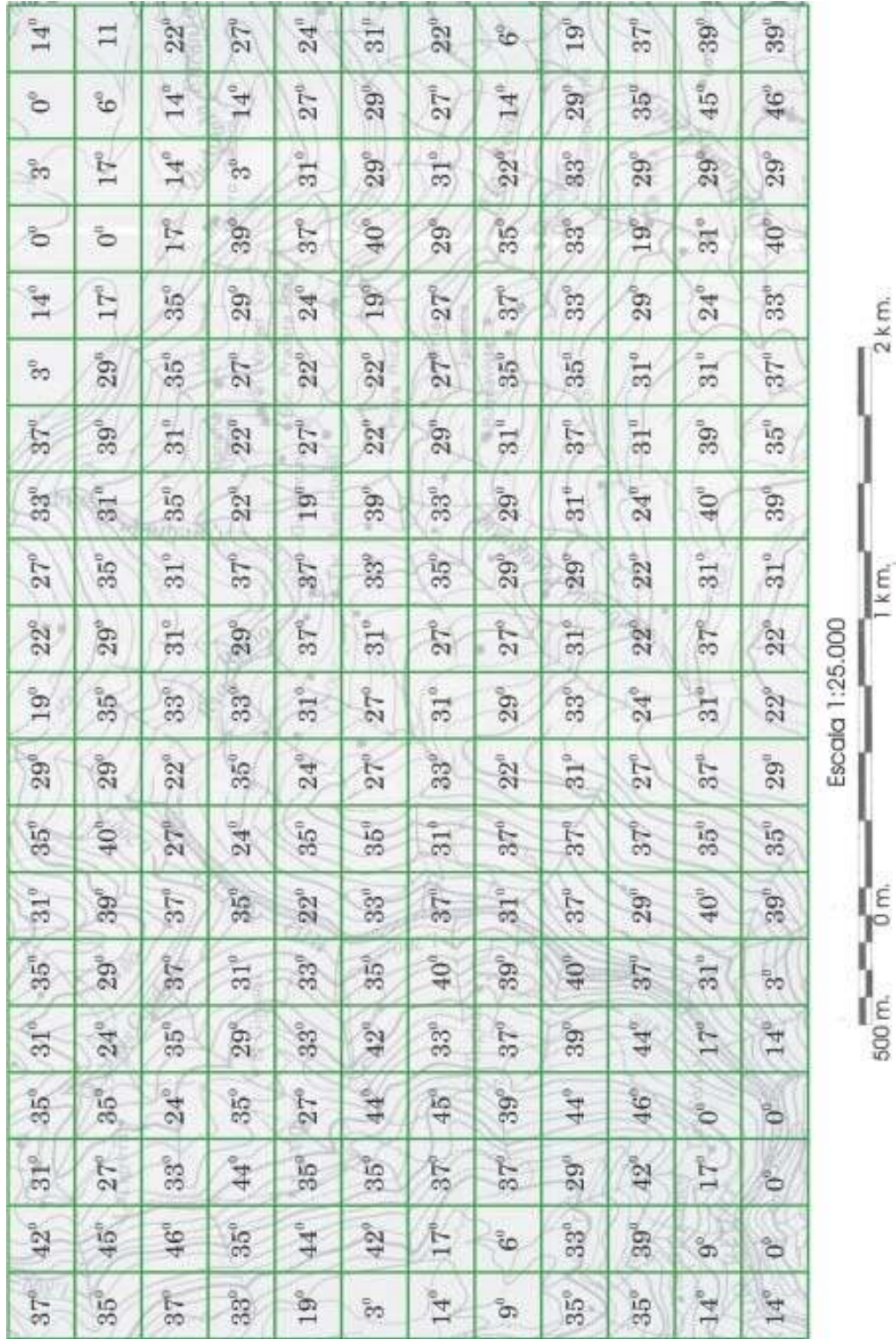


Fig. 5.8 Pendientes medias resultantes
Fuente mapa base: IGAC (1989) Municipio del Líbano, Dpto. del Tolima. Plancha No. 226-I-A



Se definen las isoclinas a partir de los valores de la pendiente del cuadro 5.2. Se interpoló y como resultado obtuvimos el mapa de pendientes de la figura 5.9.

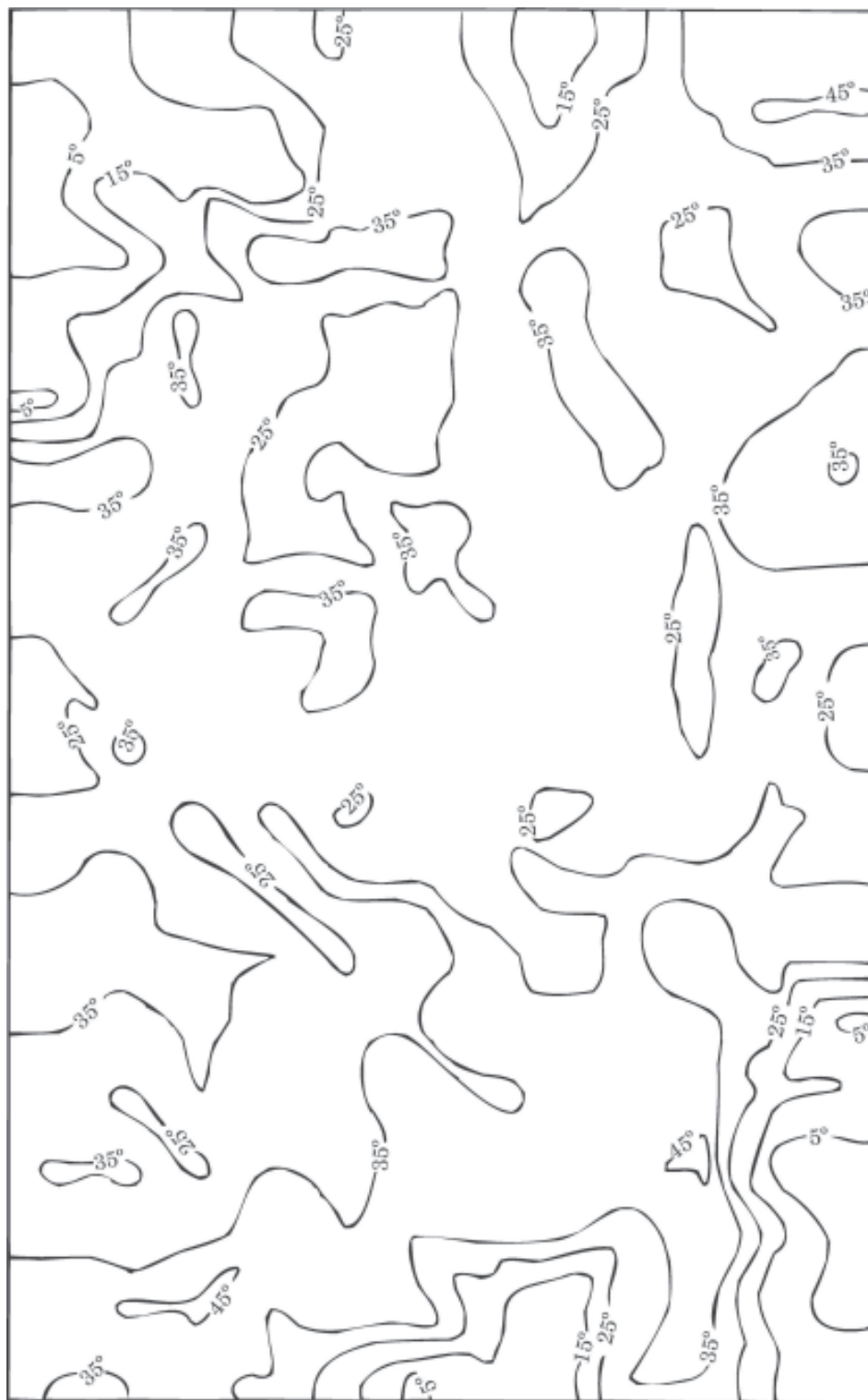


Fig. 5.9 Mapa de isoclinas

Como el objetivo era mostrar los procesos morfogenéticos en función de la pendiente, en la figura 5.10, se presentan cuatro categorías definidas por rangos específicos; se utilizó la variable valor a partir de la pendiente.

