

5
01059 29.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
DIVISION DE POSGRADO**

**EL CLIMA EN LA CIUDAD DE LA PAZ,
BAJA CALIFORNIA SUR.**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A**

SANDRA MA. GUADALUPE ROBLES GIL MESTRE



MEXICO, D. F.

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

267148



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento, a la Dra. Laura Elena Maderey por sus acertadas correcciones y sugerencias que tuvo a bien realizar como asesora de esta tesis. Asimismo, quiero expresar la gran satisfacción que siento por el tener una maestra como ella, pues en todo momento ha sido un excelente ejemplo no sólo como profesora e investigadora, sino también de calidad humana.

Asimismo, agradezco a la Dra. Marta Cervantes, al M. en Geografía Víctor Manuel Martínez, al Dr. Juan Carlos Gómez y al Dr. Víctor Barradas la revisión que hicieron de mi trabajo, así como sus atinadas observaciones y sugerencias.

También debo un agradecimiento al Dr. Ernesto Jáuregui por las sugerencias que recibí de él en relación al clima urbano.

Por otra parte, quiero agradecer muy profundamente la ayuda que recibí de mis amigos y familiares, que de una manera u otra contribuyeron al desarrollo de este estudio. Entre ellos agradezco: al arqueólogo Fermín Reygadas Dahl, por el apoyo que tuve de él en todo momento y sobre todo por la revisión que hizo de la parte histórica de La Paz, así como todos sus comentarios y sugerencias que, de manera general, fueron de gran utilidad; al biólogo Luis Herrera Gil por la revisión tan detallada que hizo del capítulo de bioclimatología, así como a sus correcciones, sugerencias y al dibujo que realizo de la perspectiva de La Paz; a la doctora Roxana Robles Gil Mestre por la revisión que realizó desde un punto de vista médico al capítulo de bioclimatología, así como por todo el apoyo que de ella recibí en cuestión de trámites universitarios; al geógrafo Moises Espinoza, porque con gran amabilidad me proporcionó bibliografía muy valiosa sobre el clima urbano; al Dr. Saúl Miranda por la base de datos de ciclones tropicales que amablemente me proporcionó; a mis muy queridos amigos Thelma Castellanos y Macario Arredondo por el gran y gentil apoyo que recibí de ellos; a mi esposo Fermín, mi hija Mariana y mi hijo Fermín por su apoyo moral y por su ayuda en los recorridos por automóvil que hicimos en la ciudad, pues sin ella me hubiera sido imposible realizarlos y, por último, también a mi hijo por la medición de los parques de La Paz.

Asimismo, agradezco el apoyo que en todo momento me brindaron el Ing. Pedro Castro Pérez, Gerente Estatal, y el Ing. Adolfo Castillo Mendivil, Subgerente Técnico, de la Comisión Nacional del Agua en Baja California Sur.

RECONOCIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero reconocimiento a todos y cada uno de los observadores meteorológicos que, con tanta dedicación y constancia, han realizado y continúan realizando hora tras hora y día tras día, a través de tantos años, la interminable labor de observar y medir el tiempo atmosférico a todo lo largo de nuestra entidad, nuestro país y nuestro planeta.

Labor que nos ha permitido, en mayor o menor medida, estudiar al clima que, aunque en muchas ocasiones pasa inadvertido, es un recurso natural que juega un papel de vital importancia en el desarrollo de una infinidad de actividades humanas.

**“En Baja California,
no es la tierra la malagradecida;
el ingrato es el cielo.”**

**Ranchero anónimo
(Fernando Jordán, 1950).**

**“Cortés llegó en primavera,
lejos ya de la estación de lluvias, y no vio sino eso.
Acaso un poco más al Norte,
miró escurrir las últimas gotas del río Santiago,
casi perdidas en su brillante hilillo
dentro del lecho inmenso de ese río de verano.
Después, hasta La Paz,
ya no encontró recuerdo alguno del paso de las lluvias,
exceptuando los cauces vacíos
que parecen venir huyendo de la montaña
para refrescar su sed en las saladas aguas del golfo.”**

(Fernando Jordán, 1950).

TEMARIO

INTRODUCCION	1
AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTO	
1. LOCALIZACION Y CLIMATOLOGIA DE LA CIUDAD DE LA PAZ	5
1.1 Localización del área de estudio.	5
1.2 Sistemas atmosféricos.	5
1.2.1 Consideraciones Generales.	5
1.2.2 Sistemas atmosféricos de macroescala.	7
1.2.2.1 Invasión del aire polar. La circulación en el invierno y la primavera.	7
1.2.2.2 La circulación en el verano.	11
1.2.2.3 Ciclones tropicales.	11
1.2.2.4 Monzón de verano en el noroeste.	13
1.2.2.4.1 Surgencias de humedad.	13
1.2.2.4.2 Experimentos Meteorológicos "TRAVASON/SWAMP" y "EMVER-93".	14
1.2.3 Sistemas atmosféricos de mesoescala.	16
1.2.3.1 Viento superficial.	16
1.2.3.2 Brisas de mar y tierra.	22
1.3 Climatología de la ciudad de La Paz.	23
1.3.1 Radiación solar e insolación.	23
1.3.1.1 Consideraciones generales.	23
1.3.1.2 Balance energético y transferencia de calor.	25
1.3.1.3 Altura del Sol.	26
1.3.1.4 Insolación y duración del día.	26
1.3.1.5 Radiación solar.	30
1.3.2 Temperatura.	30
1.3.2.1 Temperatura media.	30
1.3.2.2 Temperatura máxima.	34
1.3.2.3 Temperatura mínima.	40
1.3.2.4 Oscilación térmica.	40
1.3.3 Estabilidad atmosférica.	43
1.3.3.1 Inversión térmica.	43
1.3.3.2 Fenómenos de obstrucción a la visión.	46
1.3.4 Evaporación y humedad.	50
1.3.4.1 Poder evaporante de la atmósfera.	50
1.3.4.2 Humedad.	54
1.3.5 Formas de condensación. Rocío, nieblas y nubes.	54
1.3.5.1 Rocío y nieblas.	57
1.3.5.2 Nubosidad.	57
1.3.6 Precipitación.	63

1.3.6.1	Precipitación anual.	63
1.3.6.2	Índice de sequía o pluviosidad.	63
1.3.6.3	Régimen pluviométrico.	66
1.3.6.4	Frecuencia de días con lluvia e intensidad de la precipitación.	66
1.3.6.5	Origen de la precipitación.	71
1.3.6.6	Contribución de los ciclones tropicales a la precipitación.	72
1.3.6.7	Relación de El Niño-Oscilación del Sur con la precipitación y los ciclones tropicales.	76
2.	URBANIZACION DE LA CIUDAD DE LA PAZ.	79
2.1	Breve reseña histórica de la ciudad de La Paz.	79
2.2	Crecimineto de la ciudad de La Paz.	81
2.2.1	Número de habitantes y crecimiento de la población.	81
2.2.2	Crecimiento de la mancha urbana y densidad de la población.	83
2.2.2.1	Topografía.	83
2.2.2.2	Crecimiento de la ciudad y densidad de población.	83
2.3	Uso del suelo.	88
2.3.1	Áreas verdes.	89
2.3.2	Zonas de riesgo.	90
2.4	Número de viviendas.	90
2.5	Pavimentación y número de vehículos.	91
3.	CLIMA URBANO DE LA CIUDAD DE LA PAZ.	93
3.1	Antecedentes.	93
3.2	Efectos producidos por las zonas urbanas.	93
3.2.1	Sistemas atmosféricos.	94
3.2.2	Composición del aire urbano.	96
3.2.2.1	Fuentes de contaminación y contaminantes.	96
3.2.2.2	Efectos en el flujo de radiación solar.	97
3.2.2.3	Efectos en la visibilidad.	98
3.2.3	La isla de calor en las ciudades.	98
3.2.3.1	Comportamiento térmico de la ciudad de La Paz.	99
3.2.3.2	Tendencia de la temperatura en la ciudad de La Paz.	121
3.2.3.3	Comparación de las temperaturas de la ciudad de La Paz con la de las estaciones rurales.	128
3.2.4	Humedad y precipitación.	137
3.2.4.1	Comparación de la lluvia en la ciudad de La Paz con las estaciones rurales.	139
4.	BIOCLIMATOLOGIA	141
4.1	Consideraciones Generales.	141
4.1.1	Antecedentes.	141
4.1.2	Campo de estudio.	142
4.1.3	El clima y el ser humano.	142
4.2	Factores bioclimáticos.	143
4.2.1	Factores radiativos.	143
4.2.1.1	Rayos ultravioleta.	144

4.2.1.2 Rayos visibles e infrarrojos.	146
4.2.1.3 Balance energético.	146
4.2.1.4 Intercambio térmico del ser humano con su entorno.	147
4.2.2 Respuestas al medio externo.	150
4.2.2.1 Respuestas a un medio frío.	151
4.2.2.2 Respuestas a un medio caliente.	153
4.2.3 Contaminación del aire.	156
4.2.3.1 Efectos de las partículas.	157
4.2.3.2 Efectos del monóxido de carbono.	157
4.2.3.3 Efectos de los compuestos que contienen azufre.	157
4.2.3.4 Efectos de los compuestos que contienen nitrógeno.	158
4.2.3.5 Efectos de los hidrocarburos.	158
4.2.3.6 Efectos de los oxidantes fotoquímicos.	158
4.3 Confort humano.	159
4.3.1 Confort humano.	159
4.3.1.1 Índices bioclimáticos.	160
4.3.1.2 Distribución de la temperatura efectiva en La Paz.	162
4.3.2 Confort en las ciudades.	164
4.3.2.1 Balance térmico de las edificaciones.	164
4.3.2.2 Estrategias en el diseño bioclimático.	164
4.3.2.3 Control bioclimático en las construcciones en La Paz.	169
4.3.3 Efectos de una sobrecarga de calor urbano en la morbilidad y la mortalidad.	172
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	175
5.1 Conclusiones.	175
5.1.1 Climatología de La Paz.	175
5.1.2 Crecimiento de la ciudad de La Paz.	176
5.1.3 Efectos de la ciudad en el clima y en las personas.	176
5.1.3.1 Contaminación.	176
5.1.3.2 Isla de calor.	177
5.1.4 Bioclimatología.	177
5.1.4.1 Bioclimatología urbana.	177
5.2 Recomendaciones.	178
5.2.1 Protección contra la radiación solar.	178
5.2.2 Algunas medidas para evitar las complicaciones por una excesiva carga de calor.	179
5.2.3 Medidas de planificación en las construcciones.	179
5.2.3.1 Control del asoleamiento, color y materiales de construcción.	180
5.2.3.2 Ventilación.	180
5.2.3.3 Vegetación.	181
5.2.4 Otras recomendaciones.	182

ANEXOS.

GLOSARIO.

BIBLIOGRAFIA.

MAPAS, FIGURAS, GRAFICAS, ANEXOS Y TABLAS

184-218

219-222

223-228

INTRODUCCION.

El clima en la Tierra no ha sido siempre el mismo, ha cambiado a través de las diferentes eras geológicas que abarcan los 4,500 millones de años de edad que tiene, aproximadamente, nuestro planeta. Labeyrie (1986) señala que este cambio se debe principalmente a causas de tipo natural resultado, por un lado, de la deriva continental y, en mayor medida, de las variaciones que hay en la excentricidad de la órbita terrestre y en el eje de rotación de la Tierra durante periodos de tiempo de millones y miles de años, respectivamente. Por el otro lado, el vulcanismo y la actividad solar también influyen en las variaciones del clima, sobre todo en periodos de tiempo más cortos.

Además, otra causa posible del cambio climático ha sido el impacto de las actividades del ser humano en el clima. La influencia humana en el clima global y regional comenzó, probablemente, antes de la revolución industrial. Lutgens (1989) menciona que existen evidencias de que los grupos humanos modificaron, desde hace miles de años, el medio donde vivían. Cuando el ser humano se volvió sedentario modificó su medio a través de la agricultura y el sobrepastoreo de las tierras, pues comenzaron a afectar de manera negativa la abundancia y la distribución de la vegetación. Al alterar la cubierta del suelo, se modificaron el albedo, la evaporación y los vientos.

El acelerado crecimiento de las ciudades que ha tenido lugar desde el siglo pasado, ha provocado un gran impacto de la población y sus diferentes actividades sobre el clima, de tal manera que, en un período de pocos años, se ha observado un cambio climático global.

Lutgens (1989) considera que el impacto más notorio del ser humano sobre el clima ha sido la modificación del medio atmosférico de las ciudades debido a la urbanización. Esta situación es resultado de la construcción de casas y edificios, la pavimentación de las calles y la contaminación del aire por las industrias y los automóviles. De tal manera que provocan, en general, un aumento en la temperatura ambiente, creando una isla de calor; un incremento de partículas sólidas en el aire, mismas que reducen la incidencia de radiación solar y la visibilidad; una disminución en la intensidad de los vientos y en la humedad relativa; y un aumento de precipitación y de tormentas eléctricas, entre otros fenómenos.

El presente trabajo se realizó en base a la información meteorológica registrada en el Observatorio Meteorológico de La Paz. El registro de la mayoría de los elementos meteorológicos, se encuentra disponible desde el año de 1921 hasta la fecha (77 años), sobre todo lo que se refiere a promedios mensuales de elementos como, la temperatura media, la máxima y la mínima, la tensión del vapor, la nubosidad, la precipitación y la frecuencia de días con lluvia, entre otros. En cuanto a los datos diarios y horarios no se tiene información de tantos años, sólo a partir de 1982 en que el Servicio Meteorológico Nacional estableció una forma de registro diferente; de ahí que, ciertos parámetros como la frecuencia de días consecutivos con más de 30° C y la frecuencia de intensidades de lluvia, sólo se tienen desde ese año.

Por otro lado, existen algunos elementos cuyas series están incompletas, razón por la cual no están disponibles desde 1921, entre estos se tienen la humedad (1941-1997), la insolación (1971-1997), la evaporación (1981-1997) y el registro visual de ciertos meteoros como la bruma, el polvo, el

rocío y la niebla (1992-1997).

Cabe señalar que hay elementos como el viento en superficie, la temperatura y el viento en altura, que cuentan con un gran cúmulo de datos, por lo que se tomaron períodos de tiempo más cortos que se consideran representativos. Además, otros parámetros como la radiación solar (1993-1997) tienen series muy cortas de tiempo porque son de reciente medición.

Para realizar las comparaciones de temperatura y precipitación de La Paz con otras estaciones, se tomó la información correspondiente de las estaciones climatológicas de La Paz (1974-1997), San Pedro (1952-1997), El Cajoncito (1965-1997) y Bonfil (1978-1997). La temperatura media del Observatorio de La Paz, para dichas comparaciones, se llevó a cabo de la misma manera que se calcula en las estaciones climatológicas, es decir, se hace una resta entre la temperatura máxima y la temperatura mínima diarias y el resultado se divide entre dos. Pero para la temperatura media mensual y anual, el promedio fue de las veinticuatro horas de observación diarias.

La Organización Meteorológica Mundial, ha establecido ciertas normas para la instalación de las estaciones meteorológicas y de sus aparatos. Es importante señalar que, al instalar una estación existen algunos factores, como el relieve, la vegetación, las construcciones o la disponibilidad de un terreno, que pueden impedir que se cumplan esas medidas con exactitud; o bien, el crecimiento de la ciudad puede alterar la situación original.

El Observatorio Meteorológico de La Paz no ha ocupado siempre el mismo sitio geográfico. En el capítulo 3, se mencionan las diferentes ubicaciones que ha tenido dentro de la ciudad. Este observatorio se encuentra, desde julio de 1989, en las instalaciones de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Fomento Rural. Está en un terreno descubierto de aproximadamente 1,400 m². Hacia el este y noreste, a unos 60 m, se encuentra el edificio de la S.A.G.A.R. que tiene dos pisos; hacia el sur y suroeste, a unos 30 m, hay casas de un piso que se empezaron a construir en 1993 y que, poco a poco, a algunas de ellas les han construido un segundo piso; al norte y oeste, hay una cancha de fútbol. Se considera que, el único aparato meteorológico que se encuentra significativamente obstaculizado, es el heliógrafo pues el edificio de la S.A.G.A.R, ubicado al oriente, impide que la tira heliográfica sea quemada desde que el Sol sale del horizonte; y algunas casas en el suroeste, también obstaculizan el heliógrafo cuando el Sol se va a poner.

La importancia de este estudio estriba en permitirnos, por un lado, conocer las condiciones meteorológicas y climatológicas de la ciudad de La Paz y, por el otro, en apreciar el impacto del crecimiento de la población y de la mancha urbana en los últimos 30 años. De tal forma que podemos observar que la temperatura en la ciudad se ha incrementado tanto en el tiempo como en el espacio. Y con el cálculo del índice de la temperatura efectiva a lo largo del día y del año, se pueden determinar los períodos de estrés y de confort bioclimáticos. Esto es con el fin de que se lleven a cabo ciertas medidas y recomendaciones útiles para disminuir o sobrellevar de una mejor manera la carga de calor durante el verano. Y de esta manera evitar ciertos riesgos que pueden provocar algunas enfermedades relacionadas al exceso de calor.

Dichas recomendaciones están dirigidas no sólo a las personas de manera particular, sino también a los urbanistas, arquitectos, médicos y políticos, pues solamente si se trabaja en conjunto se puede alcanzar el bienestar y la salud de las personas de una ciudad como La Paz que, además de presentar una situación natural de sobrecarga de calor en el verano, ésta se ve agravada por el calor que emiten algunos elementos urbanos.

En el primer capítulo, se distinguen los principales sistemas atmosféricos que afectan la zona de estudio, desde los de escala global hasta los de macro y mesoescala. Por otro lado, se describen algunos elementos que componen la climatología de la ciudad de La Paz.

En el segundo capítulo, se observa como ha sido el crecimiento de la población y de la ciudad de La Paz desde el siglo pasado. En la tercera parte, se analiza el efecto que tiene ese crecimiento principalmente en la temperatura, y se estima la magnitud de su cambio tanto en el tiempo como en el espacio, mediante el análisis de datos de 47 años y de comparaciones con algunas de las estaciones climatológicas rurales vecinas. Además, en base a una serie de recorridos en automóvil realizados a diferentes horas del día y en diversas épocas del año, se determina el comportamiento de la temperatura y del viento en diferentes puntos de la ciudad.

En el cuarto capítulo, se distinguen los factores bioclimáticos que más afectan a la población de la ciudad de La Paz, como los radiativos y los térmicos. Por otro lado, en base a la temperatura efectiva, que relaciona la temperatura ambiente con la humedad relativa, se diferencian los períodos de confort y de estrés bioclimáticos para La Paz. Asimismo, se analizan los efectos que tiene una sobrecarga de calor urbano en la morbilidad y mortalidad.

En la última parte, se exponen las principales conclusiones de los capítulos anteriores. Además, se señalan algunas recomendaciones para mitigar la sobrecarga de calor en la ciudad de La Paz. Estas sugerencias abarcan desde principios de planificación urbana, medidas que se deben de tomar en cuenta en las construcciones, la reforestación de parques, banquetas y casas, hasta consejos personales para la población.

I. LOCALIZACION Y CLIMATOLOGIA DE LA PAZ

1.1 Localización del área de estudio.

La ciudad de La Paz se localiza en 24° 10' latitud norte, 110° 19' longitud oeste y a 18.5 metros sobre el nivel del mar. Asimismo, se encuentra ubicada en una llanura costera que forma parte del Istmo de La Paz y que constituye la zona más estrecha de la península de Baja California (Mapa 1).

El puerto de La Paz se encuentra bañado, hacia el noroeste, oeste y suroeste, por las aguas de la bahía y de la ensenada que llevan su mismo nombre y que están separadas por una pequeña península llamada El Mogote. La ciudad limita hacia el noreste, este y sureste con varios cerros, como el San Juan, Atravesado y Agua Escondida que alcanzan más de los 200 metros sobre el nivel del mar y forman parte de la sierra de La Cacachila, también conocida con el nombre de Los Novillos. Esta sierra se extiende, de noroeste a sureste, a lo largo de la península de Trincheras, misma que separa a la ciudad de La Paz del golfo de California. Los picos más altos de dicha sierra, el Puerto y el Llano, sobrepasan los 1,000 m.s.n.m. y se encuentran a unos 15 kilómetros al este de la ciudad. Por último, hacia el sur y sursuroeste de la ciudad, se extienden los llanos de La Paz que forman parte del Istmo de La Paz.