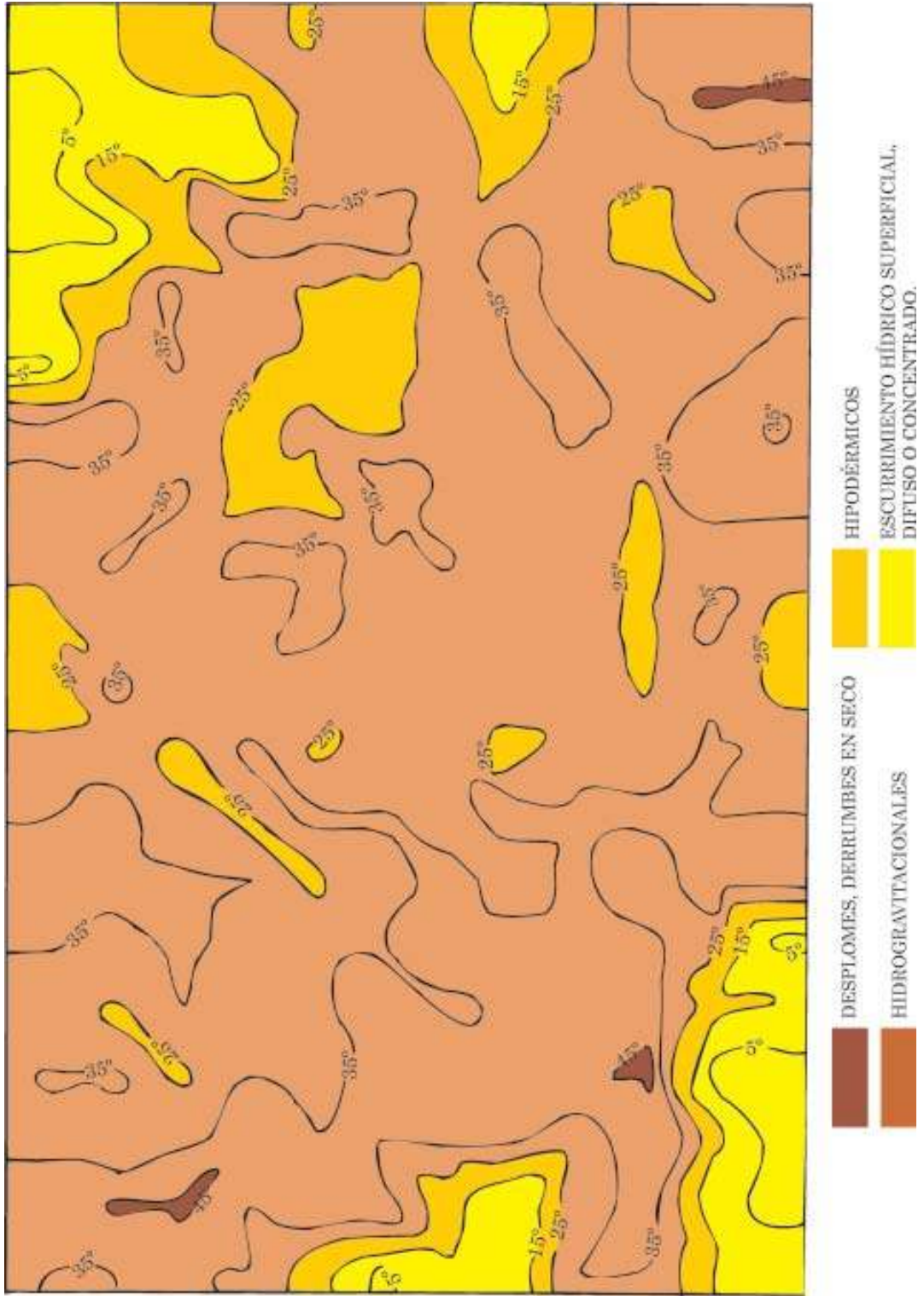


Fig. 5.10 Procesos morfogenéticos en función de la pendiente



Nótese en la figura 5.7, la manera como deben ser trazadas las líneas sobre cada cuadrícula para hacer el conteo de intersecciones con las curvas de nivel. Para la primera cuadrícula se procedió de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} S_i &= 15 & DH &= 50 \text{ m} & L &= 250 \text{ m} \\ m &= \text{arctang} \frac{15 \times 50 \text{ m}}{4 \times 250 \text{ m}} & m &= 37^\circ \end{aligned}$$

5.6.2.1 Aspectos a tener en cuenta en el trazado de isoclinas

Además de tener presente las características propias de las isolíneas en general y de las curvas de nivel en particular, el trabajo que se hace en cada cm^2 , para el trazado de isoclinas, presenta algunos inconvenientes que pueden llevar a errores humanos en el conteo de las isohipsas:

- Existen otras líneas en el mapa que funcionan como límites, caminos, ríos o quebradas que por momentos van ligados a algunas isohipsas o son paralelos a las mismas, pudiendo confundir al observador.
- Las curvas de nivel maestras, que son las que tienen un calibre mayor, interrumpen su trazado en algunos tramos para mostrar su valor; es necesario por tanto, trazar el segmento que falta e incluirlo en el conteo.
- La posición que toman algunas isohipsas, se cruza casi que en todo su transecto, con algunas de las líneas interiores del cm^2 ocasionando confusiones en el momento de contarlas, es necesario recordar que lo que se cuenta es la intersección para no hacer una interpretación falsa durante el procedimiento.
- Para facilitar el conteo de las intersecciones recomendamos construir un molde de cm^2 que permita aislar la observación; sin embargo, no deben descuidarse aquellas isolíneas que se sitúan justo en el límite del cuadrado.
- Al interpolar, se sugiere trazar cada isolínea en su orden, hasta agotar todas las posibilidades, para evitar dejar algún rango sin establecer.

5.6.3 Las isocronas

Son líneas que unen puntos con igual distribución temporal, en diferentes unidades: minutos, horas, días, meses, años. Se utilizan para identificar la distribución espacio-temporal de cualquier fenómeno. En términos prácticos sirven para observar la propagación de una enfermedad (ver figura 5.2 g) o de un contaminante, cronometrar la distribución de un producto, hacer análisis históricos de expansión territorial e identificar el retroceso y/o avance de fenómenos naturales (inundaciones, líneas de costa, reducción de cuerpos de agua...) en función del tiempo.

Al igual que varias de las isolíneas, su trazado se hace a partir de puntos, sin embargo, cuando se trata de actividades humanas y específicamente las económicas, las isocronas están muy ligadas a las redes de comunicación.

Cuando el tiempo se concibe en relación con otras variables se convierte en una medida relativa. Por ejemplo: el desplazamiento de un producto implica identificar aspectos tales como la calidad de las vías, el comportamiento del tránsito, la capacidad de los vehículos, la velocidad promedio y hasta las condiciones humanas que modificarían en determinado momento su dinámica. Lo anterior hace pensar directamente en los datos en cuanto a su obtención, si depen-



de directamente de una experiencia en campo para la que sería necesario tomar varias medidas y promediarlas con el propósito de reducir errores; y en cuanto a fenómenos cuya distribución no es permanente de forma espacial y mucho menos temporal, en los que se pueden establecer períodos fijos de tiempo en función de la ocurrencia del fenómeno, por ejemplo: la propagación de partículas contaminantes, durante una hora específica del día y un lapso de tiempo.

¿Cómo se trazan las isocronas?

- 1 Partiendo de una red, cada punto se presenta como el origen y/o el final de la medida de tiempo del recorrido a través de cada línea.
- 2 Se definen las isocronas a trazar.
- 3 Se interpolan los nuevos puntos a localizar, teniendo en cuenta que puede hacerse una relación entre la distancia en tiempo y la longitud de la vía, de esta forma, si la diferencia entre A y B en tiempo es igual a 2 horas, 50 minutos (170 minutos) y en longitud 40 mm (sobre el papel), para señalar el punto en el que se ha recorrido una hora, es posible aplicar la siguiente regla de tres:

170 min	40 mm
60 min	x

$$x = \frac{40 \text{ mm} \times 60 \text{ min}}{170 \text{ min}} = 14.1 \text{ mm}$$
- 4 Se trazan las isocronas.