1.2 Sistemas atmosféricos.

1.2.1 Consideraciones Generales.

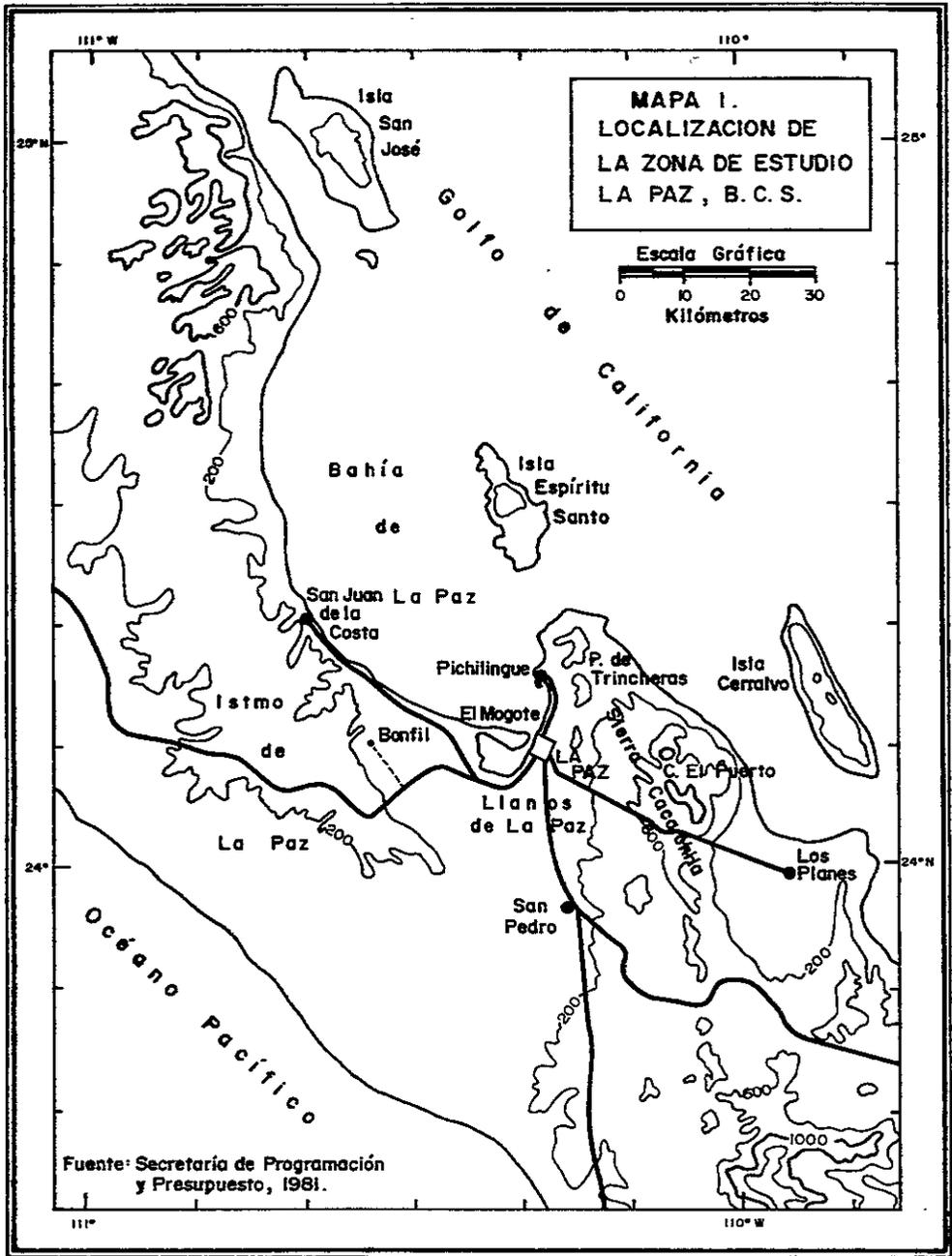
En la atmósfera tienen lugar fenómenos que abarcan una gran amplitud de escalas en el tiempo y en el espacio. La escala temporal está determinada por el periodo de duración del fenómeno meteorológico y la escala espacial por su tamaño o longitud de onda. Dichos fenómenos, pueden ser desde pequeñísimos remolinos de aire hasta corrientes de chorro que se encuentran rodeando a la Tierra (Oke, 1987).

Revisando las clasificaciones de los fenómenos atmosféricos de la O.M.M. (1979a), Oke (1987) y Cermak *et al.* (1995), se pudo observar que existen algunas discrepancias en los límites de las escalas. Oke (1987) considera que la razón de dichos desacuerdos se debe a que estos fenómenos no están aislados, si no que forman parte de un *continuum*.

En este trabajo se toma la clasificación de la O.M.M. (1979a) que, divide a los fenómenos meteorológicos en cuatro grupos: la escala global o hemisférica, los fenómenos sinópticos de macroescala, los sistemas meteorológicos de mesoescala, y por último, los fenómenos meteorológicos de microescala.

Los sistemas globales o hemisféricos abarcan los procesos y fenómenos que pueden ser tan grandes como la misma atmósfera (escala horizontal de 10^4 km a Globo, y escala vertical de 20 km a 100 km), y cuya duración es de una semana o más. Dentro de éstos, se encuentran los cambios de estación, los cinturones de viento, las zonas frontales de la circulación general y los intercambios radiativos de energía con el espacio.

Los fenómenos sinópticos o de macroescala se producen sobre una gran región, como puede ser un continente o un país grande (escala horizontal de 100 km a 10^4 km, y escala vertical de 1 km a 20 km), y su duración va de doce horas a una semana, aproximadamente. Dentro de estos sistemas regionales están los monzones, los ciclones tropicales, las depresiones móviles y sus sistemas frontales, las ondas del este.



Los sistemas meteorológicos de mesoescala son procesos de carácter local que abarcan áreas mayores de un kilómetro (escala horizontal de 1 km a 100 km, y escala vertical de 10 m a 1 km), con un período de tiempo de una a doce horas. Entre estos fenómenos destacan las tormentas, los tornados y las brisas de mar y tierra.

Por último, los fenómenos meteorológicos de microescala son los que suceden dentro del alcance visual de una persona de pie y se producen en áreas generalmente menores a un kilómetro de extensión (escala horizontal de 1 mm a 1 km, y escala vertical de 1 mm a 10 m). Abarcan, entre otros aspectos, las condiciones ambientales de espacios pequeños de áreas urbanas y rurales, como pueden ser las diferencias de calentamiento entre las fachadas opuestas de un edificio, la evaporación del agua de un estanque, la turbulencia mecánica originada por un grupo de árboles y los "diablitos".

El tiempo atmosférico y el clima de un sitio están determinados por los sistemas meteorológicos a diferentes escalas que se manifiestan en ese lugar. Es importante mencionar que, en un momento dado, los resultados de los sistemas meteorológicos de diferente escala provocan que un cierto proceso domine sobre otro. De tal manera que, los procesos de una escala más pequeña no se manifiestan claramente si existe una fuerte actividad en una escala mayor como, por ejemplo, la circulación de una brisa de mesoescala no se puede desarrollar completamente durante el paso de un sistema de macroescala, como puede ser un frente o un ciclón tropical.

1.2.2 Sistemas atmosféricos globales (hemisféricos) y sinópticos de macroescala.

Las diferencias de temperatura entre las regiones polares y las tropicales determinan presiones atmosféricas desiguales, que provocan el movimiento del aire e influyen en el clima de los diferentes lugares, al transportar aire frío o caliente, húmedo o seco de una región a otra.

Por su latitud, La Paz se encuentra localizada dentro del cinturón subtropical de alta presión que origina una subsidencia del aire, ésta provoca un calentamiento adiabático y favorece un tiempo estable y seco. Debido a las diferentes estaciones del año y a la distribución de tierras y mares, se forman dos centros de alta presión que influyen en la circulación atmosférica de esta región, el anticiclón del Pacífico septentrional al oeste, y el anticiclón de Bermudas Azores al este (Maderey, 1975). El golfo de California, como menciona Hernández (1989), es un área de relativa baja presión o canal isobárico que, se encuentra entre estos dos centros anticiclónicos que predominan alternativamente a lo largo del año y que determinan el clima de la región.

Durante el verano y parte del otoño, las tormentas, los ciclones tropicales y el monzón, constituyen otros sistemas atmosféricos de macroescala que afectan las condiciones meteorológicas y el clima de La Paz.

1.2.2.1 Invasión del aire polar. La circulación atmosférica en el invierno y la primavera.

Durante el invierno y la primavera, cuando la zona intertropical de convergencia se desplaza hacia el sur, la zona subtropical de alta presión también se desplaza hacia latitudes más bajas, por lo que, La Paz queda bajo la influencia de los vientos predominantes del oeste del anticiclón del Pacífico septentrional (Mapa 2). Estos vientos, se manifiestan sobre los subtropicos en las capas altas de la troposfera (Mosiño y García, 1974) y, frecuentemente, contienen la corriente de chorro subtropical que alcanza su posición más austral, misma que afecta estas latitudes desde el mes de octubre hasta mayo. Esta corriente, llamada también de vientos máximos, se puede apreciar en las Figuras 1 y 2 (12 y 00

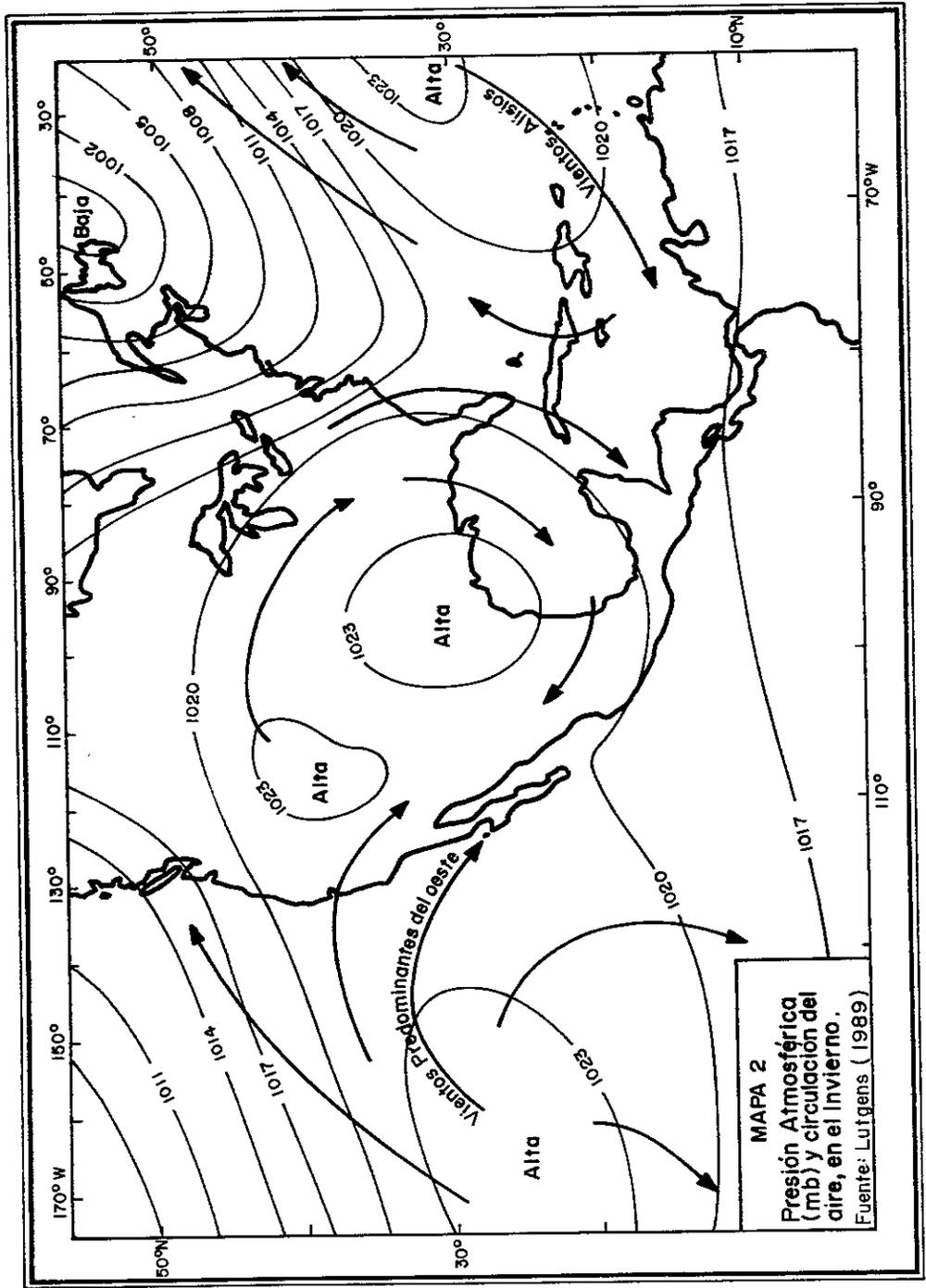
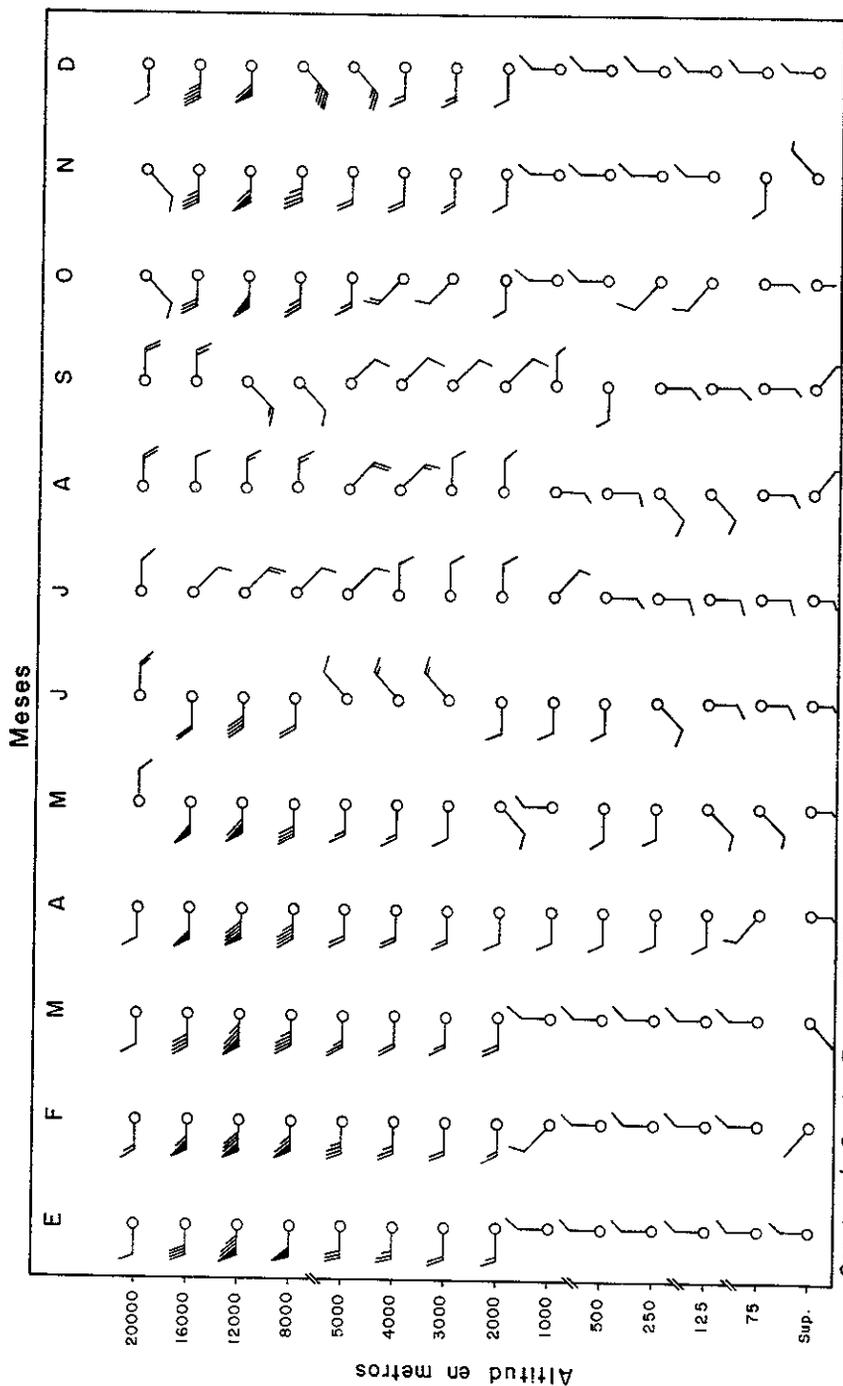
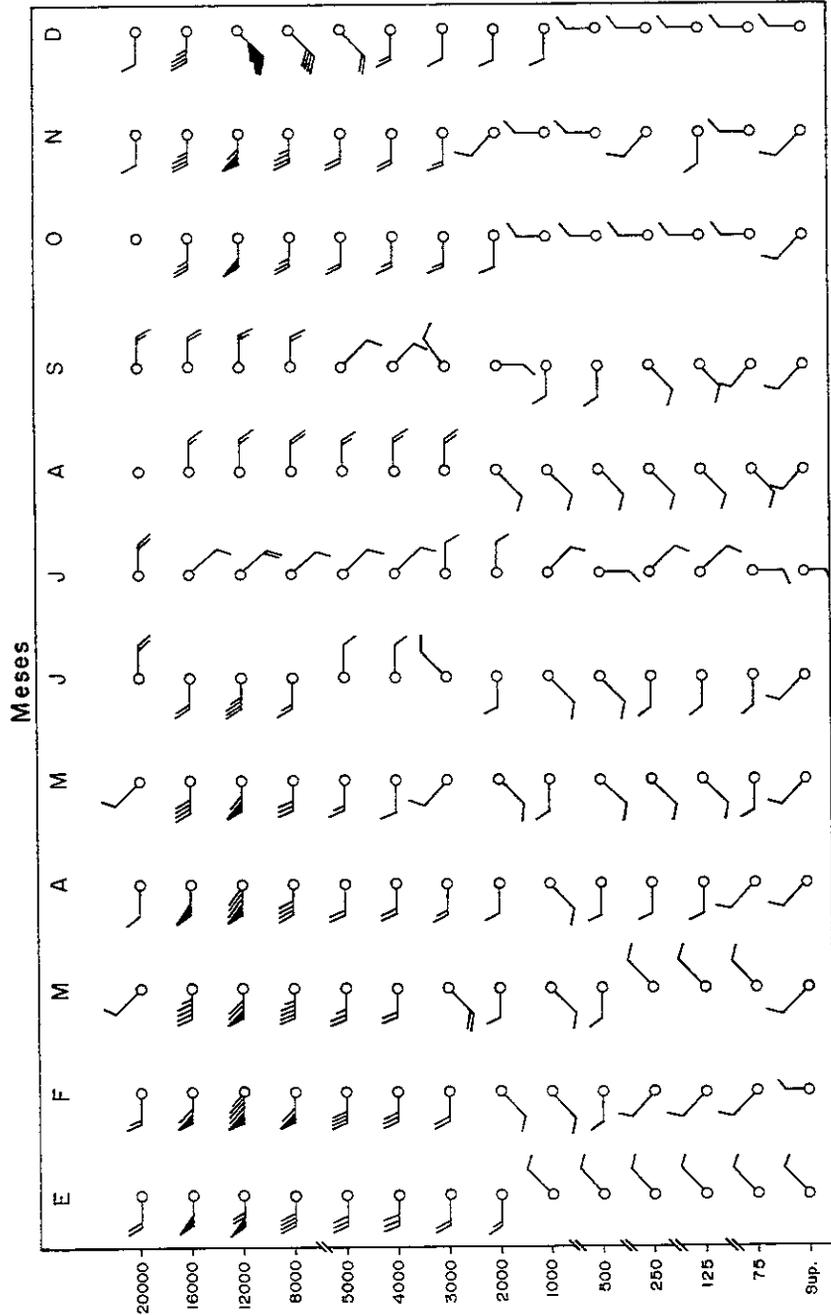


Fig. 1 Velocidad y Dirección del Viento (NUDOS)
 La Paz, B.C.S. 12 horas T.M.G., 1993.