Fig. 5.11 Red vial hipotética



La figura 5.11, representa una red vial constituida por segmentos de líneas (vías) y una serie de nodos (centros urbanos)¹. Entre un nodo y otro se ha señalado la distancia en tiempo; nótese que ésta no es la misma para todos a pesar de que algunas tengan la misma longitud, como ocurre de B14 a B15 y de B14 a B17 lo que podría significar que fueron cronometradas teniendo en cuenta algunas condiciones tales como el tráfico o la calidad de las vías.

Una empresa transportadora de alimentos perecederos, con sede en M, desea saber qué límites de tiempo tendrían para distribuir sus productos, puesto que algunos de estos necesitan estar refrigerados. Para resolver éste problema se ha decidido trazar isocronas de 2 horas (120 minutos) a partir del centro de distribución y hacia todos los demás puntos de la red (ver figura 5.12).



Fig. 5.12 Mapa de isocronas

Para trazar la isocrona 4 horas (240 minutos) a partir de M por la ruta A, se procedió de la siguiente forma: se tomó la medida, sobre el papel, de las rectas que van de M a A5 equivalentes a 27 mm; en este trayecto hay un tiempo de 4:35 es decir de 275 minutos, con estos datos se aplicó una regla de tres así:

¹ Trabajo académico desarrollado durante la clase de Cartografía Temática. Profesor: Antonio Flórez. Carrera de Geografía, Universidad Nacional de Colombia.



$$\begin{array}{r} 27 \text{ mm} \quad 275 \text{ min} \\ X \quad 240 \text{ min} \\ \hline 27 \text{ mm} \times 240 \text{ min} = 23,5 \text{ mm} \\ 275 \text{ min} \end{array}$$

Este resultado nos indica la distancia sobre la ruta en la que se localiza el punto equivalente a 4 horas. Para las demás rutas se aplicó el mismo procedimiento y con los puntos finalmente ubicados se trazó la isocrona. El resto de las isocronas se marcaron de la misma forma, sin embargo nótese que algunos tramos de las isocronas 16h, 18h y 20 h, fueron extrapolados en algunos segmentos en los que no había presencia de vías.

5.6.4 Las isodemas

Se definen como líneas que unen puntos con la misma densidad o cantidad poblacional. Dicho concepto lleva implícito por lo menos dos inconvenientes: la imposibilidad real de representar en un solo punto a la población; y los problemas prácticos de la medida de la densidad en cuanto generaliza un área suponiendo que los individuos están distribuidos de manera homogénea.

Partiendo de estos inconvenientes se podría afirmar que las isodemas sólo nos ofrecen una idea general en cuanto al crecimiento y concentración de la población siendo más útil la información representada por la superficie entre isolíneas que las líneas tomadas de manera separada. Así mismo la dinámica de la población exige estudiarla en diferentes espacios y momentos con el propósito de hacer un análisis multitemporal que responda a su movilidad.

¿Cómo se trazan las isodemas?

Es posible trazar las isodemas de dos formas, estos procedimientos sólo difieren en las subunidades a analizar.

Procedimiento I:

Partiendo de unidades político-administrativas existentes (veredas, municipios, departamentos) para las cuales se cuenta con el dato de la densidad o la cantidad de población, se procede de la siguiente forma:

- Se pone un calco sobre el mapa con la división político-administrativa y en este se ubican el punto central de cada uno de estos polígonos irregulares (no necesariamente este punto debe corresponder con la cabecera municipal).
- En cada uno de estos puntos se ubica el dato de la densidad o cantidad poblacional.
- Se definen las isodemas a trazar.
- Se interpola.
- Se trazan las isolíneas.

Un ejemplo del anterior procedimiento se halla en Gracia (1999). Su objetivo era “destacar la variación espacio-temporal de la población a nivel regional y local, como producto de los conflictos por el territorio”, en el área del delta del Sinú. Para tal fin fueron elaborados



mapas diacrónicos con el propósito de hacer un análisis espacio-temporal del poblamiento durante 50 años. La figura 5.13 corresponde a un mapa de isopletas con estos resultados. A partir de éste mapa se procedió a elaborar un modelo digital de terreno (figura 5.14) en el que la evolución de la superficie demográfica fue representada de manera vertical.



Fig. 5.13 Mapa de isopletas. Proceso de concentración de la Población rural en el litoral Caribe y Sinú
Fuente: Gracia (1999)

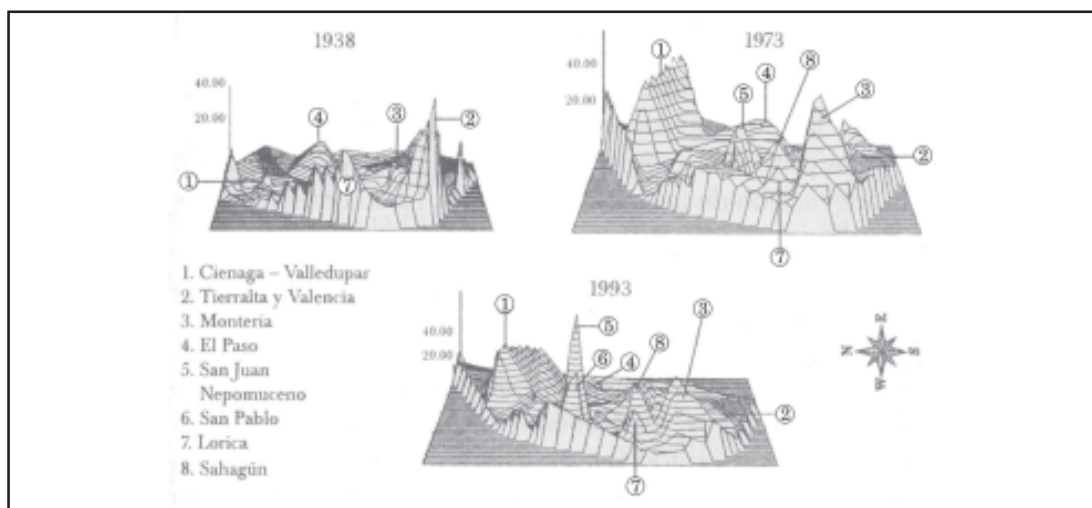


Fig. 5.14 Modelos digitales de terreno. Superficies demográficas, litoral caribe y sinú
Fuente: Gracia (1999)



- Procedimiento 2:**
- 1 Se parte de una malla o cuadrícula, sobre la que se puede hacer un conteo de la población o definir la densidad.
 - 2 Se sobrepone una cuadrícula al mapa o al área a analizar.
 - 3 En el centro de cada cuadro se ubica el dato correspondiente a la densidad o a la cantidad de población.
 - 4 Se definen las isodemas a trazar.
 - 5 Se interpola.
 - 6 Se trazan las isolíneas.

El área de estudio de la figura 5.15 se subdividió en unidades de cm^2 que de acuerdo con la escala (1:100.000) corresponde a 1 km^2 . Tratándose de un ejercicio didáctico, se asumió un valor de 5 personas por cada uno de los puntos que representa una vivienda. Se procedió a identificar el número de personas por unidad y a ubicar el dato resultante en el centro de cada cuadro, para obtener un valor medio por área. Las isodemas a trazar fueron: 10, 20, 30, 40 y 50 (ver figura 5.16).



Fig. 5.15 Método de cuadrícula para definir isodemas
Fuente mapa: IGAC (1974) Honda, dptos del Tolima, Cundinamarca y Caldas.

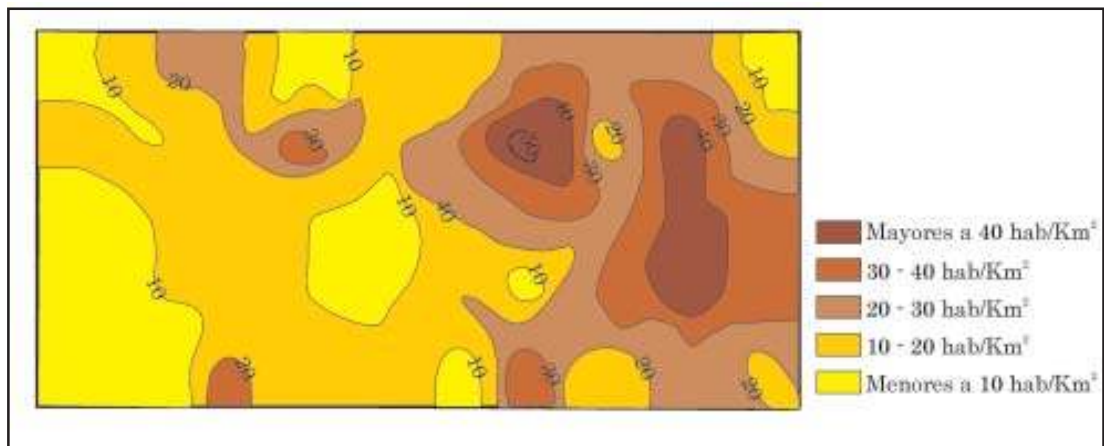


Fig. 5.16 Mapa de isodemas



Cada procedimiento tiene ventajas y desventajas: En el primero existe una facilidad en la consecución de datos a partir de registros oficiales, lo que permite que sea aplicable a áreas extensas. Sin embargo se conserva el problema de la densidad como medida en la que los tamaños de las superficies pueden modificar notoriamente los resultados.

Para el segundo procedimiento no es fácil estimar los datos en unidades tan exactas, lo que exigiría hacer un censo en el área de estudio, razón por la que se aconseja en zonas pequeñas. No obstante, el problema de la densidad, que presenta el procedimiento anterior, se reduce en tanto las unidades son iguales.

La población como fenómeno humano, lleva implícito problemas que complejizan su análisis. Uno de estos problemas tiene que ver con los datos puesto que a diferencia de otros la población es una variable discreta y no continua. Para temas de emigración lo más aconsejable es elaborar mapas diacrónicos con el propósito de ofrecer una idea de los movimientos poblacionales sobre el espacio.

5.7 El premapa como herramienta para el trazado de isolíneas

Existen algunas isolíneas cuyo trazado no se hace directamente a partir de puntos; su representación gráfica requiere pensar en el fenómeno mismo y en la participación que tienen en su dinámica otros fenómenos cuya asociación específica o precisa la ubicación del primero.

Teniendo en cuenta lo anterior, *el premapa*, entendido como un mapa en potencia, se convierte en una herramienta básica para identificar las relaciones existentes entre las variables que explican un fenómeno y precisan su distribución espacial, o también, como ya se mencionó, un método de interpolación.

Se habla del premapa como mapa en potencia, en el sentido de que actúa como un documento previo susceptible de analizarse y tratarse necesariamente para hacer una posterior representación cartográfica. Es por ello que existen varios materiales que pueden considerarse como premapas, y que van desde los mapas básicos, las fotografías aéreas, las imágenes de satélite hasta los cuadros de datos, los diferentes tipos de diagramas y algunos procedimientos estadísticos.

El común denominador entre todos ellos es su capacidad para establecer y/o mostrar relaciones. En este sentido, para Estébanez y Bradshaw (1978) el mapa tiene una enorme importancia como “instrumento de comparación entre los diferentes hechos geográficos”, ya que permite “establecer comparaciones entre varios conjuntos de datos espaciales”. De igual forma, “el diagrama... trata de mostrar las relaciones o las distribuciones espaciales de las variables que definen un fenómeno, o permite deducir la tendencia en la variación de un fenómeno considerado” (Caycedo y Flórez, 1991).

Al pensar en cualquier problema, de hecho intervienen diferentes niveles de análisis y el premapa está presente en los mismos en cuanto al tratamiento que se haga de los datos y en la especificidad en la distribución del fenómeno a analizar.

Un primer nivel de análisis busca el reconocimiento y generalización de la información. En este nivel es posible que la relación espacial no sea tan directa, por ejemplo cuando se observa una característica en un país o región sin ser específicos en la variación al interior de la misma. En este caso premapas tales como el *triángulo equilátero* o el *cuadrado* y diagramas un poco más simples



como los de *barras y los circulares*, son apropiados para este tipo de análisis. No podemos negar que su aplicación a localizaciones puntuales es posible más no se presta para un análisis de conjunto, si no son utilizados para cada localización de manera independiente.

Un segundo nivel de análisis trata de ser más detallado en cuanto al reconocimiento de las variables que intervienen en el desarrollo del fenómeno presentando una relación más específica con el espacio. Premapas tales como tablas de datos o matrices, mapas bases, fotografías aéreas e imágenes de satélite, presentan información que es apta de tratarse con el propósito de obtener un nuevo resultado (diagrama, mapa).

Un tercer nivel de análisis, mucho mayor, busca establecer en qué medida, intervienen cada una de las variables en la dinámica funcional de un fenómeno, con el propósito de ser más rigurosos en la localización de su distribución. En este nivel algunos tratamientos estadísticos como las relaciones y/o correlaciones y su graficación, funcionan como premapas.

Para trazar algunas isolíneas, se requieren premapas que estarían situados en el tercer nivel que acabamos de mencionar y para ello consideramos pertinente incluir algunos métodos estadísticos y gráficos que permitan relacionar variables.

5.7.1 La relación entre variables

Difícilmente existen fenómenos en la naturaleza y en la sociedad cuya dinámica sea totalmente independiente o no incluya otra serie de fenómenos y circunstancias en su comportamiento. Ello exige identificar cuáles son las variables que intervienen en la manifestación de cualquier fenómeno, y a su vez explicar el nivel de relación que existe entre las mismas. Sin embargo, como afirma Levin (1977) “el descubrimiento de la existencia de una relación no dice mucho acerca del grado de asociación o correlación entre las dos variables”. Es aquí donde el análisis espacial cobra importancia en la búsqueda de ese grado de correlación, generalizando en ocasiones, o siendo específicos en otras.

La complejidad en el funcionamiento de cualquier fenómeno exige pensar en todas las posibles relaciones. No obstante, muchas de estas no son precisas o podría decirse que no existen. El establecimiento de correlaciones da una idea aproximada de la fuerza de asociación entre variables, lo que gráficamente se puede observar a través de un *diagrama de dispersión*. Este último, que corresponde a un sistema de coordenadas x e y, relaciona dos variables cuya ubicación de cada punto no interesa tanto como la distribución o el emplazamiento del conjunto de puntos en el plano.

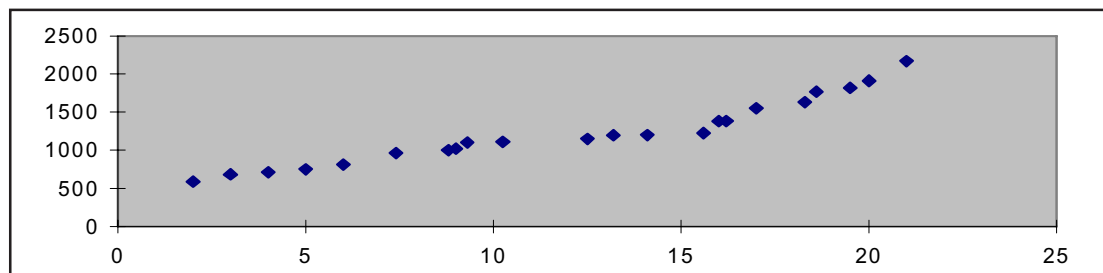


Fig. 5.17 Diagrama de dispersión. Relación directa



En la figura 5.17, los puntos tienden a agruparse en línea recta hacia la derecha, lo que significa que a medida que la variable aumenta por el eje y , también lo hace por el eje x . En esta situación, según Ebdon (1982), se tiene una relación directa.