Construyó: Sandra Robles Gil M.

Fig. 2 Velocidad y Dirección del Viento (NUDOS)
 La Paz, B. C. S. 00 horas T.M.G., 1993.



Construyó: Sandra Robles Gil M.

horas T.M.G.)¹, en los meses anteriormente mencionados, a una altura aproximadamente de 12,000 metros. La corriente de chorro, por lo general, favorece la propagación de nubes altas y medias en la región y, en ocasiones, cuando interacciona con otros sistemas puede provocar lluvias.

Los vientos predominantes del oeste, también, traen algunas de las perturbaciones propias de las latitudes medias, como son los vórtices subtropicales fríos que se forman por la estrangulación de las vaguadas polares y que se mueven lentamente desde el Pacífico (Mosiño, 1974). Estos vórtices forman, en su parte delantera, los frentes fríos que originan la mayor parte de la precipitación en la vertiente occidental de la península hasta una latitud aproximada de 27° (Jáuregui y Cruz, 1980). En algunas ocasiones, estos sistemas frontales llegan más al sur y al oriente, provocando, además de un descenso de temperatura, las lluvias invernales llamadas "equipatas" en esta región.

1.2.2.2 La circulación atmosférica en el verano.

En el verano, el anticiclón del Pacífico septentrional se mueve hacia el noroeste (Mapa 3), por lo que La Paz queda bajo la influencia de los vientos alisios del anticiclón Bermudas Azores que aumenta en intensidad, latitud y altura (Mosiño y García, 1974). Estos vientos, que soplan con una componente del este, se aprecian en las Figuras 1 y 2 principalmente en los meses de julio, agosto y septiembre, a una altitud por encima de los 1,000 metros. Maderey (1975) señala que, los vientos alisios "no se manifiestan claramente en superficie por el efecto del relieve continental situado al oriente". Además, se ven debilitados por el bloque que origina la vaguada que permanece en el golfo de México, la cual reduce las posibilidades de llegada de aire húmedo, en el verano, al noroeste del país (Jáuregui 1975).

Sin embargo, la zona intertropical de convergencia que se localiza en el verano frente a las costas mexicanas del Pacífico provoca, en ocasiones, desprendimientos nubosos como las ondas del este² y los ciclones tropicales que se forman en el seno de los alisios, y que llevan humedad y precipitación hasta el golfo de California.

1.2.2.3 Ciclones tropicales.

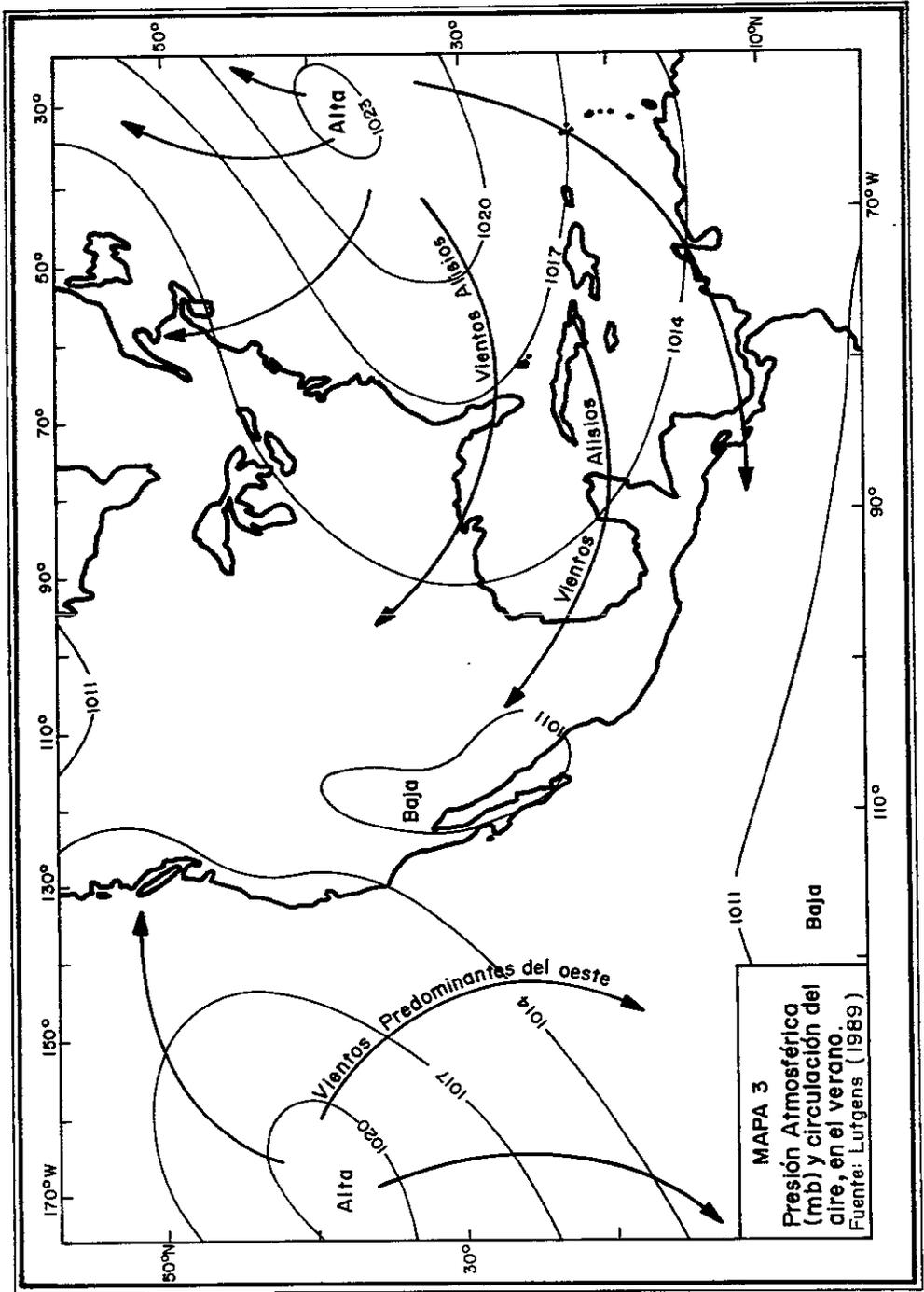
El Pacífico nororiental es una de las zonas del mundo con mayor incidencia ciclónica. En esta región, se presentan en promedio 14 ciclones tropicales al año que representan aproximadamente el 17.8% mundial.

Rosengaus y Sánchez-Sesma (1990) señalan que los ciclones tropicales son una manifestación de la gran concentración de energía que hay, cerca del ecuador, en las aguas superficiales oceánicas y las capas bajas de la atmósfera; y que sirven como válvula de escape y mecanismo de transporte de dicha energía hacia latitudes más altas. Estos autores definen a los ciclones tropicales como "vórtices de eje vertical con un flujo inferior convergente y uno superior divergente".

Los ciclones tienen su origen en algunas perturbaciones tropicales como son la zona intertropical de convergencia o las ondas del este. Se presentan desde fines del mes de mayo, cuando la zona intertropical de convergencia se desplaza hacia el norte del ecuador, hasta el mes de noviembre, cuando el ecuador térmico se desplaza hacia el sur. Su formación está asociada a temperaturas superficiales del mar superiores a 27° C, y a la fuerza de desviación de Coriolis, que provoca que el flujo convergente adquiera un movimiento positivo o ciclónico.

¹ Tiempo Meridiano de Greenwich. En meteorología sinóptica también se le denomina hora Z. La hora oficial de La Paz está "atrasada" siete horas con respecto de Greenwich.

² También conocidas como ondas tropicales.



Alrededor del centro del ciclón, que es más seco y el aire está relativamente en reposo, existe una zona anular donde convergen las corrientes superficiales y se producen fuertes lluvias y flujos ascendentes; es en esta área donde se presentan los vientos más intensos. Además, el flujo convergente suministra calor al centro, a través del calor latente que libera el vapor de agua al condensarse, y este calor asegura el flujo de energía para que continúe la existencia del fenómeno (Rosengaus y Sánchez-Sesma, 1990).

La trayectoria que siguen los ciclones tropicales en las latitudes bajas es, por lo general, hacia el oeste y cuando se localizan en latitudes mayores de 25° tienden a moverse al este. Los ciclones tropicales pierden fuerza cuando se mueven a aguas más frías o, también, cuando tocan tierra y, sobre todo, cuando en ésta se encuentran con alguna barrera montañosa. En esta región, la corriente de California, que corre paralela a la costa desde California (Estados Unidos) hasta la península de Baja California, contribuye, por ser una corriente de agua fría, a desviar o debilitar los ciclones tropicales. De ahí que, en el Pacífico nororiental éstos no alcanzan latitudes tan altas como lo hacen los ciclones tropicales en el Atlántico o en el Pacífico noroccidentales, en donde las corrientes marítimas son cálidas.

Los ciclones tropicales afectan más las costas del país durante los meses de septiembre a noviembre, cuando la presencia de una vaguada polar profunda induce a que se desvíen hacia el este y entren a tierra (Mosíño y García, 1974).

Según Serra (1971), la península de Baja California es la región del Pacífico mexicano más afectada por los ciclones tropicales, ya que presenta una probabilidad de 0.46 al año de que un ciclón tropical entre a tierra, y una probabilidad de 0.97 al año de que el centro del ciclón pase a 200 millas náuticas (370 km) de sus costas. Hernández y Cerna (1994) señalan que la porción sur de la península es la más afectada, ya que de un total de 633 ciclones registrados entre 1949 y 1993, 283 ciclones tropicales recurvaron hacia territorio nacional y 73 (25.7%) afectaron a Baja California Sur, lo que la clasifica en una zona ciclónica de muy alto riesgo.

1.2.2.4 Monzón de verano en el noroeste de México.

1.2.2.4.1 Surgencias de humedad.

El calentamiento que tiene lugar durante el verano en el noroeste de México, origina una baja presión en el norte de Sonora. Los vientos que convergen a esa baja presión de origen térmico, no producen necesariamente la formación de nubes o precipitación, pues el aire en esa zona es muy seco (Jáuregui y Cruz, 1980).

El golfo de California es un canal natural que se encuentra delimitado al oeste, por las sierras de la península de Baja California y al este, por las laderas de la Sierra Madre Occidental (Pérez, 1988). En el verano, la zona intertropical de convergencia, que se encuentra en su máxima latitud boreal frente a las costas de Guerrero y Chiapas, provoca desprendimientos nubosos que pueden llegar hasta la boca de este golfo. Cuando estos desprendimientos precipitan, producen un enfriamiento de la masa de aire por debajo de la nube que provoca un gradiente térmico acentuado, con lo que se forma una surgencia de aire fresco y húmedo que viaja con una dirección normoroeste a lo largo del golfo, hacia las áreas más cálidas de la baja térmica del norte de Sonora. Conforme avanza, esta surgencia se calienta y se vuelve inestable, inestabilidad provocada también por el levantamiento orográfico que tiene lugar al subir el aire por las laderas de las montañas, en ambas vertientes que dan al golfo de California. Esto origina un gran desarrollo de nubes convectivas que provocan fuertes lluvias en la región. El mayor desplazamiento de la masa de aire es sobre el mar, porque la fricción en el agua es mucho menor que

sobre tierra; de esta manera, el golfo actúa como un canal que, permite que la influencia del fenómeno se extienda hasta California y Arizona, donde produce, por el cambio drástico de aire cálido y seco al húmedo, violentos aguaceros en esa región (Jáuregui y Cruz, 1980).

Se considera que las surgencias de humedad pueden ser un mecanismo del monzón de verano que tiene lugar en el noroeste de México.

1.2.2.4.2 Experimentos meteorológicos "TRAVASON/SWAMP" y "EMVER-93".

Con el propósito de conocer, más ampliamente, el origen de las lluvias durante el monzón de verano en el noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos de América, se llevaron a cabo dos experimentos entre ambos países.

El primer experimento, fue el proyecto conjunto "Transporte Atmosférico de Vapor de Agua y su relación con el campo de precipitación de verano en el desierto SONoreñse" (TRAVASON) y el "SouthWest Area Monsoon Project" (SWAMP) que se realizó en el verano de 1990; y el segundo fue el "Experimento Meteorológico del VERano de 1993" (EMVER-93).

Experimento "TRAVASON/SWAMP".

Dentro de los principales objetivos de este proyecto, estuvieron el estudio de los mecanismos de escala sinóptica que controlan el flujo de humedad en esta región durante el verano; el estudio de los sistemas convectivos de mesoescala en la Sierra Madre Occidental y el Desierto Sonorense; y el estudio de los sistemas de tormentas convectivas en la región central de Arizona (Reyes *et al.*, 1994). Estos, se realizaron para tener una mejor comprensión del fenómeno de las lluvias y, de esa manera, lograr una mejor planeación y una mayor eficiencia de las actividades socioeconómicas y políticas de México y Estados Unidos de América, en esta región.

Anteriormente a estos experimentos, Reyes *et al.* (1994) mencionan que, las primeras explicaciones sobre el origen de las lluvias de verano en el noroeste de México, estaban asociadas al flujo de aire proveniente del golfo de México; pero que, esa idea ha ido perdiendo fuerza, y que más recientemente, se ha sugerido que, gran parte de la humedad de verano tiene su origen, también, en el océano Pacífico tropical.

Con el experimento TRAVASON/SWAMP, se ha identificado mejor la circulación atmosférica de la región. En superficie, se detectó una circulación monzónica de vientos del este provenientes del golfo de México, y vientos del suroeste provenientes del Pacífico tropical; ambos convergiendo en la Sierra Madre Occidental e indicando que en los niveles superficiales el Pacífico tropical es una importante fuente de humedad para la precipitación en el verano. En los niveles medios domina en esa región, un flujo del este y sureste; y en los niveles superiores, solamente, se presenta el flujo del este, lo que indica que en estos niveles, la principal fuente de humedad hacia el noroeste es la proveniente del golfo de México y del Atlántico, aunque en estos niveles los alisios son más bien secos (Reyes *et al.*, 1994). La dirección de estos flujos se puede apreciar en las Figuras 1 y 2.

Este experimento, logró identificar las surgencias de humedad³ con vientos del sur, a lo largo del golfo de California, mismas que se relacionan con las lluvias en Arizona. Algunos de los resultados de dicho experimento, "fortalecen la idea de que un considerable porcentaje de humedad proviene de procesos convectivos de transporte vertical sobre el golfo de California. Aún no es claro cuánta humedad proviene de la evaporación del golfo de California y cuánta es transportada desde el Pacífico tropical" (Reyes *et al.*, 1994).

³ Douglas (1993) menciona que a estas surgencias, los previsores del tiempo en Arizona les llaman *Gulf surges*.

Douglas (1993) señala que, las imágenes de satélite muestran, durante la temporada del monzón, grandes concentraciones de nubes convectivas sobre la Sierra Madre Occidental que producen fuertes precipitaciones, principalmente sobre la vertiente poniente de la sierra. Asimismo, considera que, en base a los datos de lluvia, el monzón mexicano abarca un área muy grande del noroeste del país.

En relación a la precipitación, Reyes *et al.* (1994), señalan que algunos investigadores (Namias, 1940, Reitan, 1957; y Tuller, 1968) estudiaron la evolución del campo mensual de agua precipitable y detectaron el desarrollo de una lengüeta de humedad que entra desde el Pacífico tropical hasta el noroeste de México y suroeste de Estados Unidos de América. En dicha evolución, se aprecia un fuerte contraste entre el mes de junio que presenta valores bajos de humedad, y los meses de julio, agosto y septiembre, cuando se alcanzan valores más altos de agua precipitable. Señala también, que trabajos recientes (Reyes y Cadet, 1986; Tang y Reiter, 1984; Hasimoto y Reyes, 1988) han demostrado que en junio, el occidente de México, está dominado por una circulación divergente, mientras que en julio y agosto se presenta una convergencia.

Experimento "EMVER-93".

En el noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos de América, es muy común, durante el verano, la formación de sistemas convectivos de mesoescala (Farfan y Zehnder, 1993). Los sistemas convectivos de mesoescala (S.C.M.), describen un grupo de nubes con un cierto grado de organización, teniendo una escala horizontal de cientos de kilómetros y una vida de algunas horas.

El establecimiento de la temporada de tormentas en esta región, ocurre cuando los vientos secos, predominantes del oeste, presentes durante el invierno y la primavera, son sustituidos por los vientos que traen afluencia de aire marítimo tropical. Este cambio estacional en los vientos dominantes se conoce como el monzón de Norteamérica o monzón de Arizona.

Farfan y Zehnder (1993) observaron en general que, los sistemas convectivos de mesoescala se originan por la tarde en la sierra Madre Occidental, se mueven hacia el oeste y se disipan ya avanzada la noche en la parte occidental del golfo de California. Estos sistemas se clasifican según la velocidad de su desplazamiento en S.C.M. en propagación, cuando en un periodo de 6 horas se trasladan más de 100 km; y en S.C.M. estacionarios, cuando en 6 horas su movimiento es menor de 100 km.

Los investigadores también observaron que, los S.C.M. en propagación, se originan en sitios localizados de manera uniforme, desde el sur de Arizona hasta el sur del golfo de California, mientras que la mayoría de los S.C.M. estacionarios, se forman cerca del sur del golfo. Además, observaron que, una vez que cesa la convección en estas tormentas estacionarias, permanece una circulación ciclónica en niveles bajos.

El viento en superficie en las estaciones localizadas al oeste de la sierra Madre Occidental, sopla hacia la sierra misma, esto sugiere que el origen de las nubes convectivas y de los sistemas más organizados se debe a la convergencia del aire sobre las montañas, y que debido al calentamiento diurno se ve obligado a subir por la ladera poniente de la Sierra Madre Occidental.

Los sistemas en propagación ocurren cuando, en los niveles medios y superiores, el viento es fuerte y sopla del este. De ahí que se concluya que el modo dominante de la propagación es la simple advección.

Los S.C.M. estacionarios tienen lugar cuando dominan en el norte de la región, los vientos débiles del este y, en el sur del golfo de California, los vientos del oeste. El lento movimiento de estas tormentas favorece la formación de fuertes lluvias locales.

Douglas (1993) menciona que, en el verano los períodos húmedos son tan importantes como los ocasionales períodos secos. Y que mientras el SWAMP-90 fue inusualmente húmedo, el EMVER-93 se caracterizó por algunos períodos secos.

1.2.3 Sistemas atmosféricos de mesoescala.

El movimiento horizontal del aire es causado por las variaciones de presión que son resultado del calentamiento diferencial de la superficie terrestre o bien, por factores dinámicos en la atmósfera misma. Este movimiento es de gran importancia en el balance energético e hidrológico porque puede provocar el transporte de aire cálido o frío, húmedo o seco de una región a otra.

La dirección y la velocidad del viento, están determinadas principalmente por el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis. Pero dentro de la capa límite, aproximadamente hasta los 1,000 metros de altitud en la zona de estudio, el movimiento del aire también está modificado por la rugosidad del suelo, la naturaleza de la superficie y las fuentes de calor. El efecto de rozamiento es mayor cerca del suelo, donde el viento sopla sobre una superficie rugosa y puede producir turbulencia. Este efecto se reduce rápidamente con la altura hasta que desaparece al final de esta capa límite.

En las Figuras 1 y 2, se observa un cambio notorio en la dirección del viento a partir de los 1,000 metros aproximadamente, que corresponden a la capa límite. Asimismo, se aprecia que la intensidad del viento es mayor conforme se pasa esa altitud, sobre todo en los meses de invierno y primavera cuando la corriente de chorro subtropical se desplaza hacia estas latitudes.

La circulación superficial del aire en La Paz, está influida principalmente, por factores locales como son la orografía y la cercanía al mar. Pero, también, se ve afectada por los sistemas meteorológicos de macroescala como son los frentes fríos, el monzón de verano y los ciclones tropicales.