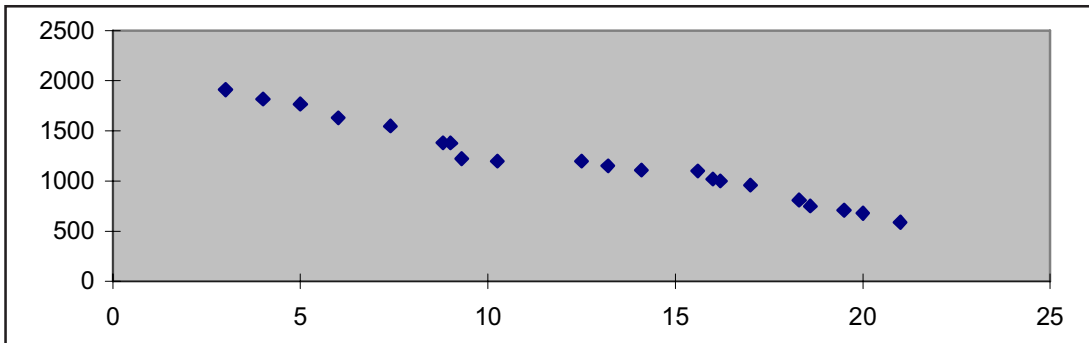


Fig. 5.18 Diagrama de dispersión. Relación inversa

En la figura 5.18, sucede lo contrario, lo que se denomina una relación inversa ya que mientras la variable aumenta por el eje y , disminuye en el eje x .

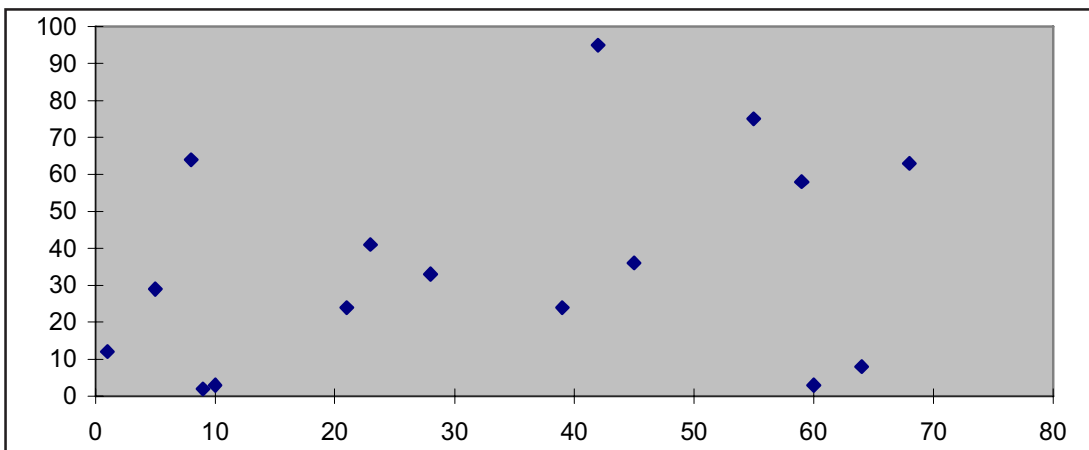


Fig. 5.19 Diagrama de dispersión. Relación nula

En la figura 5.19, los puntos aparecen dispersos, lo que muestra una relación nula.

Existen numerosas metodologías para establecer el grado de relación y/o correlación entre dos variables; a continuación mostraremos cómo se maneja el coeficiente de *correlación de Pearson*, los *coeficientes de regresión* y el *análisis de regresión lineal*, medidas que se pueden manejar y entender de una manera sencilla.

5.7.1.1 Coeficiente de Correlación de Pearson

También es llamado *coeficiente de correlación producto-momento*, según Ebdon (1982), “es una medida paramétrica de la relación entre dos variables”. Dichas variables, según el mismo autor, “se han de medir en una escala de intervalo, y la técnica supone que las dos variables proceden de poblaciones normalmente distribuidas”.



¿Cómo se halla el coeficiente de correlación de Pearson?

Procedimiento:
El cálculo de este coeficiente se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\sum xy/n - \bar{x}\bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

en donde:
r = coeficiente de correlación de Pearson
x e y = variables de analizar
 \bar{x} = media de x
 \bar{y} = media de y
 σ_x = desviación estándar de x
 σ_y = desviación estándar de y

Podemos notar que el numerador de la anterior fórmula corresponde a otra medida estadística que es la *covarianza* que según Estébanez y Bradschaw (1978) “describe el grado de correspondencia en la variación de dos variables” o “el promedio de los productos de las desviaciones de sus medias aritméticas respectivas”:

$$\text{Covarianza} = \frac{S(y-\bar{y})(x-\bar{x})}{n}$$

Según Ebdon (1982) la covarianza “es una medida del grado de variación conjunta de las dos variables, en el sentido de que un aumento en una de ellas refleja en un aumento o descenso proporcional de la otra”. Una covarianza 0, indica que las dos variables no varían conjuntamente. Una covarianza grande positiva o negativa, indica que las dos variables varían conjuntamente”.

De otra parte, “el denominador... es una medida de variación total de los datos. En función del diagrama de puntos es una medida de la dispersión de los puntos”.

Se desea saber cuál es la relación entre temperatura y altitud en el departamento de Caldas; se destina, *x* para la primera (variable dependiente) e *y* para la segunda (variable independiente) (ver cuadro 5.3). Los demás datos del cuadro, corresponden al proceso mismo de aplicación de la fórmula.



Cuadro 5.3 Datos para hallar el coeficientes de correlación de Pearsons. Dpto de Caldas

	x Temperatura	y Altitud	x*y	x ²	y ²
<i>Aguadas</i>	16,2	2.170	35.154,0	262,44	4.708.900
<i>Anserma</i>	18,6	1.768	32.884,8	345,96	3.125824
<i>Aranzazu</i>	17,8	1.910	33.998,0	316,84	3.648100
<i>Belalcazar</i>	19,5	1.631	31.804,5	380,25	2.660.161
<i>Chinchiná</i>	21	1.382	29.022,0	441	1.909.924
<i>Filadelfia</i>	20	1.550	31.000,0	400	2.402.500
<i>La Dorada</i>	28,2	178	5.019,6	795,24	31.634
<i>La Merced</i>	18,3	1.819	33.287,7	334,89	3.308.761
<i>Manizales</i>	16	2.216	35.456,0	256	4.910.656
<i>Manzanares</i>	18,3	1.871	34.239,3	334,89	3.500.641
<i>Marmato</i>	23,1	1.050	24.255,0	533,61	1.102.500
<i>Marquetalia</i>	19,9	1.560	31.044,0	396,01	2.433.600
<i>Marulanda</i>	12,2	2.825	34.465,0	148,84	7.980.625
<i>Neira</i>	17,4	1.969	34.260,6	302,76	3.876.961
<i>Pácora</i>	18,3	1.819	33.287,7	334,89	3.308.761
<i>Palestina</i>	19,5	1.636	31.902,0	380,25	2.676.496
<i>Pensilvania</i>	16,6	2.100	34.860,0	275,56	4.410.000
<i>Riosucio</i>	18,5	1.783	32.985,5	342,25	3.179.089
<i>Risaralda</i>	18,8	1.743	32.768,4	353,44	3.038.049
<i>Salamina</i>	18,6	1.775	33.015,0	345,96	3.150.625
<i>Samaná</i>	20,5	1.460	29.930,0	420,25	2.131.600
<i>Supía</i>	22,3	1.183	26.380,9	497,29	1.399.489
<i>Victoria</i>	25,4	675	17.145,0	645,16	455.625
<i>Villamaría</i>	17,7	1.920	33.984,0	313,29	3.686.400
<i>Viterbo</i>	23,5	988	23.218,0	552,25	976.144
<i>Totales</i>	S = 486,2	S = 40.981	S = 755.367	S = 9.709,32	S=74.013.115

$$n = 25 \quad x = 19,4 \quad y = 1639,2$$

Al aplicar la fórmula:

$$r = \frac{755.367 - 31.800,5}{25 \cdot 1.814,8} \quad r = -0,87$$

Covarianza = -1.585,8
 sxsy = 1.814,8
 r = -0,87

De acuerdo con los datos obtenidos, tenemos una covarianza negativa alta, que indica una variación inversa y conjunta de las dos variables.

El producto de las desviaciones estándar, igual a 1.814,8 indica la variación total de los datos.



El cociente entre las dos medias anteriores r , indica que la relación entre las dos variables tiene sentido; en este caso, el aumento en la altura es proporcional con la disminución de la temperatura, como lo demuestra la figura 5.20

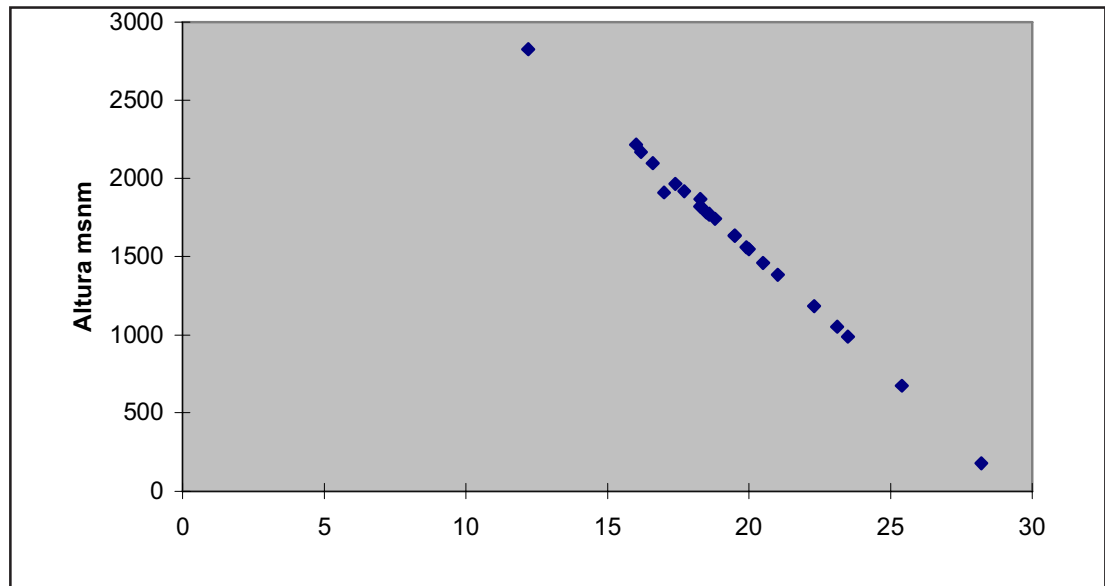


fig. 5.20 diagrama de dispersión temperatura-altura. dpto de caldas

5.7.1.2 Los coeficientes de regresión

Según Levin (1977) “establecer una correlación entre dos variables puede ser útil para *predecir* los valores de una variable (y) conociendo los valores de otra variable (x)”. Esta predicción se obtiene con el *análisis de regresión*. Dicho análisis se hace a partir de la búsqueda de los coeficientes de regresión y de su coherencia con la ecuación de regresión, formulada de la siguiente manera:

$$y = a + bx$$

que describe una línea de regresión en la que, de acuerdo a Ebdon (1982):

y = valor predicho de la variable dependiente.

x = valor de la variable independiente.

a y b = son coeficientes de regresión

¿Cómo se hallan los coeficientes de regresión?

Procedimiento:

Según Del Canto, et al (1993)

a = lugar en el que la recta se cruza con el eje de coordenadas (x)

b = pendiente de la recta.

Las fórmulas para hallar estos valores son las siguientes:

$$b = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$



Para hallar los coeficientes de regresión de los cinco primeros pares del cuadro 5.3, se procede de la siguiente manera (ver cuadro 5.4):

$x = \text{Altitud}$

$y = \text{Temperatura}$

Cuadro 5.4 Datos para hallar los coeficientes de regresión

x = Altitud	y = Temperatura	x.y	x ²
2.170	16,2	35.154,0	4.708.900
1.763	18,6	32.791,8	3.108.169
1.910	17,8	33.998,0	3.648.100
1.631	19,5	31.804,5	2.660.161
1.382	21	29.022,0	1.909.924
S= 8.856	93,1	162.770,3	16.035.254

$$b = \frac{162.770,3 - (5)(1.772,2)(18,62)}{16.035.254 - (5)(3.137.149,4)}$$

$$b = -0,006$$

$$a = 18,62 + 0,006(1.771,2)$$

$$a = 29,2$$

5.7.1.3 Análisis de Regresión

Como se mencionó en el apartado anterior, el análisis de regresión permite *predecir* los valores de y conociendo los valores de x .

¿Cómo se hace el análisis de regresión y cómo se grafican los resultados?

Procedimiento:

- ↳ Habiendo hallado los valores de a y b procedemos a reemplazar los valores x en la ecuación: $y = a + bx$
- ↳ Se grafican sobre el mapa.

Continuando con el ejercicio anterior, se busca hallar los valores de temperatura (y) a partir de las siguientes alturas (x): 1.400, 1.600, 1.800 y 2.000.

Cuando $x = 1.400$

$$y = 29,2 + (-0,006)1400$$

$$y = 29,2 - 8,4$$

$$y = 20,8$$

Para los demás x se procede de la misma forma, con lo que obtuvimos los siguientes resultados:

**Cuadro 5.5** Datos equivalentes entre altura y temperatura

Cuando x es =	y es =
1.400	20,8
1.600	19,6
1.800	18,4
2.000	17,2

No sobra decir, que la calidad de las predicciones depende de la fuerza de correlación entre las variables. Sólo a partir de un coeficiente de correlación óptimo es válido un análisis de regresión, de lo contrario no tiene sentido. Tal optimización está dada por la cercanía del coeficiente de correlación a 1 o a -1. Son pocas las variables cuya correlación es perfecta, no obstante lo que debe buscarse es cierta asociación lógica entre las mismas. Para fines didácticos se tomó un área muy grande, sin embargo debe tenerse en cuenta que el grado de generalización es muy alto. La figura 5.21 corresponde al departamento de Caldas, en este mapa aparecen marcadas las isotermas que según los datos obtenidos en el análisis de regresión, corresponden a una altura definida e identificada por medio de las curvas de nivel.

5.7.2 Las isotermas

Teóricamente son líneas que unen puntos que tienen la misma temperatura, pero técnicamente, es decir en cuanto a su procedimiento de construcción gráfica, se podría decir que las isotermas son líneas de temperatura cuyo trazado depende de la correlación con otras variables (altura, vegetación, vientos...).

Por lo menos para nuestro territorio, la definición de las isotermas está sujeta a generalizaciones y a particularidades, estas últimas de acuerdo a condiciones locales. En el primer caso, se han realizado numerosos estudios con los que se comprueba que la “temperatura varía inversamente y de manera lineal en relación con la altitud”; de esta forma para los Andes Centrales de Colombia, “el gradiente térmico promedio de la temperatura estabilizada del suelo es de $0.55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ y el de la temperatura media anual del aire es de $0.64^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ” (Flórez, 1986).