1.2.3.1 Viento superficial.

El análisis del viento en La Paz, se hizo a partir de las rosas de los vientos (Anexos 1 a 12 y Figuras 3 a 6). Estas se obtuvieron de los promedios de la dirección y velocidad del viento, registrado cada 15 minutos, a una altura de diez metros sobre la superficie del suelo, para el período de 1992 a 1994.

Estación fría.

En invierno, la península de Baja California se encuentra dominada por los vientos predominantes del oeste que se originan en la celda anticiclónica del Pacífico. La costa oriental de la península, a su vez, se ve frecuentada por los frentes fríos y las vaguadas que influyen en el viento superficial (Pérez, 1988), de ahí que la dirección principal del viento sea del noroeste y del norte (Anexos 1, 2 y 12).

Durante esta estación fría, existe la más alta frecuencia de calmas, mismas que se presentan generalmente durante la noche y la madrugada (Anexos 1 y 4), cuando además el viento que sopla es ligero. A mediodía, la frecuencia y la intensidad del viento aumentan, alcanzando velocidades medias entre 2 y 3 m/s y, a veces, mayores de 3 m/s.

Figura 3. Dirección, Intensidad y Frecuencia del viento en La Paz, B.C. S. (1992 - 1994)

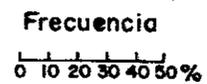
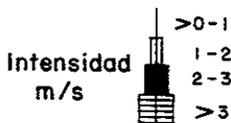
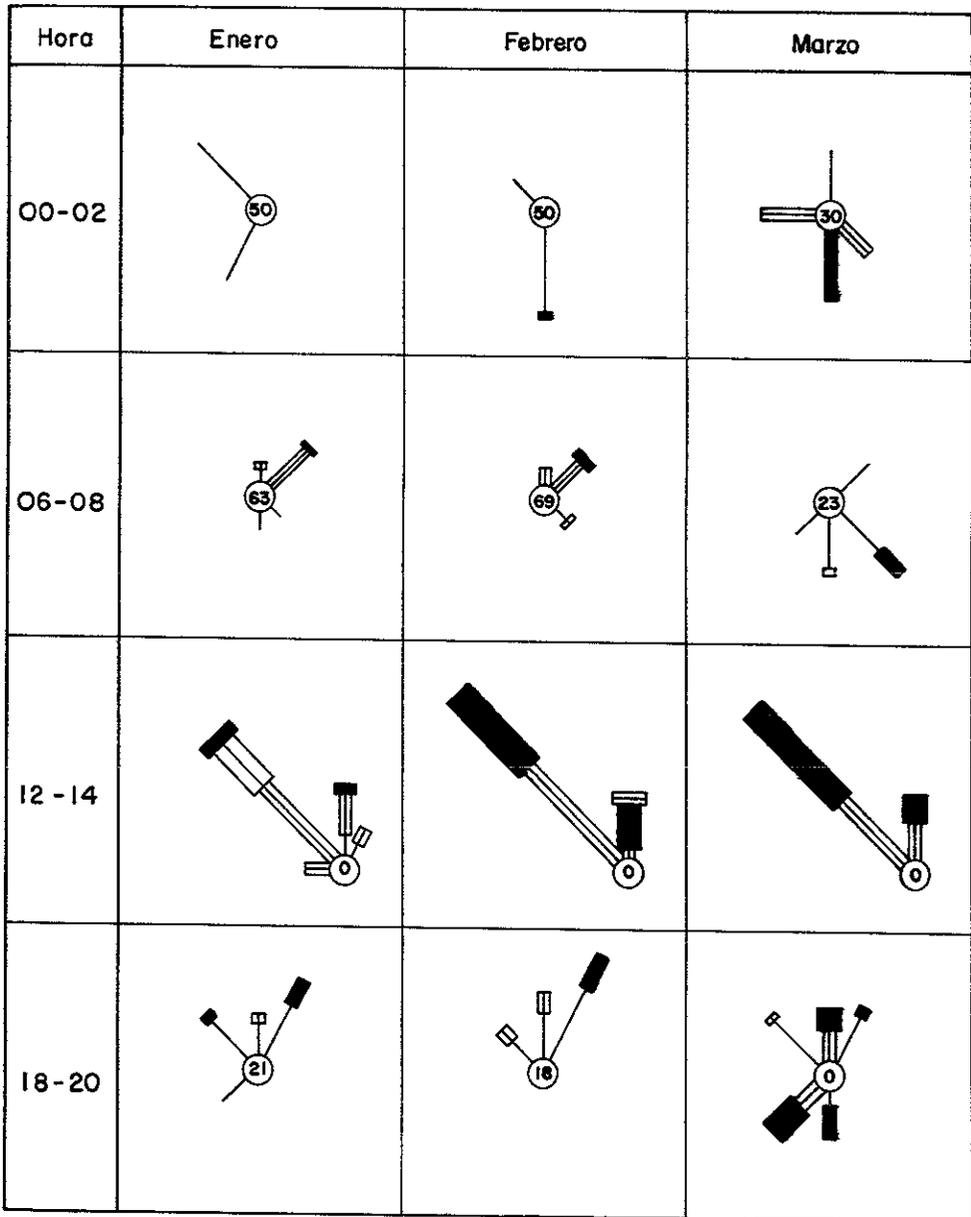


Figura 4. Dirección, Intensidad y Frecuencia del viento en La Paz, B.C.S. (1992 - 1994)

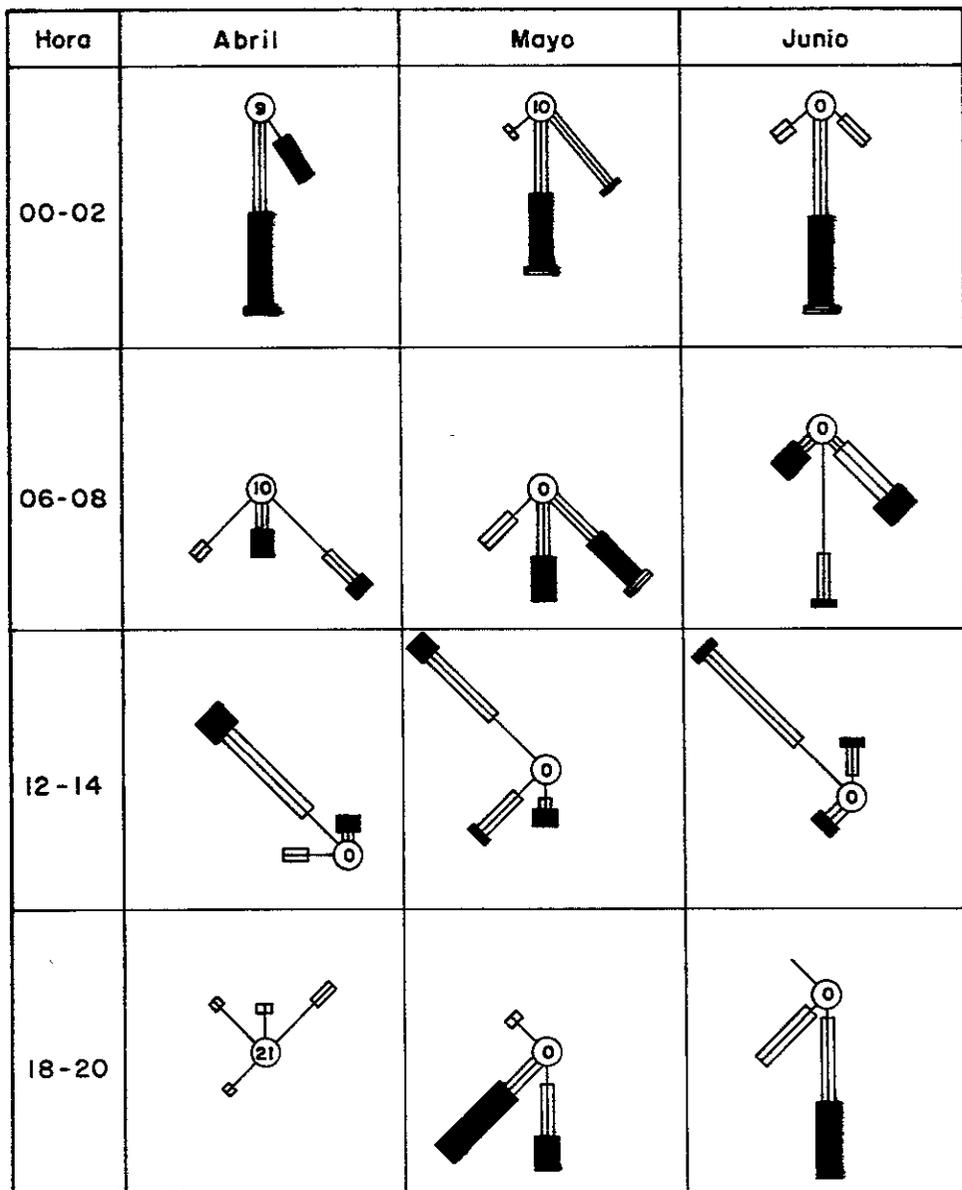


Figura 5. Dirección, Intensidad y Frecuencia del viento en La Paz, B.C.S. (1992 - 1994)

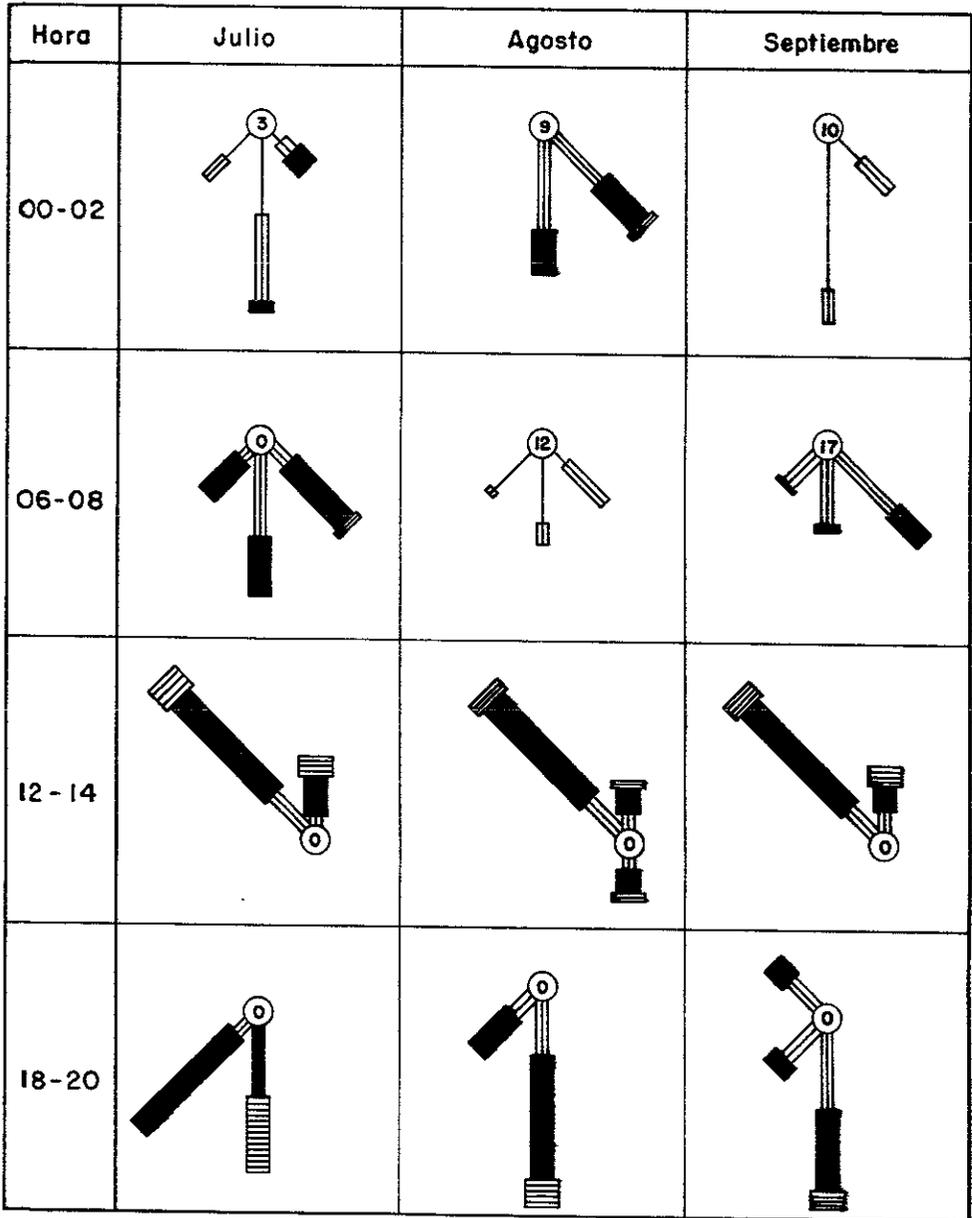
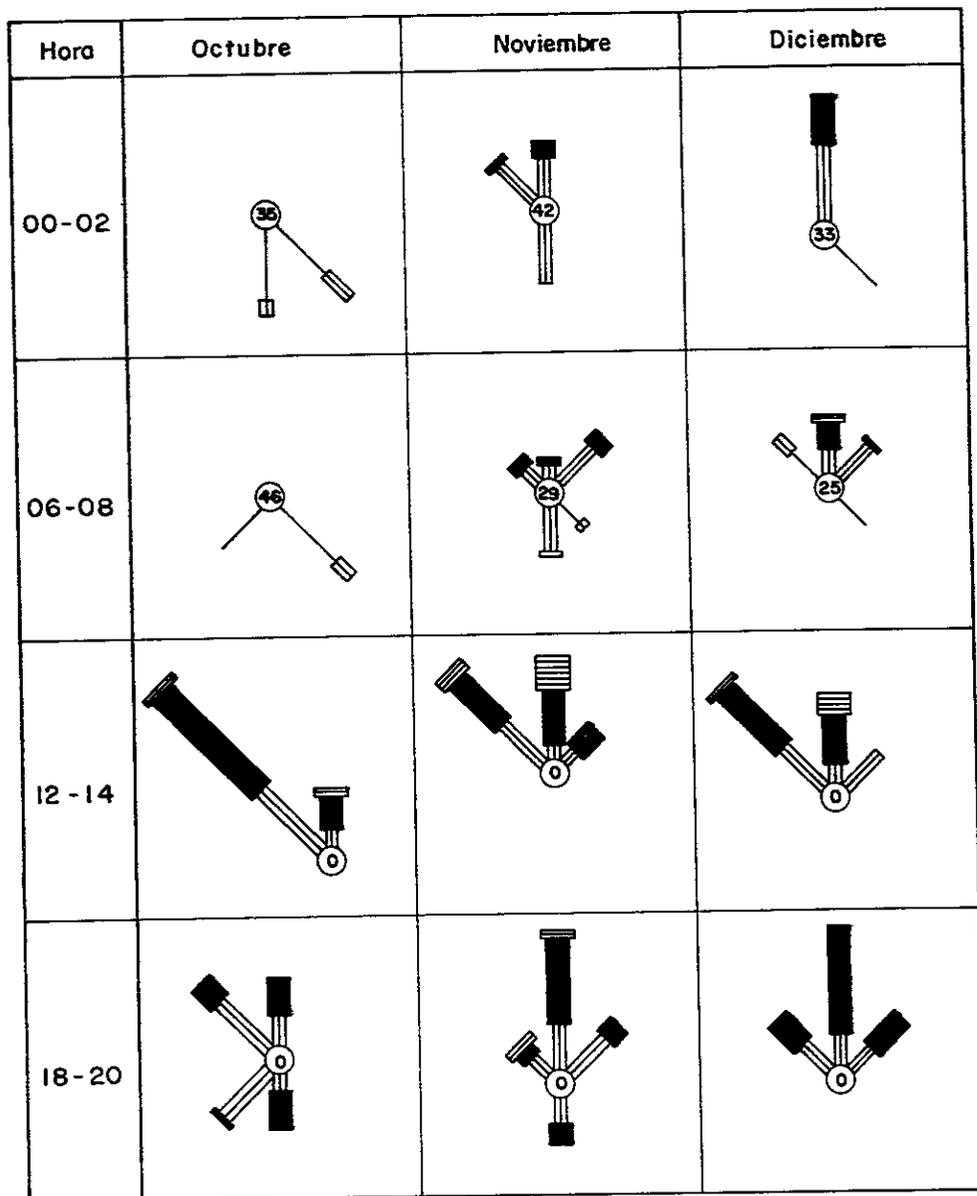


Figura 6. Dirección, Intensidad y Frecuencia del viento en La Paz, B.C.S. (1992 - 1994)



Collas.

En ocasiones, en La Paz, sopla durante varios días un viento intenso y constante que localmente se le denomina "Colla". Su dirección dominante es del noroeste y su intensidad media es de aproximadamente 4 m/s, con rachas cercanas a los 10 m/s.

En el mar se presenta una marejadita, con olas de hasta 3 metros de altura, que puede impedir la salida al mar de los pescadores y sus pangas, más no así la de los veleros, yates o transbordadores⁴. Este viento es característico del golfo de California, Juan Jesús Lucero⁵ menciona que, entre otros lugares de Baja California Sur, también se presenta en Buenavista, Loreto, Mulegé y Santa Rosalía.

Se ha observado que la Colla se establece cuando se incrementa la subsidencia en el sistema de alta presión semipermanente del Pacífico Norte. Además, cuando una corriente de chorro se encuentra en estas latitudes y se asocia a la alta presión, dicha corriente contribuye a un aumento en la subsidencia del aire y provoca que el viento en superficie sea todavía más intenso⁶. Asimismo, se ha visto que algunas veces la Colla sopla después del paso de un frente frío por la región.

Cuando se presenta una Colla en La Paz, las condiciones meteorológicas más notables que se registran en superficie, además de la intensificación de los vientos, son: un aumento en la presión atmosférica, como consecuencia de la subsidencia del aire; un descenso en la temperatura de punto de rocío, pues con la subsidencia, el aire se vuelve más seco; un aumento en el poder evaporante de la atmósfera, resultado de la intensificación del viento y de la sequedad del aire; y un descenso en la oscilación térmica, esto debido, probablemente, a que el calentamiento adiabático no permite que la temperatura mínima sea tan baja, y el aumento en la velocidad del viento previene que la temperatura máxima sea más alta. Y en altura, a través de los radiosondeos, se ha observado la presencia de una inversión térmica causada por la subsidencia del aire; ésta presenta en su base un descenso singularmente rápido de la humedad relativa con la altura a través de la inversión.

La frecuencia media con que se presentan las Collas en La Paz es de 10 eventos al año (1982-1997). Estas ocurren principalmente en los meses de diciembre y enero, con una frecuencia media de 2.6 y 2.2, respectivamente; y con una menor frecuencia en los meses de noviembre, febrero y marzo, y rara vez en octubre o abril. Las Collas pueden durar desde uno a cinco días, pero la mayoría duran dos o tres días, y en muy raras ocasiones hasta siete u ocho días.

La palabra Colla es resultado de la transformación que ha tenido lugar en esta zona, al parecer, el término náutico collada, que tiene como significado la "persistencia del viento en una dirección determinada" (Cazzaroli, 1988). En los registros meteorológicos de La Paz, el nombre de estos vientos aparece en 1943, por primera vez, como "Colladas" y, más adelante, se presentan nada más como "Collas" que es el nombre con que se le conoce en la región.

La primavera es una estación de transición entre la época fría y la cálida, la península todavía está dominada por los vientos originados en el anticiclón del Pacífico (Pérez, 1988). Sin embargo, como se puede observar en las Anexos 3, 4 y 5, los vientos superficiales comienzan a presentar una componente del sur. En esta estación del año, la frecuencia de calmas disminuye (Figura 4) y se presentan, por lo general, también en la noche y la madrugada.

⁴ Comunicación personal del Capitán José Zatarain Moreno (Jefe de Navegación, Capitanía de Puerto de La Paz, 1998).

⁵ Comunicación personal (pescador de La Paz, 1998).

⁶ Comunicación personal del Met. Mario Lizaola Reyna (Jefe de Previsión del Tiempo, Servicio Meteorológico Nacional).