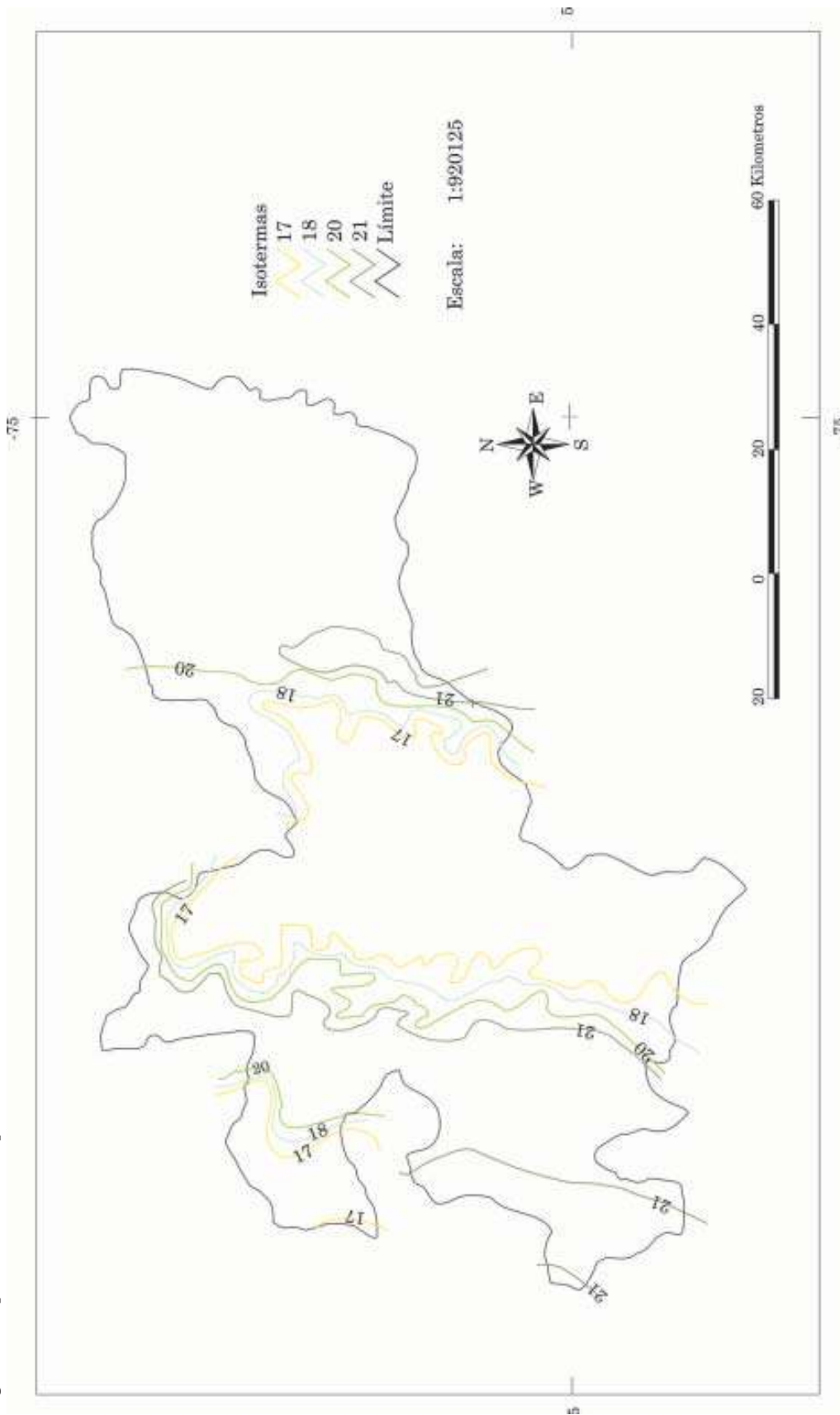
En el segundo caso es conveniente tener en cuenta el comportamiento de la temperatura en función de la vegetación, de la dinámica de los vientos, de las geoformas y de la presencia de cuerpos de agua, entre otros, para los casos locales.

Si bien, no se parte de información puntual, en ambos casos sí se tiene en cuenta la intervención de otro tipo de elementos que le dan mayor rigurosidad a la distribución de este fenómeno sobre el espacio.

Es aquí cuando se hace necesario utilizar herramientas estadísticas y gráficas, como las descritas en la parte inmediatamente anterior, que se constituyen en premapas en tanto funcionan como la base del análisis y localización en el mapa final.



Fig. 5.21 Mapa de Isotermas. Departamento de Caldas



Fuente mapa base: IGAC (1974) Monografía del departamento de Caldas



¿Cómo se trazan las isotermas?

Procedimiento:

Como ya se indicó, en la práctica el trazado de isotermas parte de las predicciones que se pueden hacer a partir de correlaciones y de análisis de regresión. En este caso, el procedimiento sería el siguiente:

- 1 Identificar las variables que al parecer intervienen en el comportamiento de la temperatura.
- 2 Relacionar y/o correlacionar estas variables.
- 3 Aplicar un análisis de regresión con el propósito de predecir la localización de las isolíneas.
- 4 Trazar las isolíneas.

Con el propósito de identificar el funcionamiento de la temperatura del aire y sus variaciones con relación a la altitud o las posibles correlaciones con otros elementos en los Andes colombianos, Flórez (1986) presenta en la figura 5.22 la relación entre la temperatura del suelo y de aire (eje x) con la altitud (eje y), en el transecto Cauca - Magdalena, a la altitud Manizalez - La Dorada. Para tal gráfico se aplicaron varios coeficientes de regresión con el fin de buscar la pertinencia en la relación de variables y su posterior representación gráfica.

Para el trazado de isolíneas y siguiendo la gráfica, se puede comprobar que la isoterma de 18°C, puede marcarse a una altura de 1.700 m.s.n.m. aproximadamente. Sin embargo, el mapa pluviotérmico (figura 5.23), muestra esta isoterma en algunos lugares, un poco desplazada hacia una mayor altitud. Es muy seguro que para el trazado de dicha isolínea, se tuvo en cuenta la acción local de los vientos alisios, debido a que la Cordillera Oriental es más baja en este sector permitiendo directamente su paso hacia la Cordillera Central, lo que ocasiona el desplazamiento de la temperatura. Por ello, para evitar posibles errores en la identificación de isotermas, se aconseja corroborar la ubicación mediante puntos de control correspondientes a las estaciones meteorológicas y si es posible incluir observaciones de campo que puedan definir la incidencia de otros elementos.

Es necesario saber que cuando la variación no es exactamente matemática, porque existen algunas condiciones ambientales que controlan la temperatura, es indispensable recurrir en el trazado de estas isolíneas a cierto nivel de interpretación que permita aclarar el fenómeno.

El estudio de la mayoría de fenómenos no tiene sentido si se hace de manera aislada, por eso los mapas de isotermas sirven no sólo para identificar la variación espacial de la temperatura, son además adecuados para comparar o relacionar esta distribución con la localización de especies animales y vegetales, hacer estudios de rendimiento agrícola en función de la temperatura e identificar aquellos elementos ambientales y humanos que a nivel local y global producen calentamiento o enfriamiento de la Atmósfera.

5.7.3 Las isoyetas - isohietas

Al igual que las isotermas, teóricamente son líneas que presentan el mismo nivel de precipitación, sin embargo, la dinámica funcional de este fenómeno es tan compleja que no son suficientes los recursos técnicos de relación y/o correlación y análisis de regresión, para representarlas gráficamente de manera manual.

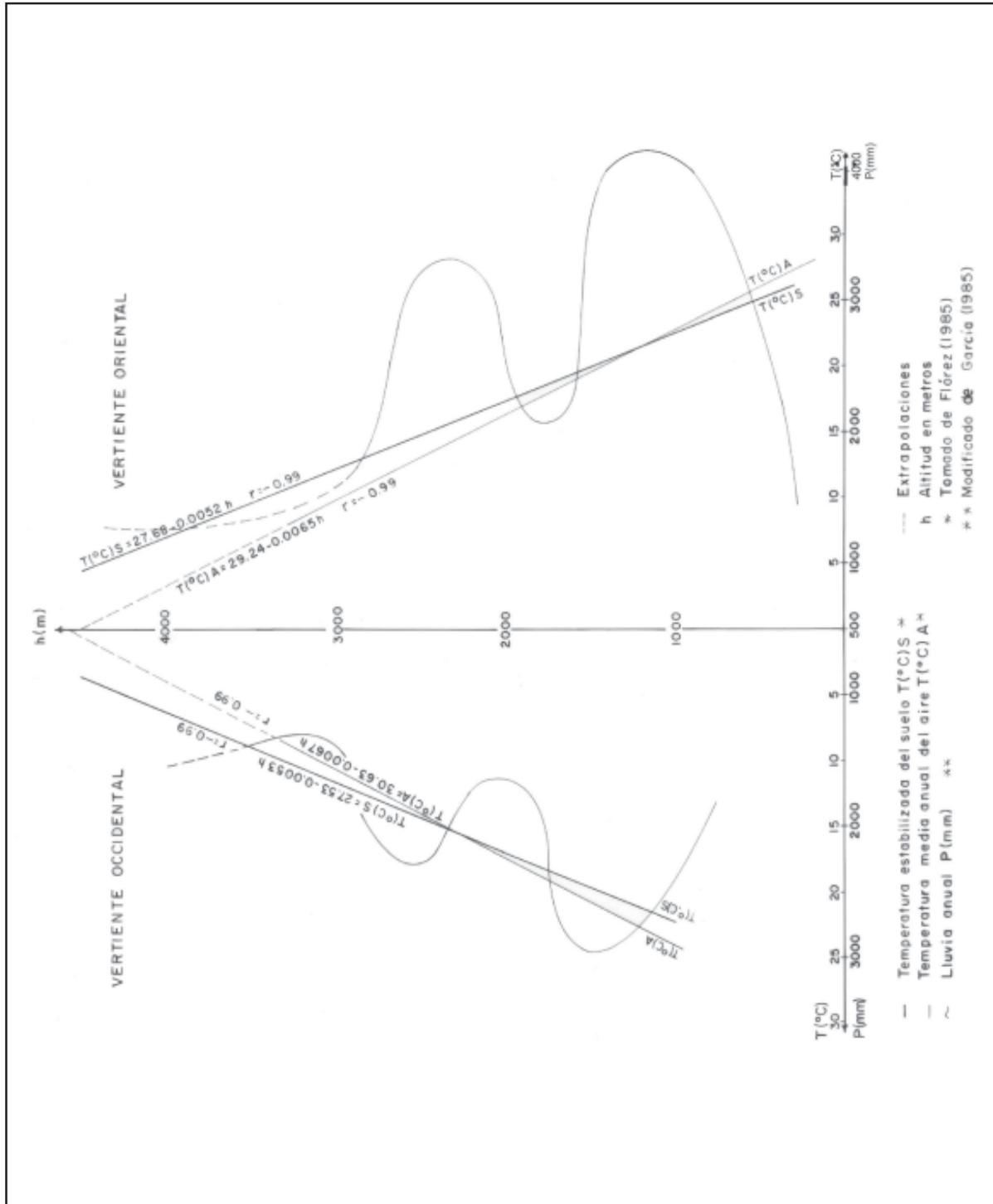
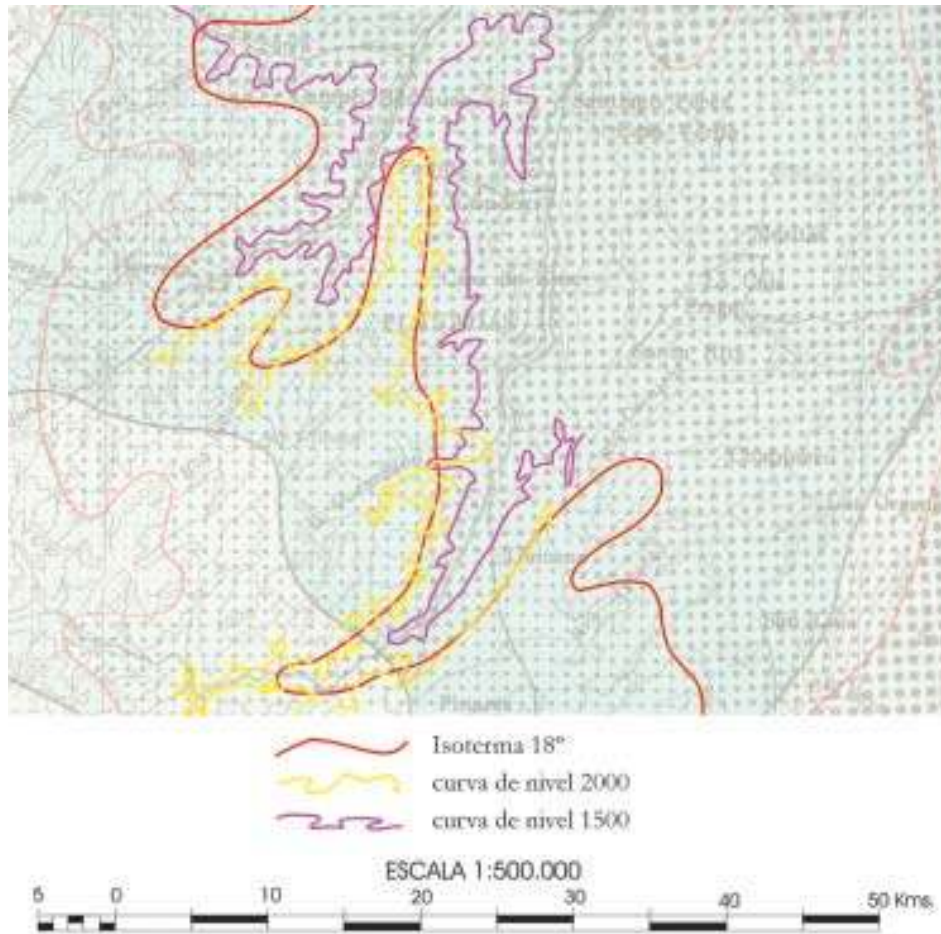


Fig. 5.22 relación de la temperatura y de la lluvia con la altitud

Fuente: Flórez (1985)



Fig. 5.23 Fragmento mapa pluviotérmico. Cuenca del alto magdalena



Fuente: IGAC (1984) Mapa pluviotérmico. Cuenca del alto magdalena



De acuerdo a Alvarez (2001) la espacialización y graficación de las isoyetas presenta varios inconvenientes, entre estos:

- La posición de las estaciones pluviométricas y su incapacidad para registrar otros fenómenos incidentes tales como: el viento, la evaporación, la nieve y la condensación del vapor que afectan la medida pluviométrica y por ende el eventual trazado de isolíneas.
- El tiempo de la medición, para la mayoría de los casos, no es suficiente para hacer un estudio detallado de la variabilidad pluviométrica en función de su intensidad y de su permanencia espacial.
- La lluvia es un fenómeno con una marcada irregularidad espacial lo que exigiría instalar una gran cantidad de estaciones pluviométricas que permitan una buena integración de los datos para explicar su variabilidad y distribución espacial.
- A diferencia de la temperatura, la precipitación no tiene una relación clara con otros fenómenos, como los muestra la figura 5.22. Al correlacionarla con la altitud no es evidente un grado de asociación que permita establecer generalizaciones.
- La precipitación exige varios niveles de análisis para los que sería necesario corroborar información primaria y secundaria.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores, el trazado manual de isoyetas no es tarea sencilla. En este caso “cobran importancia técnicas que nos permitan manejar la distribución espacial de precipitaciones, como el radar y satélite, técnicas de análisis capaces de integrar diferentes tipos de información como los SIG y otras analíticas que trabajen y obtengan las incertidumbres de las estimaciones realizadas, posibilidad relativamente abierta al considerar la aleatoriedad del fenómeno” (Alvarez, 2001) No obstante, el conocimiento de la distribución espacial de las lluvias es importante, según Demey y Pradere (1995), para no sólo comprender sus regímenes, sino “clasificar el espacio geográfico en áreas con patrones agroecológicos similares, estudiar las diferencias entre patrones de precipitación de distintos periodos del año (secos, húmedos, subhúmedos), determinar el mejor diseño de redes para la medición de la precipitación y utilizarlo en técnicas modernas de simulación de rendimiento de cultivos y áreas para la captación de agua de lluvia”.

5.8 Conclusiones de capítulo

Las isolíneas, como herramientas de análisis espacial, permiten identificar la distribución y variación de diferentes fenómenos, determinar sus puntos de quiebre o umbrales y especificar su evolución, además de proporcionar una representación gráfica concreta, capaz de involucrar variables y establecer relaciones en cuanto a la funcionalidad de fenómenos. Su trazado implica ante todo una adecuada interpretación de los mismos, cierta habilidad para aplicar algunos procedimientos que aparentemente son muy dispendiosos, además de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- A pesar de que teóricamente se habla de esta herramienta como líneas que unen puntos de igual valor, tal aseveración no debe ser tomada de manera estricta en tanto no existe una real permanencia espacial de los fenómenos.



- Partiendo de lo anterior, los rangos o superficies entre isolíneas, es decir la isopleta, toma mayor importancia en función de la dinámica del fenómeno pero ello implica especificar los puntos de cambio espacio-temporal, que es la verdadera información que aportan las isolíneas.

- El premapa es una herramienta de apoyo de mucho valor que permite identificar las verdaderas variaciones de fenómenos que no funcionan de manera independiente y para los que se requieren diferentes niveles de análisis.

- Las variables visuales más idóneas para representar un mapa de isopletas son el grano y el valor que siendo aplicables a zonas o áreas, permiten identificar los cambios graduales de un fenómeno.