La mayor frecuencia e intensidad del viento en el mes de marzo se presenta a mediodía, con vientos del noroeste que alcanzan una velocidad media entre 2 y 3 m/s; en abril, se presenta en la noche con una componente del sur e intensidades, en ocasiones, mayores de 3 m/s; y en mayo las frecuencias más altas se presentan a mediodía con viento del noroeste, pero los vientos más fuertes son en la noche con una componente del sur.

Estación cálida.

En el verano, el viento está sujeto principalmente a causas termobarométricas como consecuencia de las diferencias de temperatura que hay entre la tierra y el mar (Pérez, 1988), por lo que se ve influido por las brisas, las ondas y los ciclones tropicales, así como por las surgencias de humedad. Los vientos que presentan una mayor frecuencia son los que tienen una componente del sur (Anexos 6, 7 y 8). Estos soplan sobre todo en las tardes y en las noches, con intensidades medias de 2 a 3 m/s y, en ocasiones, superiores a los 3 m/s (Figura 5). A mediodía, el viento sopla principalmente del noroeste alcanzando velocidades medias también de 2 a 3 m/s. Durante esta estación cálida, la frecuencia de calmas es mínima (Figura 5), pero en septiembre comienza a aumentar, sobre todo en las madrugadas.

Es muy poco común que en verano el viento sople del este o del noreste (Anexos 6 a 9). Pero, se ha observado que la mayoría de las veces que llueve en La Paz durante esta estación del año, el viento, en ese lapso de tiempo, sopló con esas componentes alcanzando, por lo general rachas superiores a los 10 m/s.

El otoño es también una época de transición, por lo que se observa un cambio en los vientos. La dirección vuelve a ser predominantemente del noroeste y del norte, cuando se manifiesta de nuevo el anticiclón del Pacífico septentrional en esta región, y se sienten cada vez menos los vientos del sur (Anexos 10, 11 y 12).

La alta frecuencia de calmas que se presenta desde octubre a marzo (Figuras 6 y 3) por las madrugadas, favorece junto con la disminución de la temperatura, la formación de rocío a temprana hora (Gráfica 17).

1.2.3.2 Brisas de mar y tierra.

De marzo a octubre y, en menor medida, en noviembre, se observa un patrón muy característico en los vientos (Figuras 3 a 6) ya que durante la tarde, la noche y la madrugada éstos soplan con una componente del sur; en tanto que a mediodía, se presenta un cambio en la dirección del viento, éste vira en sentido horario y sopla con una mayor frecuencia del noroeste y del norte.

En el primer caso, el viento sopla de la tierra hacia el mar, constituyendo una brisa de tierra que refresca, por las tardes, el aire de La Paz. A este terral se le conoce como "Coromuel", nombre que proviene, según Fernando Jordán (1976), de un navío de vela llamado "Cromwell" que aprovechaba el viento del sur para poder salir de la bahía con viento en popa. La brisa de tierra, que comienza a soplar en el mes de marzo, se va haciendo más frecuente e intensa en los meses subsecuentes, hasta alcanzar su mayor frecuencia e intensidad en junio, después va perdiendo fuerza poco a poco, hasta que prácticamente desaparece en noviembre (Anexos 3 a 11).

En el segundo caso, el viento sopla del mar hacia la tierra ocasionando la brisa de mar. Esta brisa, cuya dirección es principalmente del noroeste, se establece un poco antes del mediodía y alcanza su máxima intensidad al comienzo de la tarde; después, amaina poco a poco y retrovira en sentido

antihorario estableciéndose, entonces, el terral con una componente del sur. Esta brisa alcanza su mayor intensidad en los meses de julio, agosto y septiembre (Figura 5).

Se ha detectado que hay una relación entre la manera en que vira el viento y la presencia de la lluvia en el verano. Pues, cuando ya se encuentra establecida la brisa del mar a mediodía y la dirección del viento, en lugar de retrovirar al sur como es lo común, vira hacia el este, entonces es muy probable que llueva en La Paz. Asimismo, se ha notado que los días en que sopla la brisa marina, la temperatura máxima es menor que cuando no se presenta o, bien, se retrasa una o dos horas.

Según Mosiño y García (1974), el efecto combinado de mar y tierra es muy poderoso, especialmente en la temprana estación de lluvias cuando todavía no aparecen las tormentas tropicales. El efecto refrescante de las brisas ayuda también, a hacer más tolerable el calor a la población que habita en las costas. De hecho, el acercamiento de una perturbación tropical, a lo largo de la costa, bloquea el establecimiento diario de las brisas de mar y tierra, provocando un tiempo bochornoso que constituye un aviso del acercamiento del mal tiempo.

1.3 Climatología de la ciudad de La Paz.

La Organización Meteorológica Mundial (1990), considera que el clima es “la síntesis de las condiciones meteorológicas correspondientes a un área dada, caracterizada por las estadísticas basadas en un período largo de las variables referentes al estado de la atmósfera en dicha área”.

El clima de un lugar es el resultado de la forma en que influye una serie de factores astronómicos y geográficos sobre los diferentes elementos meteorológicos. Y de acuerdo a la O.M.M., se determina por un conjunto de valores medios y por las variaciones anuales de temperatura, precipitación y otros elementos climáticos.

Según la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988) para nuestro país, la ciudad de La Paz, por sus condiciones de temperatura y precipitación, presenta un clima BW(h)h w (e), es decir, seco desértico, cálido, con una temperatura media anual mayor de 22° C, un régimen de lluvias en verano y una oscilación anual extremosa de la temperatura, que varía entre 7° C y 14° C (García y Mosiño, 1968).

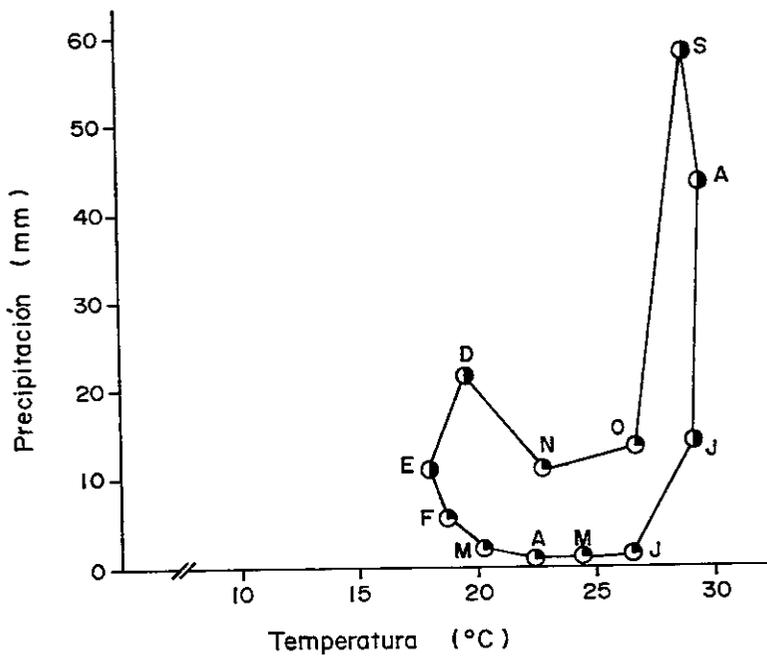
En la Figura 7, se puede apreciar la relación existente entre la temperatura y la precipitación media mensuales para La Paz. Por un lado, se observa que la temperatura promedio en todos los meses sobrepasa los 18° C; los meses con una temperatura media entre 18° C y 20° C, son solamente diciembre, enero y febrero; mientras que los que tienen entre 20° C y 25° C, son marzo, abril, mayo y noviembre; y con 25° C a 30° C son los meses de junio a octubre. Por otro lado, se puede ver que la precipitación es escasa la mayor parte del año y que se concentra principalmente en el verano, sobre todo en el mes de septiembre con una lluvia promedio de 58 mm; y también se registran lluvias en invierno, principalmente en el mes de diciembre. La época de estiaje se presenta desde marzo hasta junio, cuando en promedio llueve menos de 2 mm en cada mes. Asimismo, se aprecia que la mayoría de los meses presentan un cielo medio nublado, los de mayor cobertura de nubes son los de verano e invierno, mientras que los que tienen una menor cobertura son los meses de estiaje.

1.3.1 Radiación solar e insolación.

1.3.1.1 Consideraciones generales.

La cantidad de radiación que recibe la Tierra depende, principalmente, de cuatro factores: la emisión solar, que en términos generales es constante; la distancia al Sol a lo largo del año, causada por la excentricidad de la órbita terrestre, y que en la actualidad no es un factor determinante en los

FIGURA 7. CLIMOGRAMA
LA PAZ, B. C. S. (1921-1997)



○ Nubosidad media en octas

cambios estacionales del tiempo atmosférico; la inclinación con que inciden los rayos del Sol sobre el horizonte, que afecta en gran medida la intensidad de la radiación; y la duración del día, que influye considerablemente en la cantidad de insolación recibida.

1.3.1.2 Balance energético y transferencia de calor.

La radiación electromagnética del Sol, que en el vacío viaja en línea recta y a la velocidad de la luz, abarca un rango muy amplio de longitudes de onda que van de los 10^{-4} micrómetros (10^{-8} cm) a los 10^6 centímetros. Cuando la radiación solar llega a la atmósfera, todos los componentes de esta última contribuyen, en mayor o en menor medida, a la atenuación de la radiación directa hasta que ésta llega a la superficie terrestre. Esta atenuación, es resultado de los mecanismos de absorción y dispersión que afectan simultáneamente todas las partes del espectro solar (W.M.O., 1981).

Los gases son absorbentes selectivos, es decir absorben solamente ciertas longitudes de onda dejando pasar otras. En las capas altas de la atmósfera, los procesos principales son la absorción de los rayos X y ultravioleta por el oxígeno, el ozono y el óxido nitroso; y la dispersión de los rayos violeta y azul del espectro visible. Solamente las longitudes de onda más largas, como los rayos visibles, infrarrojos y de radio, alcanzan a llegar a las capas más bajas de la estratosfera y a la troposfera, donde la atenuación es causada por la absorción del vapor de agua, el bióxido de carbono, los aerosoles y otros compuestos menores. El nitrógeno y el oxígeno, que son los componentes principales de la atmósfera, atenúan la radiación solar a través de la dispersión de las moléculas, sobre todo, en las regiones ultravioleta y visible del espectro. La radiación solar no es solamente dispersada por las moléculas de los gases y el vapor de agua, si no también por los aerosoles y las gotitas de agua y cristales de hielo que forman las nubes (W.M.O., 1981).

La superficie terrestre, por otro lado, absorbe una gran parte de la energía emitida por el Sol y, a su vez, emite una radiación de onda larga que calienta el aire. Otra porción de la radiación es reflejada al espacio (albedo), misma que no participa en el calentamiento de la atmósfera ni en el de la superficie terrestre.

La energía calorífica se transfiere en la atmósfera principalmente a través de la radiación y la convección. Esta última forma de transferencia de calor se lleva a cabo de dos maneras: una, a través de la elevación y el mezclado del aire calentado, o sea el calor sensible; y la otra, a través del calor latente que es almacenado en el vapor de agua y transportado por el aire, hasta que es liberado por la condensación. En la atmósfera, también se lleva a cabo la transferencia de calor por medio de la advección, o sea, a través del movimiento horizontal del aire (O.M.M., 1979a).

Existe un equilibrio entre la radiación procedente del Sol y la emitida por la Tierra y la atmósfera. Las zonas en donde hay un superávit o un déficit constantes, se mantienen en equilibrio por el transporte de energía calorífica hacia los polos. Sin embargo, el balance energético varía de un lugar a otro dependiendo de la cantidad de absorción y de reflexión de la radiación, así como, también, de la influencia de las masas de aire que transportan aire más frío o más cálido.

El albedo depende, entre otros factores, del tipo de superficie a la cual llega la radiación: suelo o rocas, cubierta vegetal, agua, nubes, nieve o hielo; y varía según el color, la estructura y la humedad de la superficie, o la transparencia del agua. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (W.M.O., 1981), los valores más altos de albedo son para las superficies cubiertas por nieve fresca (70 a 90%); para los suelos, los valores más altos corresponden a los de color claro y que están secos y comprimidos (35 a 45%), en general, como los suelos de las zonas áridas. El albedo de los cuerpos de agua, varía según su transparencia y las condiciones de iluminación. Cuando el Sol está alto sobre el

horizonte, el albedo de la superficie del agua es bajo (3 a 5%) y conforme disminuye el ángulo de inclinación, el albedo aumenta, hasta encontrar su valor más alto cerca del horizonte (15 a 65%); asimismo, las olas en la superficie del mar reducen el albedo. El albedo de las nubes, también varía considerablemente, se incrementa según aumenta la cantidad y espesor de las nubes; de ahí que el albedo más alto sea para los cúmulos y nimboestratos (85%) y el más bajo para los cirros (36%).

1.3.1.3 Altura del Sol .

La inclinación de los rayos del Sol con respecto al horizonte está determinada por la latitud, la hora del día y la estación del año, mismos que influyen en la intensidad y la duración potencial diaria de la insolación en una localidad.

En La Paz, que se encuentra en una zona subtropical, la máxima altura del Sol es en el solsticio de verano con un ángulo de elevación, a mediodía, de $89^{\circ} 17'$, o sea, prácticamente en el cenit (Figura 8 y Anexo 13). Durante los equinoccios de otoño y primavera, el Sol tiene una altura de $65^{\circ} 50'$; y en el solsticio de invierno, desciende considerablemente y se encuentra, a mediodía, a una elevación de $42^{\circ} 23'$ sobre el horizonte (Anexo 14). La diferencia de altura sobre el horizonte es de $46^{\circ} 54'$ entre el verano y el invierno, misma que trae como consecuencia una significativa reducción en la intensidad de la energía solar recibida que, a su vez, se refleja en las variaciones de temperatura entre una estación del año y otra, como se verá más adelante.

1.3.1.4 Insolación y duración del día.

En la Gráfica 1, se muestran tanto la insolación potencial, que se calculó a partir de las horas de salida y puesta del Sol (Anexo 15), como la insolación real en la ciudad de La Paz. La máxima duración potencial de insolación es de 13 horas 40 minutos, durante el solsticio de verano; de aproximadamente 12 horas, en los equinoccios de otoño y primavera; y la mínima es de 10 horas 40 minutos, durante el solsticio de invierno. Sin embargo, la insolación real (1971-1997) es menor, debido a que se ve determinada principalmente por la nubosidad. Además, existen otros factores que influyen en esta disminución de la insolación, y que hacen que la tira heliográfica no se carbonice desde el momento en que el Sol aparece sobre el horizonte, hasta el momento en que se pone sobre el mismo. En primer lugar, el Sol no quema la tira cuando está casi en el horizonte, ya que los rayos solares tienen que atravesar una capa de aire más densa que cuando caen más verticales. Por otro lado, las montañas que se localizan al oriente de La Paz (Figura 9), impiden también que la tira se carbonice desde que sale el Sol. Y por último, algunas construcciones y árboles que están cerca de la estación meteorológica hacen sombra al heliógrafo. Se hizo un análisis de los datos, y se determinó que la insolación real se encuentra subestimada en aproximadamente 40 minutos diarios.

La insolación media anual en La Paz es de 3,133 horas y el promedio diario anual es de 8.57 horas (1971-1997). La curva de insolación real, a lo largo del año, no es simétrica como la potencial (Gráfica 1). El mes con mayor insolación es junio, con aproximadamente 10 horas diarias, los meses de abril, mayo y julio también tienen una insolación por encima de la media; todo esto es resultado de que tienen la menor cobertura de nubes (Gráfica 20), y de que el día es más largo que la noche. Después de junio, la insolación disminuye en los meses de julio, agosto y septiembre, los días siguen siendo en general más largos que la noche, pero la cobertura de nubes aumenta. Y por último, el mes de menor insolación es diciembre, con aproximadamente 6 horas diarias, pues además de presentar una mayor nubosidad, los días son más cortos que la noche.

Figura 8. Grafica Solar
 La Paz, B.C.S.
 24° 10' L.N., 110° 19' L.W.

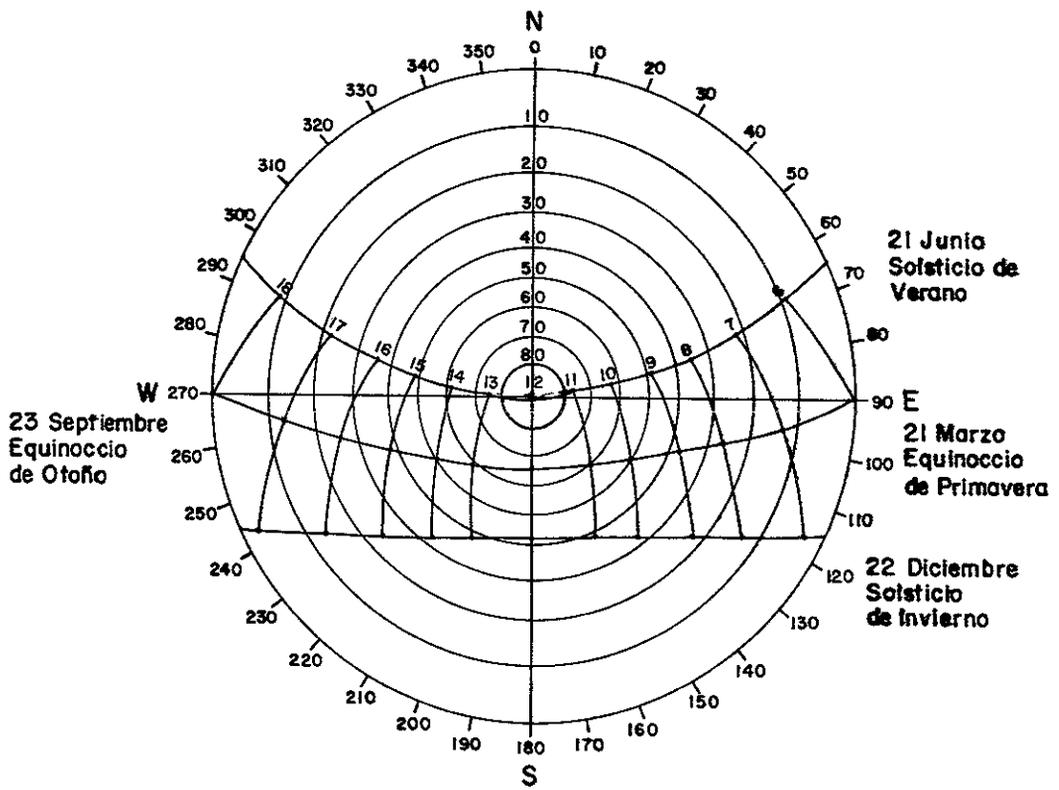
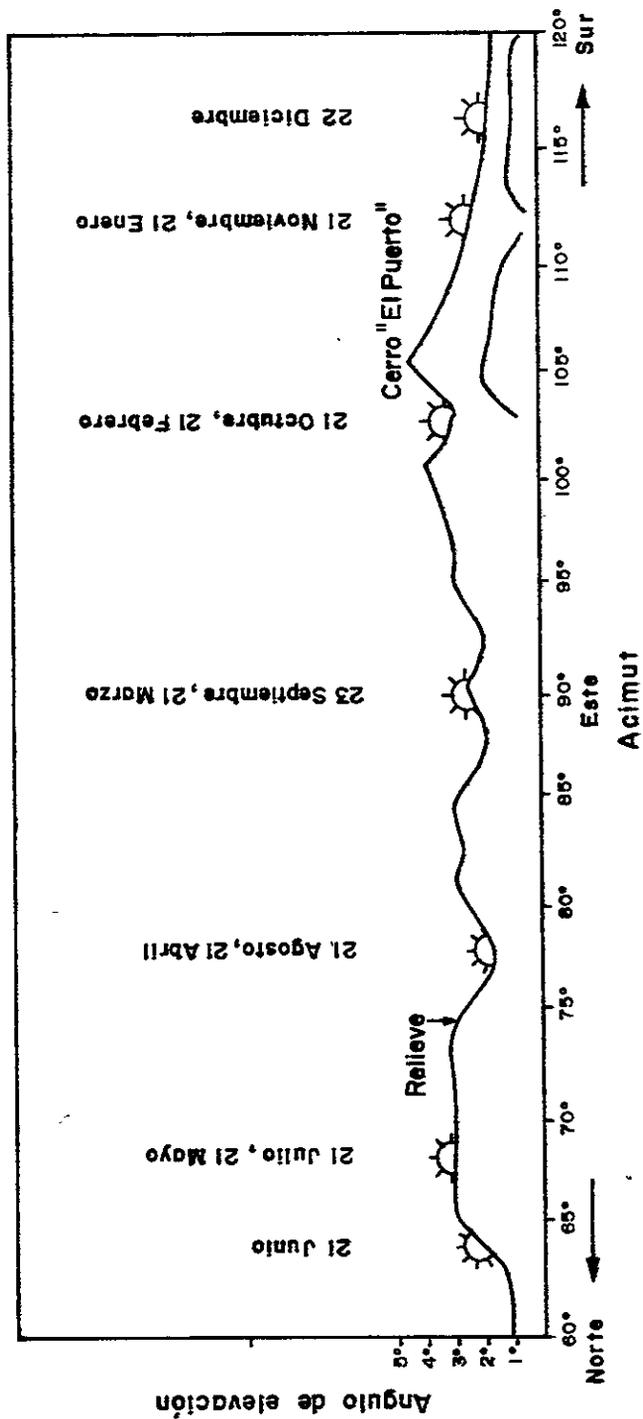
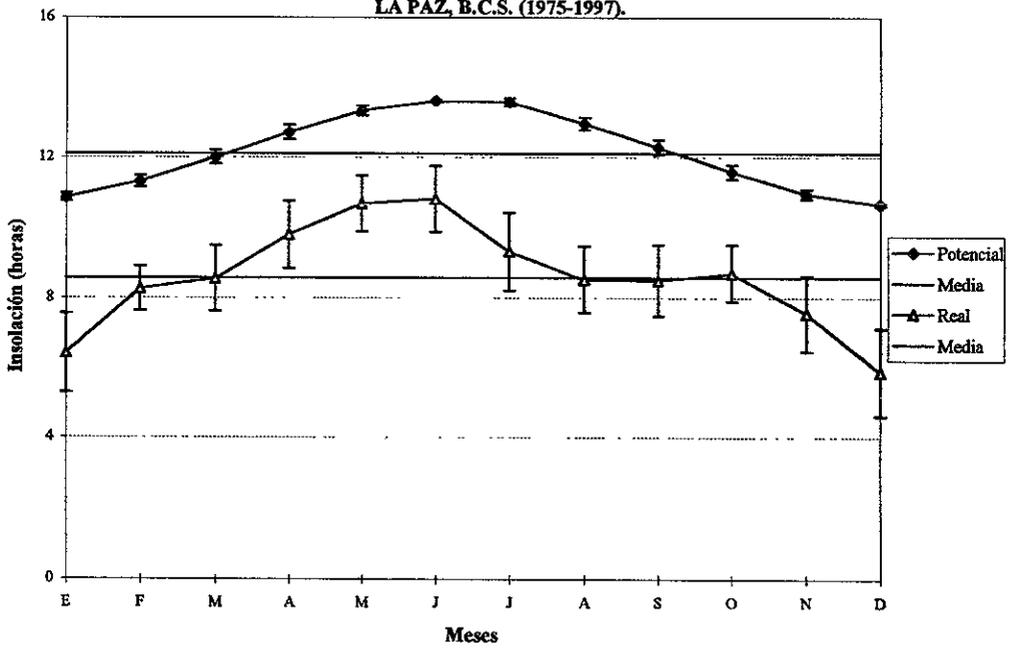


FIG. 9. SITUACION DEL SOL AL AMANECER EN LA PAZ, B. C. S.



GRAFICA 1.
INSOLACION MEDIA DIARIA.
LA PAZ, B.C.S. (1975-1997).



En la Figura 10, se observa la hora de salida y puesta del Sol en tiempo local, así como el número de horas que dura el día y la noche durante el año en la ciudad de La Paz. Y para efectos del aprovechamiento de la luz solar, se puede observar que en La Paz comienza a haber luz desde el crepúsculo civil, unos 24 minutos en promedio, antes de que el Sol salga por encima del horizonte; y también, continúa habiendo luz hasta el crepúsculo civil, unos 24 minutos después de que el Sol se ponga bajo el horizonte (Anexo 15).

La distribución de la insolación a lo largo del día y del año se puede observar en la Tabla 1. Los meses que presentan mayor insolación son junio y mayo de las 8 a las 16 horas, abril de las 9 a las 15 horas y octubre de las 8 a las 14 horas, cuando se reciben en promedio más de 55 minutos de sol por hora.

1.3.1.5 Radiación solar.

La cantidad media anual de incidencia de radiación solar global en La Paz (1993-1997) es de 56,883 J/cm² (13,580 cal/cm²) y el promedio diario anual de 1,870 J/cm² (446 cal/cm²). Como se puede apreciar en la Gráfica 2, la curva de radiación solar no es simétrica pues, además de los aspectos astronómicos, existen otros factores que influyen, en mayor o menor medida, en la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre, como son la nubosidad, la turbiedad del aire y las condiciones meteorológicas en general.

El mes que presenta una menor incidencia de radiación solar es diciembre, con un promedio de 1,309 J/cm² por día (312 cal/cm² día), ya que es en este mes cuando los rayos del Sol caen muy inclinados, la duración del día es la más corta y además la cantidad de nubosidad es de las más altas en el año (Gráfica 20). Después del solsticio de invierno, la cantidad de radiación solar recibida aumenta de un mes a otro hasta junio, mes que presenta la mayor incidencia de radiación solar en el año, con un promedio de 2,348 J/cm² por día (560 cal/cm² día). Esto es debido a que, los rayos del Sol caen casi perpendicularmente a mediodía, también porque el día tiene su máxima duración y la nubosidad es la más baja en el año (Gráfica 20). Después del solsticio de verano, la incidencia de radiación solar comienza a disminuir, en gran parte porque los rayos del Sol van cayendo de manera más inclinada y el día comienza a acortarse, pero también porque la nubosidad en los meses de julio, agosto y septiembre, es más alta.

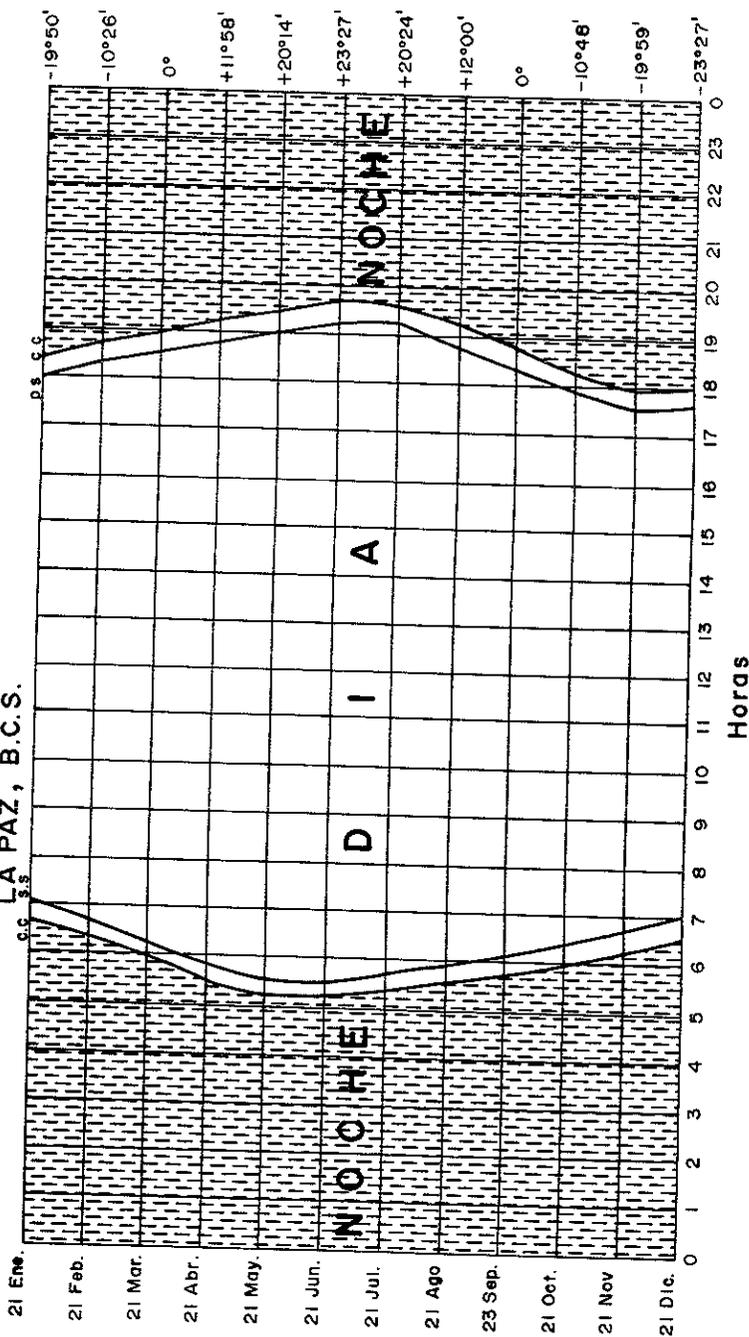
1.3.2 Temperatura.

La latitud es uno de los principales factores que influyen en la temperatura y, por lo tanto, en el clima de un lugar ya que determina muchos procesos relacionados con el Sol, así como la insolación y la incidencia de la radiación solar (O.M.M., 1979a). Otros factores que actúan, en mayor o en menor medida, en la temperatura de un sitio son: la cercanía o lejanía al mar (continentalidad), la altitud, el tipo de corrientes marítimas que bañan las costas, la orografía, la posición geográfica con respecto a los vientos dominantes, la vegetación del lugar, la nubosidad y la cantidad de humedad que haya en el ambiente, el tipo de suelo del mismo y la influencia de los diferentes tipos de masas de aire (Lutgens, 1989).

1.3.2.1 Temperatura media.

Las variaciones diurnas y anuales de la temperatura están directamente relacionadas con el balance de la radiación local. La temperatura media anual en La Paz es de 24.0° C (1921-1997), como esta ciudad se encuentra al norte del Trópico de Cáncer, la curva media mensual de temperatura

FIG. 10. SALIDAS, PUESTAS DEL SOL Y CREPUSCULOS CIVILES. (TIEMPO LOCAL) LA PAZ, B.C.S.

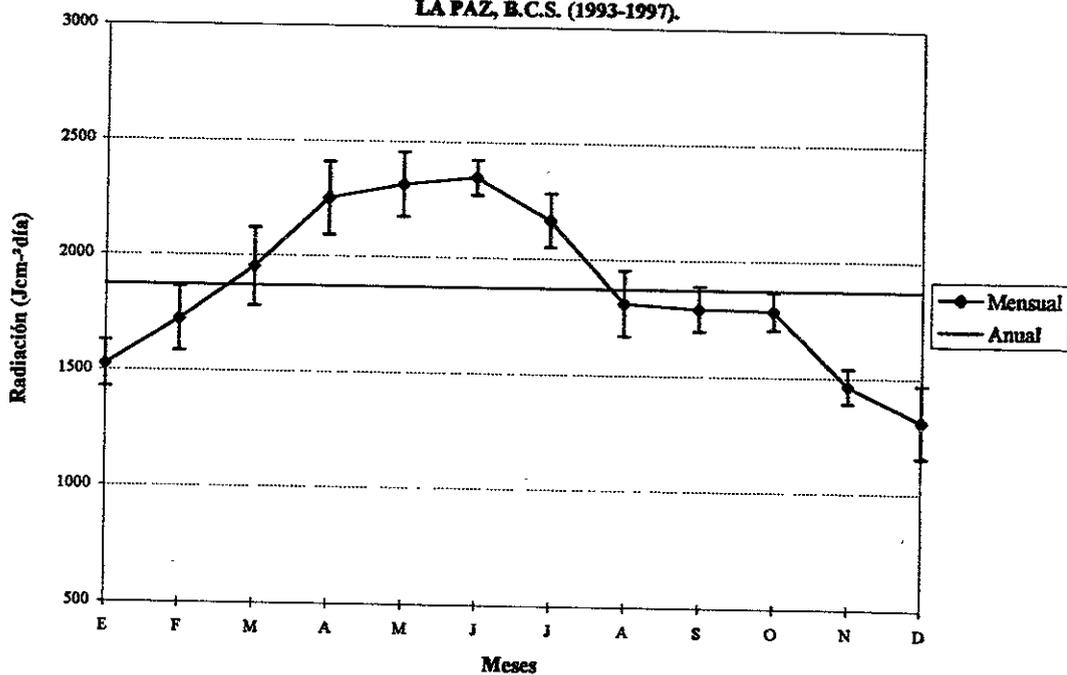


Abreviaciones: C.C.: Crepúsculo Civil
 S.S.: Salida del Sol
 P.S.: Puesta del Sol

Tabla 1. Distribución de la Insolación (minutos)
La Paz, B.C.S. (1982-1997).

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hora												
5 a 6	0	0	0	0	2	3	1	0	0	0	0	0
6 a 7	1	4	10	25	40	37	28	18	15	11	3	1
7 a 8	26	39	44	48	54	57	44	40	48	49	35	17
8 a 9	45	50	52	54	57	57	48	45	50	53	47	37
9 a 10	47	52	53	56	58	58	52	49	54	56	50	43
10 a 11	51	53	55	57	58	58	53	50	54	57	52	47
11 a 12	51	54	56	57	58	58	52	50	54	57	53	48
12 a 13	50	54	55	56	59	58	52	50	53	56	53	47
13 a 14	50	54	55	56	59	58	51	48	51	56	52	44
14 a 15	49	53	54	56	58	58	49	43	48	54	51	41
15 a 16	44	51	52	54	55	57	47	46	45	51	44	31
16 a 17	18	40	46	51	53	56	43	37	42	41	27	10
17 a 18	0	10	18	34	47	48	39	27	21	12	2	0
18 a 19	0	0	0	4	6	14	5	4	1	0	0	0
19 a 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	432	514	550	608	665	674	564	507	540	558	469	366
Med. (hrs.)	7.2	8.6	9.2	10.1	11.1	11.7	9.4	8.4	9.0	9.3	7.8	6.1

GRAFICA 2.
RADIACION SOLAR. MEDIA DIARIA.
LA PAZ, B.C.S. (1993-1997).



(Gráfica 3) muestra solamente un pico máximo en verano.

En el mes de enero se registra la temperatura mensual más baja, con un promedio de 18°C , a partir de febrero se observa un aumento paulatino en la temperatura, hasta el mes de agosto que es cuando se registra la temperatura media mensual más alta (29.6°C); después, en septiembre, la temperatura desciende muy poco, probablemente, porque aumenta en la noche y la madrugada el número de calmas. A partir de octubre, se presenta un descenso brusco en la temperatura media mensual hasta alcanzar la mínima en el mes de enero.

En la Tabla 2, se puede apreciar la distribución de la temperatura media a lo largo del día y del año (1982-1997). Las altas temperaturas comienzan desde el mes de abril, cuando a mediodía se alcanzan los 30°C ; después, de mayo a octubre se presentan, desde la mañana hasta la tarde, temperaturas superiores a los 30°C ; y en los meses de junio, julio y agosto, de 14 a 16 horas, se presentan temperaturas medias por encima de los 35°C . Por otro lado, en esa misma tabla se observa que las madrugadas y las noches, de los meses de diciembre a abril, son frescas con temperaturas medias menores de 18°C .

1.3.2.2 Temperatura máxima.

La temperatura máxima anual en La Paz es, en promedio, de 30.2°C (1921-1997). En la Gráfica 4, se puede apreciar que la temperatura máxima mensual promedio presenta una curva similar a la de la temperatura media mensual, pero la temperatura más alta se presenta en julio, con 36.0°C , en lugar de agosto.

Ondas de calor.

Cada verano, en La Paz se presentan ondas de calor que ocasionan el aumento de la temperatura del aire y sobrepasan, a veces, los 40°C . En la Gráfica 5, se muestra la frecuencia de días con una temperatura superior de 30°C , dividida en tres rangos diferentes ($30-34.9^{\circ}\text{C}$, $35-39.9^{\circ}\text{C}$ y $>40^{\circ}\text{C}$). Para una temperatura mayor de 40°C se tiene que los meses de junio, julio y agosto son los de mayor frecuencia; con una temperatura entre 35°C y 39.9°C , los meses de julio, agosto, junio y septiembre tienen la frecuencia más alta; y para una temperatura entre 30°C y 34.9°C , están los meses de octubre, abril y mayo con la mayor frecuencia. Durante el año, el 69.5% de los días (253.7 días) alcanzan una temperatura igual o superior a los 30°C .

La Gráfica 6, muestra la frecuencia promedio anual (1982-1997) de días consecutivos que tienen una temperatura superior a 30°C . En ella se puede observar que en general la frecuencia en que se presentan uno u otro rango de temperatura, disminuye según aumenta el número de días consecutivos.

La frecuencia más alta, es de que se presente 7 veces al año una temperatura entre 30°C y 34.9°C , durante 2 días seguidos. Para una temperatura entre 35°C y 39.9°C , la frecuencia más alta es de 4.5 veces al año, durante 2 días seguidos. Y para una temperatura de 40°C y más, la frecuencia más alta es de dos veces al año, tres días seguidos.

Cabe señalar que, es raro que en La Paz haya temperaturas de más de 40°C que duren 4 días o más. La frecuencia con que se ha presentado una temperatura de más de 40°C (1931-1997) ha sido: por 4 días consecutivos, una vez en 9.6 años; por 5 y 6 días consecutivos, una vez en 33.5 años; y por 8 días consecutivos, una vez en 67 años (del 8 al 15 de julio de 1997). La temperatura más alta registrada en La Paz ha sido de 43.5°C , el 10 junio de 1980 (1921-1997).

GRAFICA 3.
TEMPERATURA MEDIA.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).

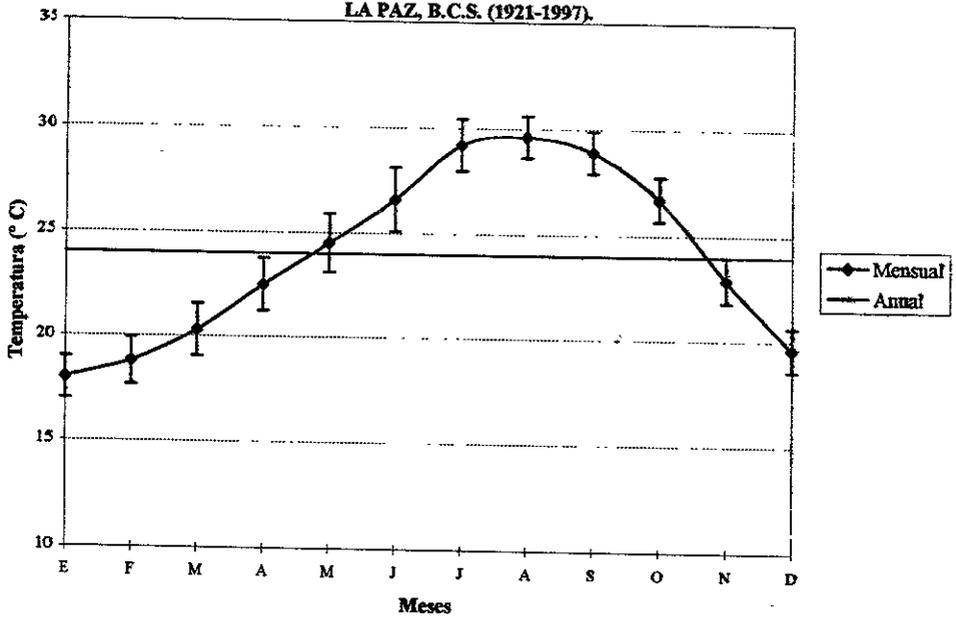
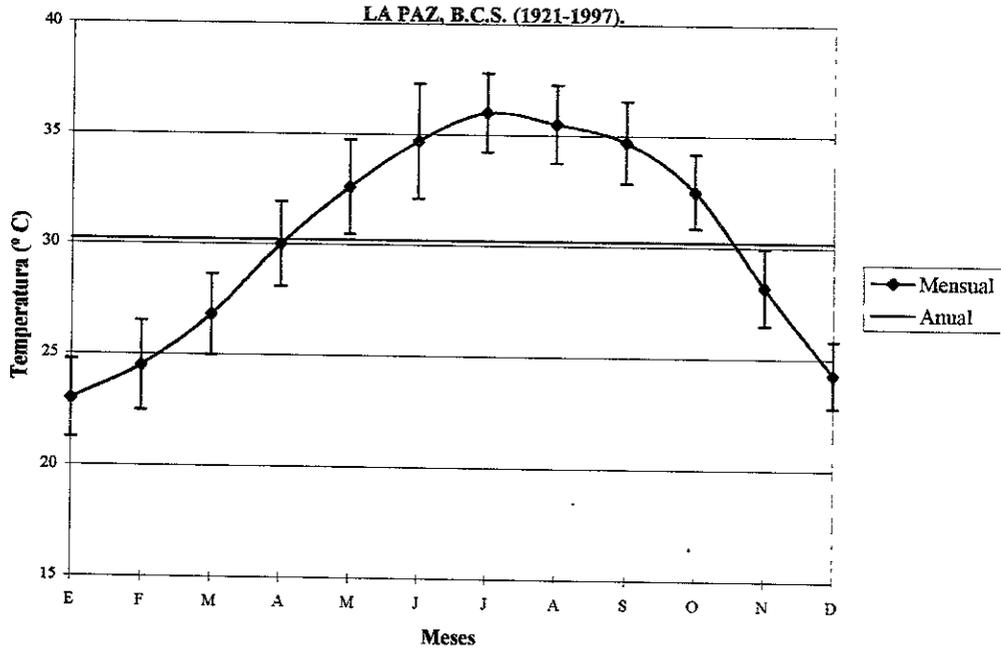


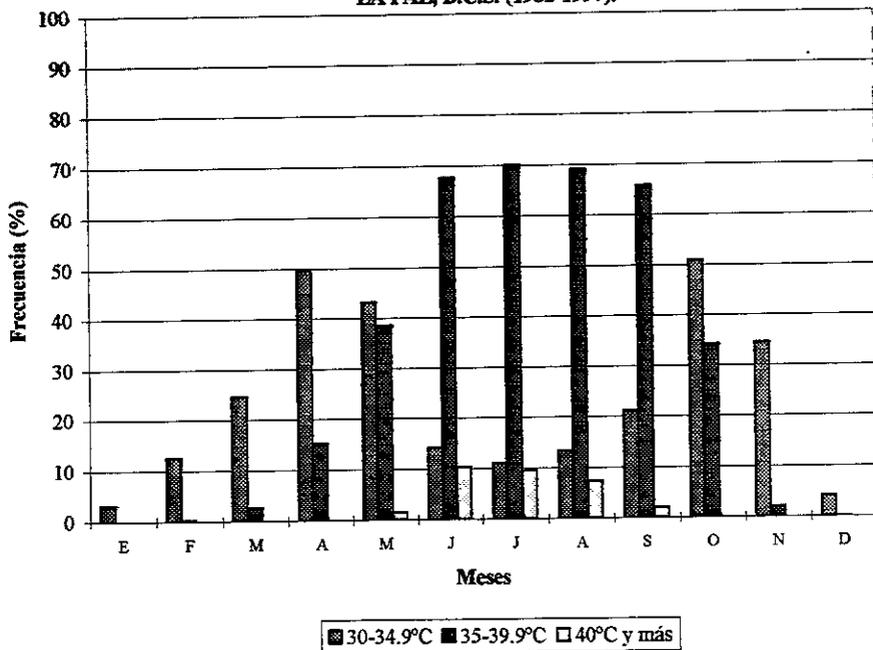
Tabla 2. Distribución de la Temperatura (°C). Salidas y Puestas del Sol. La Paz, B.C.S. (1982-1997).

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
24	16.6	17.1	19.0	19.5	20.2	23.2	26.2	27.0	27.2	24.2	20.9	17.7
22	17.5	18.3	19.4	21.6	22.2	24.6	27.7	28.5	27.8	25.7	21.9	18.7
20	18.9	20.0	21.7	24.1	25.5	28.0	30.2	30.3	29.7	27.3	23.6	20.1
18	21.0	22.1	25.3	27.8	30.0	32.7	33.8	32.8	31.4	29.7	25.2	21.7
16	22.9	24.7	27.0	30.4	32.7	35.5	35.2	34.8	34.0	32.2	27.3	23.3
14	23.2	24.8	27.0	30.7	32.5	35.7	35.5	35.4	34.6	32.5	27.9	23.8
12	22.5	23.8	25.8	29.0	31.1	33.9	34.7	34.6	34.2	32.0	27.5	23.6
10	19.5	20.6	22.7	25.9	27.6	30.4	31.9	31.7	31.4	29.2	24.9	20.9
8	15.0	15.3	16.7	16.6	17.2	18.0	18.9	17.6	16.7	15.2	19.8	16.8
6	14.3	14.5	14.8	16.2	17.0	18.4	19.2	18.4	17.1	15.6	16.3	16.1
4	14.6	14.7	15.5	17.2	17.8	18.6	19.7	18.7	17.3	15.7	19.1	16.5
2	15.4	15.7	16.4	17.7	18.7	19.6	20.5	19.2	17.9	16.2	19.9	17.0

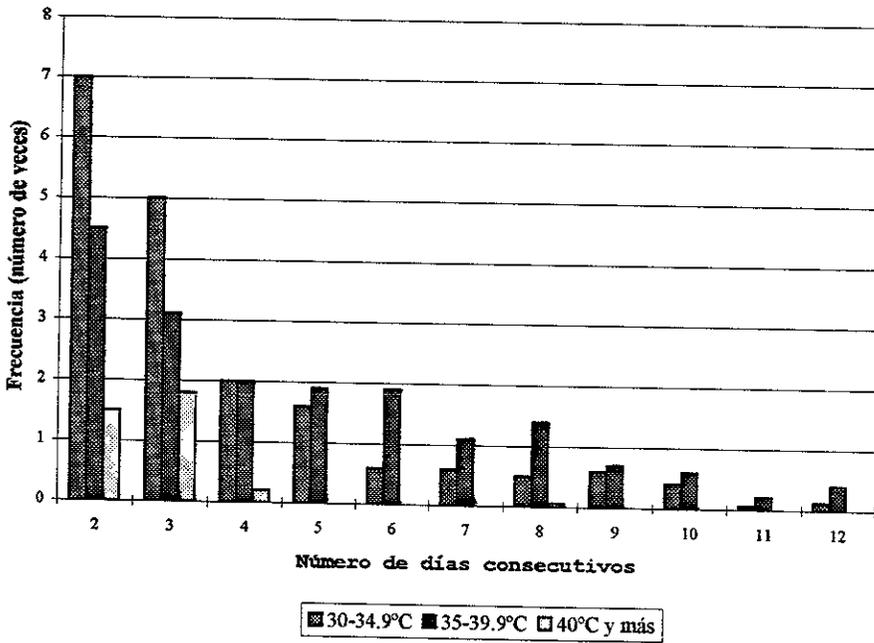
GRAFICA 4.
TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



GRAFICA 5.
FRECUENCIA DE DIAS CON MAS DE 30°C.
LA PAZ, B.C.S. (1982-1997).



GRAFICA 6.
FRECUENCIA MEDIA ANUAL DE DIAS CONSECUTIVOS
CON MAS DE 30°C. LA PAZ, B.C.S. (1982-1997).



1.3.2.3 Temperatura mínima.

La temperatura mínima anual promedio en La Paz es de 18.1° C. La temperatura mínima mensual promedio tiene un comportamiento similar al de la temperatura media mensual (Gráfica 7). El mes en que se registra la temperatura mínima mensual más baja es en enero, con una media de 13.1° C. A partir de ese mes, la temperatura mínima promedio aumenta muy paulatinamente hasta mayo y junio; después de junio, la temperatura mínima mensual aumenta bruscamente y permanece relativamente alta en el verano, hasta alcanzar su máximo en agosto (24.5° C), para luego disminuir hasta enero.

En algunas ocasiones, de diciembre a abril y algunas veces en noviembre, se presentan masas de aire polar que provocan una disminución de la temperatura por debajo de los 10° C. La temperatura más baja registrada en La Paz fue de 1.8° C, el 21 marzo de 1922 (1921-1997).

1.3.2.4 Oscilación térmica.

La oscilación de la temperatura se ve determinada, entre otros factores, por la cantidad de vapor de agua que hay en el aire y por la cercanía al mar, a través de su efecto moderador de la temperatura. Por un lado, el vapor de agua, como absorbente selectivo de los rayos infrarrojos, impide que el calor absorbido durante el día por la atmósfera, se pierda durante la noche evitando las fuertes variaciones de temperatura.

Además, la humedad del suelo atenúa la oscilación térmica porque en el día se produce la evaporación y en la noche la condensación. En el primer proceso físico se requiere de energía, ésta se absorbe de los cuerpos originando una pérdida aparente de calor; y en el segundo proceso se desprende ese calor, y la temperatura de un volumen de aire que se está condensando aumenta a medida que el vapor de agua pasa al estado líquido.

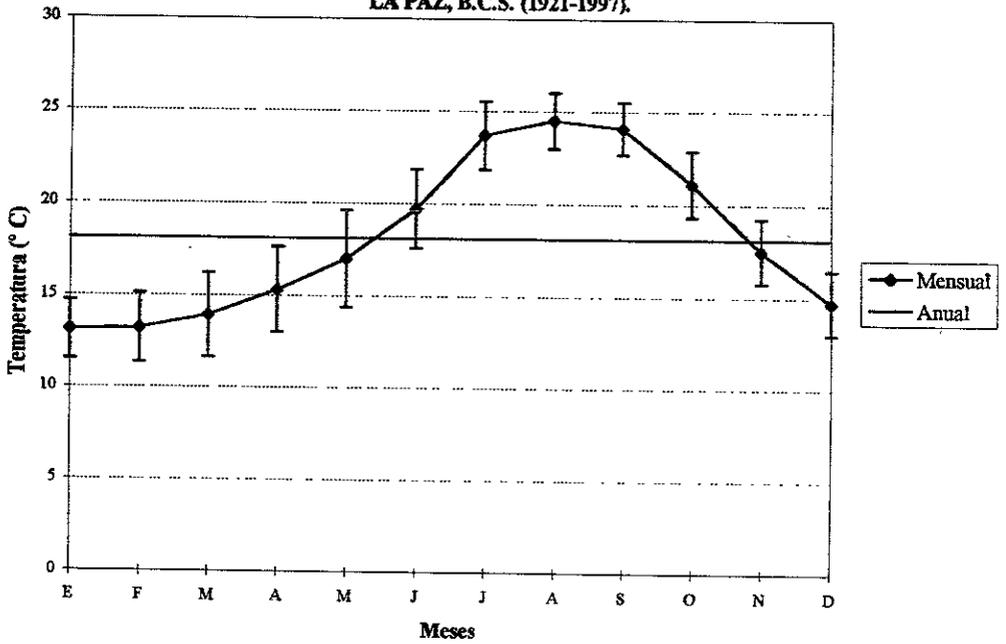
De la misma manera que existe un desfaseamiento entre la hora de mayor incidencia de radiación solar y la hora en que se registra la temperatura máxima en un día; también se presenta en La Paz, como se vio anteriormente, un desfase a lo largo del año entre el mes de mayor incidencia de radiación solar y el mes más cálido.

Este retraso es, aún, mayor cerca del mar. Si bien, la presencia del golfo de California ejerce una influencia moderadora en la marcha diaria y anual de la temperatura sobre las tierras adyacentes, la península de Baja California por ser una extensión muy alargada de tierra puede alterar este efecto moderador (García y Mosiño, 1968).

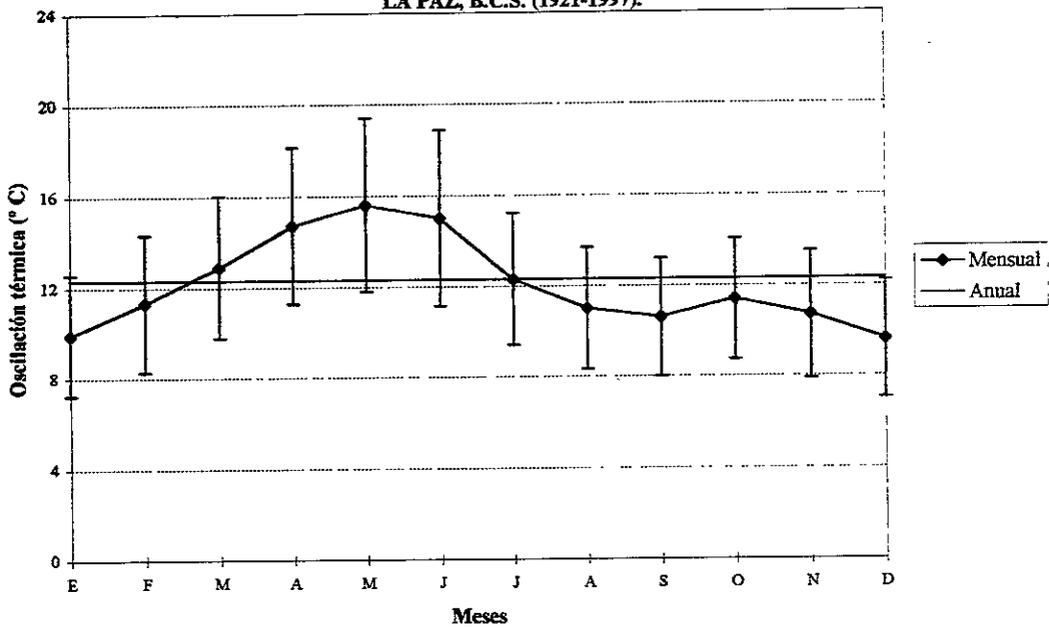
Hernández (1989), menciona que el efecto moderador del océano Pacífico sobre el clima del golfo se reduce debido a barrera que representa la cadena montañosa de 1,000 a 2,000 m.s.n.m., que casi sin interrupción corre a lo largo de la península, aminorando las posibilidades de penetración del aire húmedo del Pacífico por el poniente. Esta autora, muestra que los valores de la oscilación térmica dentro del golfo son mayores que los del litoral occidental de la península a la misma latitud, y concluye que estos altos valores en el golfo de California indican que, a pesar de ser un sistema acuoso, el clima es más continental que oceánico.

El comportamiento de la oscilación térmica en La Paz, a lo largo del año, no es homogéneo (Gráfica 8). Los meses que presentan una mayor oscilación térmica en La Paz son mayo, junio y abril que coinciden con los meses más secos (Gráficas 15, 20 y 23); y los meses con menor oscilación térmica son diciembre, enero, septiembre y agosto que concuerdan, en general, con los meses más húmedos y lluviosos (Gráficas 15, 16, 20 y 23). La oscilación térmica en La Paz, se considera como extrema pues la media anual es de 12.1° C (1921-1997), la media más alta se registra en el mes de

GRAFICA 7.
TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



GRAFICA 8.
OSCILACION TERMICA PROMEDIO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



mayo, con 15.6° C y la más baja es en diciembre, con 9.6° C.

Se han registrado, por un lado, oscilaciones diarias todavía mayores, la más alta registrada en La Paz fue de 27.0° C, el 27 abril de 1988 (1982-1997), bajo condiciones de muy poca humedad y alta insolación; y por el otro lado, oscilaciones diarias muy bajas, la más baja registrada en La Paz fue de 1.2° C (1982-1997), los días 12 de enero de 1985 y 20 de diciembre de 1992, bajo condiciones de muy alta humedad, cielo totalmente cubierto y tiempo lluvioso.

Aunque en los meses de mayo y junio ya se tienen temperaturas máximas bastante altas, la temperatura media no sube todavía mucho porque las temperaturas mínimas aún son relativamente bajas.

1.3.3 Estabilidad atmosférica.

La estabilidad en la atmósfera es un estado de equilibrio, caracterizado por el hecho de que una partícula de aire que es desplazada del nivel inicial en que se encuentra, experimenta un empuje que tiende a reintegrarla a dicho nivel. Esto ocurre cuando la partícula, al ascender, se encuentra más fría y por lo tanto más densa que el aire situado a su alrededor; e inversamente, cuando al desplazarse hacia abajo se encuentra más caliente (menos densa) que el aire que le rodea.

La atmósfera no es uniforme, está formada por varias capas o estratos que se diferencian según sus diversas propiedades. Con base a su comportamiento térmico, la primera capa, conocida como la troposfera, presenta un descenso de la temperatura en relación a la altitud como resultado de la diatermancia.

Lo anterior provoca que la troposfera sea una capa inestable que se encuentra en continuo movimiento pues el aire más cálido, y por lo tanto más ligero, que está en las capas superficiales tiende a subir, mientras que el aire más frío, y por lo tanto más pesado de las capas altas, tiende a bajar, ocasionando no sólo los movimientos convectivos, sino también los movimientos advectivos del aire.

En las Figuras 11 y 12, que se construyeron a partir de la información proporcionada por los radiosondeos efectuados en el Observatorio Meteorológico de La Paz (12:00 y 00:00 T.M.G.), se observa el comportamiento medio de la temperatura con respecto a la altitud, para la madrugada y la tarde, respectivamente.

El calentamiento que tiene la atmósfera, hasta aproximadamente unos 5,000 metros de altitud, es heterogéneo a lo largo del año. Se advierte que por debajo de dicha altura, las isotermas son líneas que se expanden en los meses de verano y se contraen en los de invierno. Asimismo, se aprecia que el nivel de congelación, aunque presenta una menor variación a lo largo del año, se encuentra entre los 4,000 m.s.n.m. en invierno y los 5,000 m.s.n.m. en verano. Por encima de los 5,000 metros, el comportamiento térmico de la atmósfera es más homogéneo de un mes a otro. Por otro lado, la temperatura media más baja (t_n) en la troposfera, a esta latitud, es inferior a los -70° C y se encuentra alrededor de los 17,000 metros de altitud, que vienen siendo el límite entre la troposfera y la estratosfera. Por encima de dicha altitud, la temperatura comienza a subir con la altura, por lo que el aire se estabiliza.

1.3.3.1 Inversión térmica.

En la troposfera, a veces se presenta una inversión térmica, es decir, una capa de aire más fría que se localiza por debajo de una capa de aire más caliente, lo que provoca una estabilidad en el aire. Según su origen, existen diferentes tipos de inversión térmica, éstas pueden ser por radiación, subsidencia, turbulencia, o bien, frontales.

Figura. 11. Distribución de la temperatura en la atmósfera.
 La Paz, B. C. S. 12 horas T.M.G., (1993).

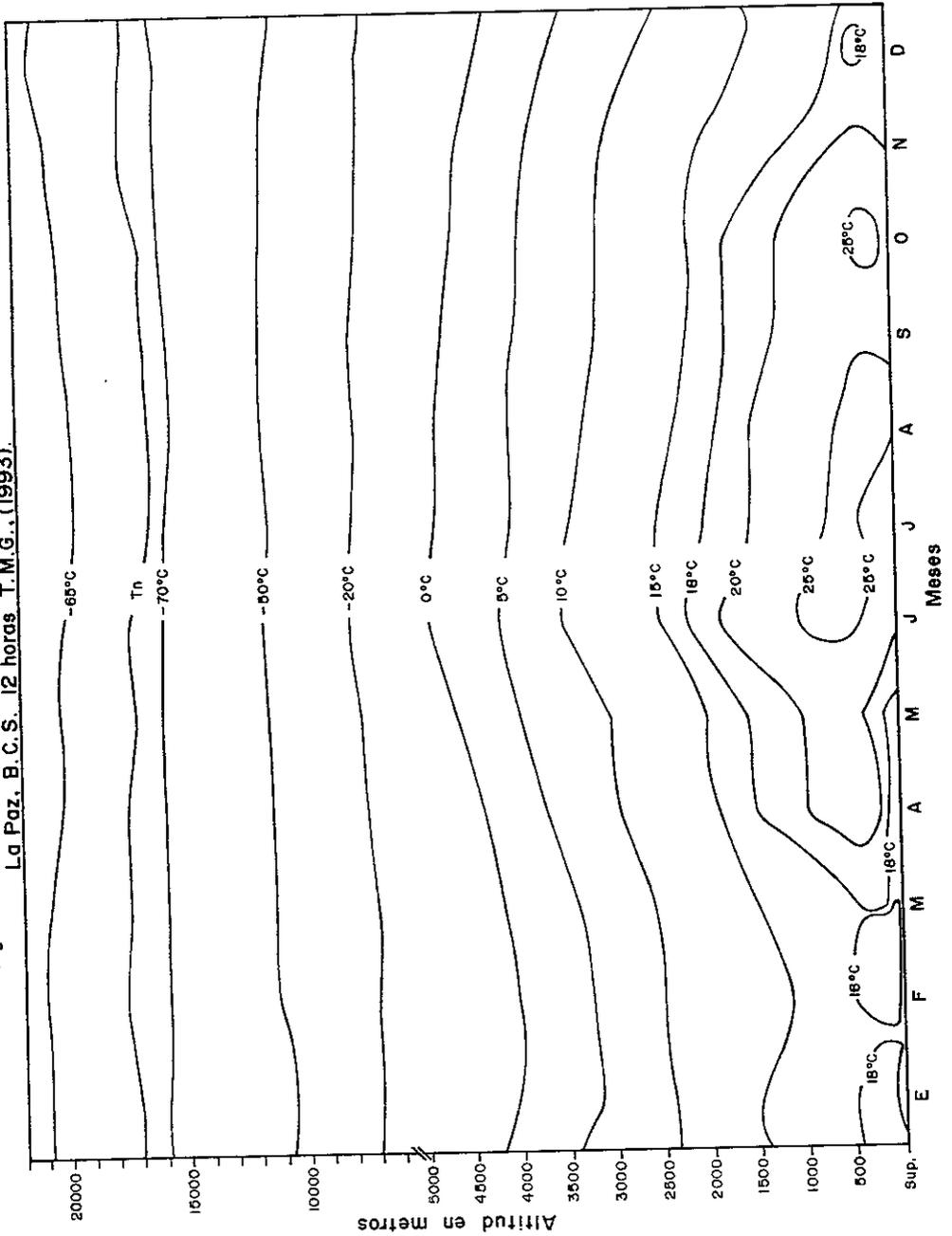
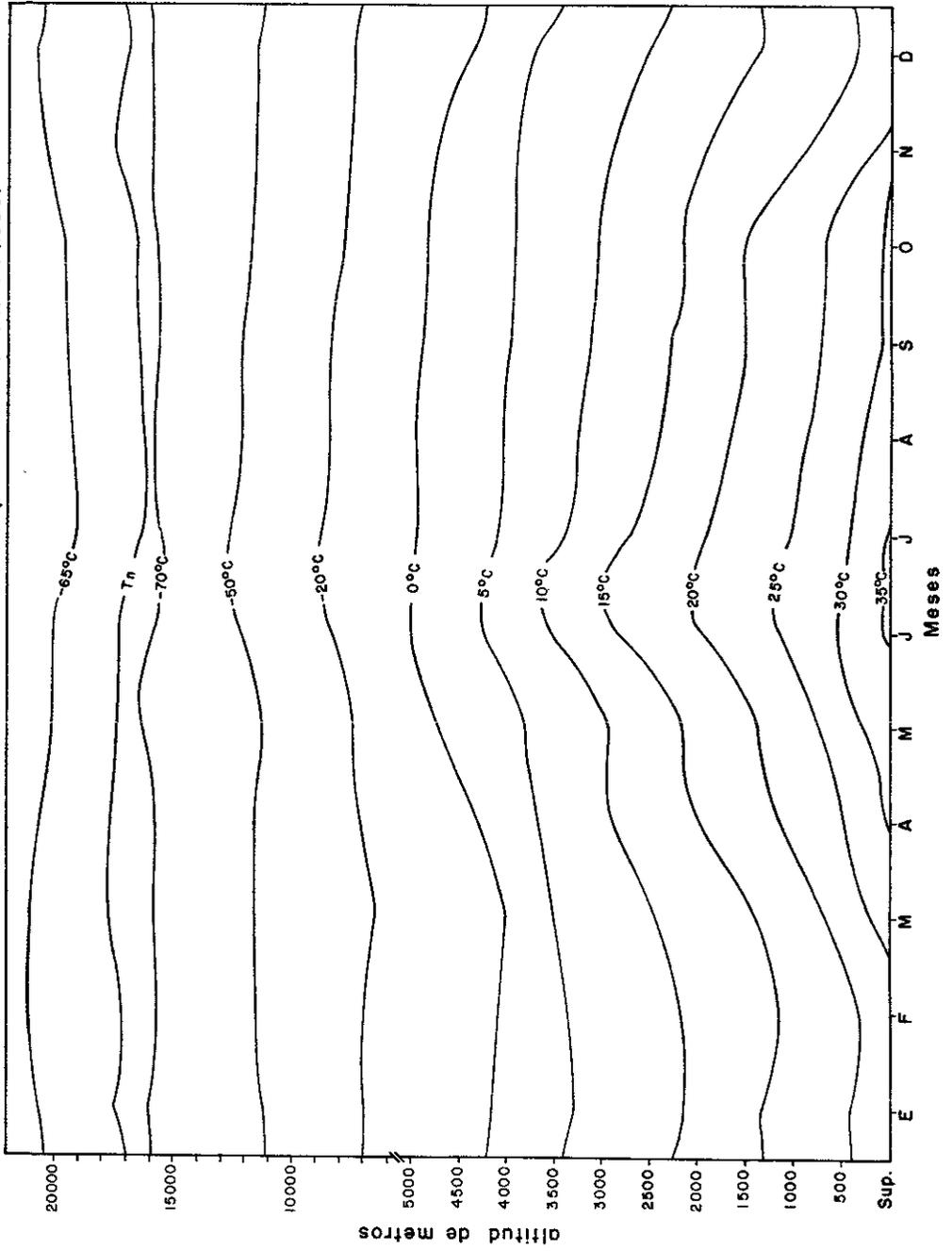


Figura 12. Distribución de la temperatura en la
Atmósfera . La Paz , B.C.S. 00 horas T.M.G. (1993)



Las inversiones térmicas que afectan en mayor medida al clima urbano de La Paz son las inversiones en superficie causadas por radiación. Durante la noche, la superficie de la Tierra se enfría por radiación (radiación nocturna). Si este enfriamiento continúa bastante tiempo, el aire en contacto con la superficie terrestre puede enfriarse más que las capas de aire a mayor altura, ocasionando la inversión térmica (O.M.M., 1979b). El grado y gradiente del estrato enfriado depende, entre otros factores, de la velocidad del viento, la cantidad de nubosidad, el tipo de superficie, el número de horas de oscuridad (noche), así como también de la temperatura inicial (Ministerio del Aire, 1967a y b).

En la Figura 11, se puede observar que durante todos los meses del año se presenta, en la madrugada, una inversión térmica y, también, se aprecia que la profundidad y el gradiente de la temperatura varían de un mes a otro.

La profundidad media anual de la inversión térmica es de 285 metros de altura; ésta es mayor en la primavera y el verano, alcanzando en junio el valor máximo medio de 475 m.s.n.m. (Gráfica 9). La profundidad se reduce en otoño y en invierno, alcanzando en noviembre la altura mínima promedio de 120 m.s.n.m.

El gradiente medio anual de la inversión térmica es de 1.7°C por cada 100 metros de altura; es más intenso en febrero, marzo, octubre y noviembre, con valores de más de 2°C por 100 m; mientras que los valores mínimos se presentan en agosto, julio y septiembre, con menos de 1°C por 100 m (Gráfica 10 y Figura 11).

La frecuencia media de las inversiones térmicas superficiales en La Paz es de 72% al año (Gráfica 11). Es alta desde octubre hasta junio, con más del 70%; decrece en los meses de julio, agosto y septiembre debido a que el aumento de vapor de agua y nubosidad evitan una mayor pérdida de calor por radiación nocturna. Según Jáuregui (1983), este decrecimiento es más notorio en lugares costeros semiáridos como La Paz; además, este autor, señala que las inversiones superficiales son muy frecuentes durante la noche y la madrugada en todo el país y como se ha visto, La Paz no es la excepción.

1.3.3.2 Fenómenos de obstrucción a la visión.

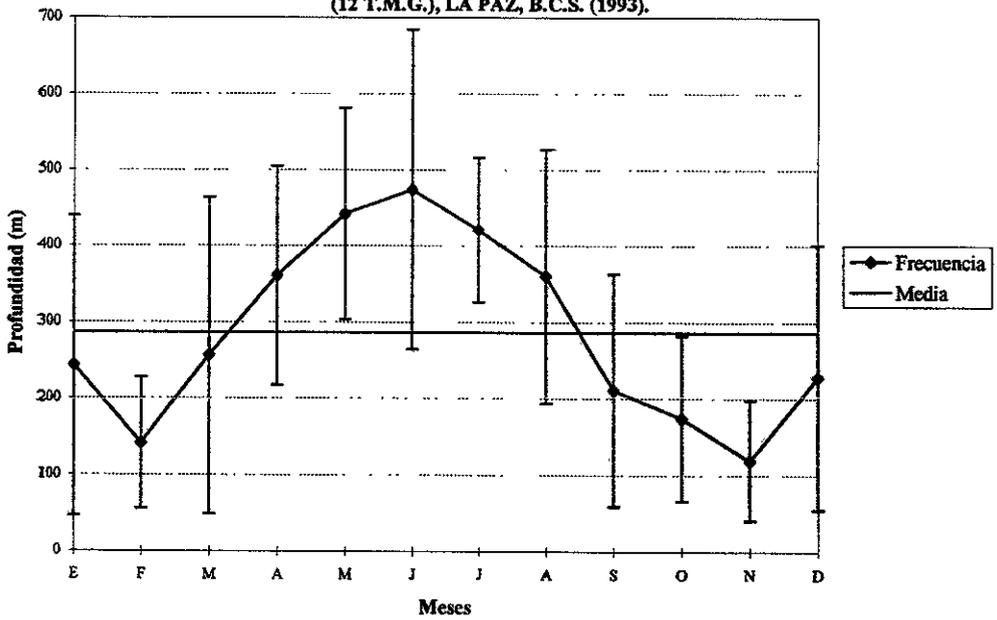
Dentro de los principales factores que influyen en la visibilidad, se encuentran la precipitación, la niebla, el humo, las partículas oleaginosas y salinas, así como también el polvo, los rociones y la arena que son levantados y arrastrados por el viento.

La visibilidad en La Paz se ve afectada principalmente por el polvo. La niebla se forma en las afueras, al sur de la ciudad, y junto con la lluvia que es muy escasa, no constituyen un fenómeno importante en la obstrucción de la visión en la ciudad.

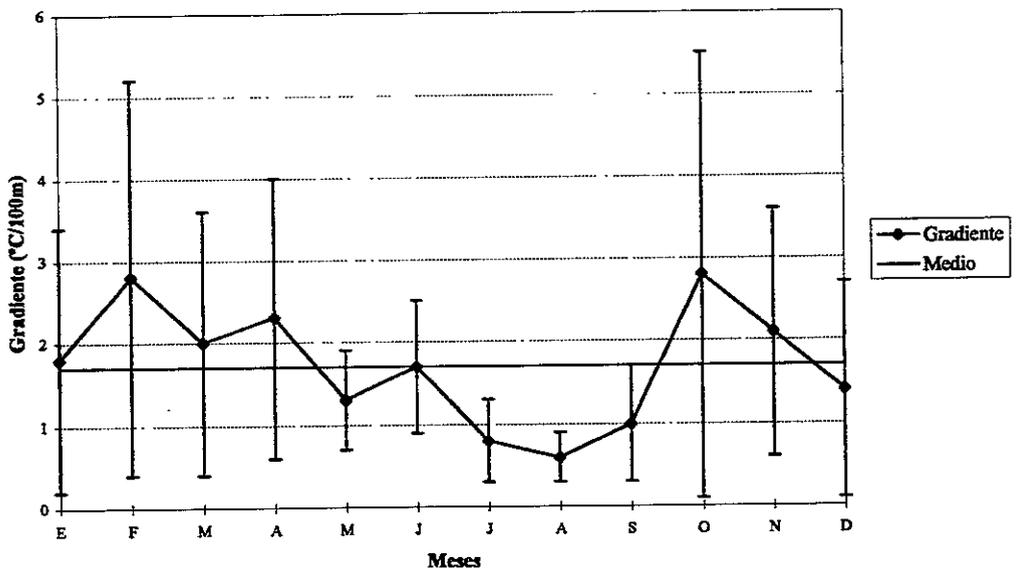
Las inversiones térmicas en superficie influyen en el clima de La Paz, pues no permiten la dispersión de las partículas sólidas suspendidas en el aire, por lo que se concentran en las capas bajas y provocan el fenómeno de obstrucción a la visión conocido como bruma (calima). Este litometeor, está compuesto principalmente por el polvo que levantan los automóviles al transitar por las calles que, todavía, están sin pavimentar en la ciudad. Dicho fenómeno se incrementa, sobre todo, en la mañana cuando, al iniciarse las labores diarias, aumenta el tráfico en La Paz. A estas horas se tiene una visibilidad aproximada de 15 kilómetros.

Las inversiones térmicas duran aproximadamente hasta las 10 de la mañana, cuando se observa que la bruma comienza a disiparse pues una vez que la atmósfera se calienta, el aire sube y, se rompe la inversión térmica. Entonces, la visibilidad aumenta considerablemente a 30 kilómetros y, en algunos días, hasta 35 kilómetros.

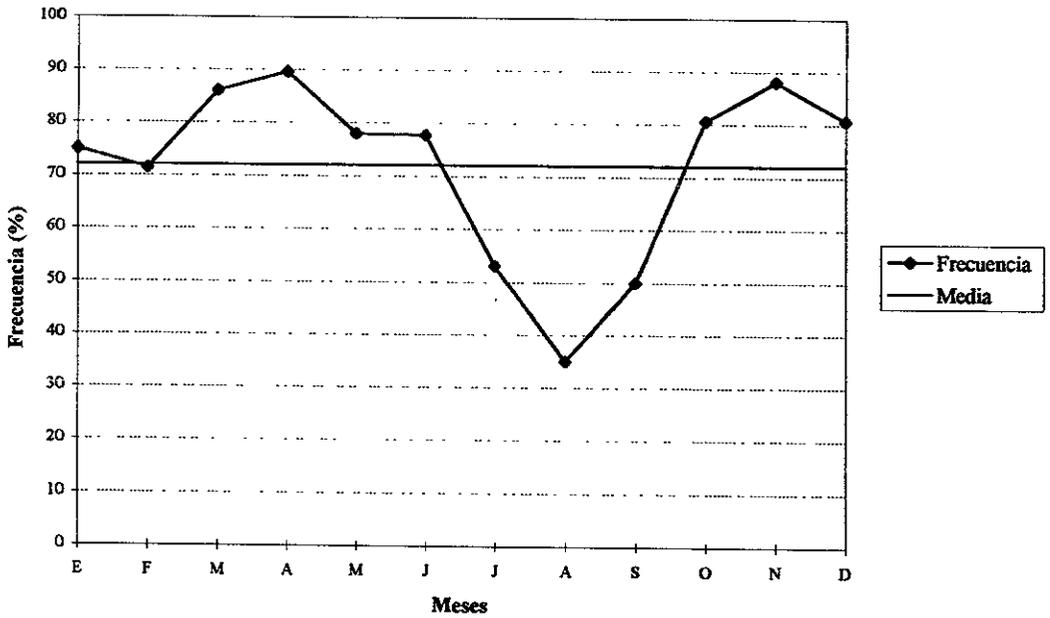
GRAFICA 9.
PROFUNDIDAD MEDIA DE LA INVERSION TERMICA
(12 T.M.G.), LA PAZ, B.C.S. (1993).



GRAFICA 10.
GRADIENTE MEDIO DE TEMPERATURA DE LA
INVERSION TERMICA (12 T.M.G.). LA PAZ, B.C.S. (1993).



GRAFICA 11.
FRECUENCIA MENSUAL DE LAS INVERSIONES
TERMICAS SUPERFICIALES (12 T.M.G.). LA PAZ, B.C.S. (1993).



La frecuencia media anual de bruma en La Paz es muy alta, del 78% (1992-1997). Y como se puede apreciar en la Gráfica 12, ocho meses al año sobrepasan el 70% de días con bruma al mes.

Por otra parte, el polvo levantado por los vehículos que transitan en la ciudad o por el viento cuando sopla con cierta intensidad, no sólo ocasiona la reducción de la visibilidad, sino que puede llegar a afectar la salud de las personas.

La frecuencia de días en que el polvo es levantado por el viento es menor, se tiene en promedio un 28% (1992-1997) de días con polvo al año. En la Gráfica 13, se puede observar la frecuencia mensual, los meses con un mayor número de días con polvo son marzo, enero y octubre con más del 40% de días por mes.

1.3.4 Evaporación y humedad.

La humedad contenida en la atmósfera proviene de la evaporación de las fuentes acuosas como son los océanos, los lagos, los ríos y el suelo mojado, así como también de la transpiración de las plantas. La mayor parte de la humedad contenida en la atmósfera se encuentra dentro de los primeros 6 kilómetros de altura. A su vez, el vapor de agua sale del aire a través de la condensación y, posteriormente, de la precipitación.

1.3.4.1 Poder evaporante de la atmósfera.

La tasa de evaporación, es decir la velocidad con que se evapora el agua, se expresa en milímetros de agua por un período de tiempo (diario, mensual, anual). Dicha tasa, varía constantemente y depende de dos clases de factores, por un lado, los parámetros meteorológicos y por el otro, el tipo de superficie evaporante.

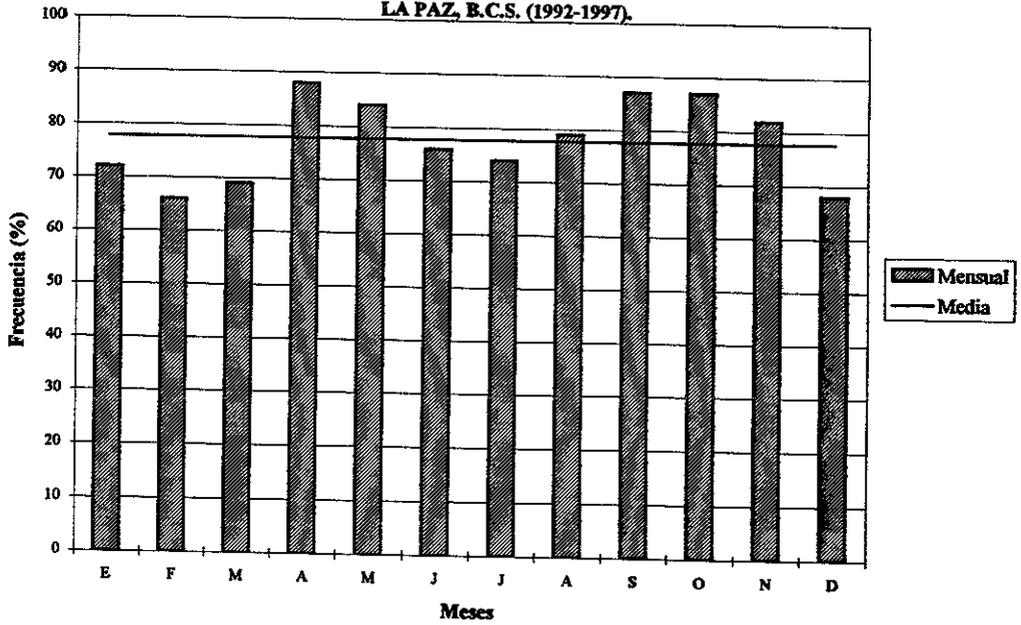
Cabe distinguir entre la evaporación potencial y la evaporación real. La primera, es el poder evaporante que tiene la atmósfera, se mide a partir de una superficie de agua (evaporímetro) que está en constante equilibrio con la atmósfera, y su evaporación depende solamente de las condiciones meteorológicas, como la humedad, temperatura, radiación solar, viento y presión. La evaporación es mayor cuanto más elevada sea la radiación solar y la temperatura, cuando haya una diferencia considerable entre la temperatura del agua y la del aire, también cuanto más seco sea el aire, más rápido el viento y haya una menor presión.

La evaporación real es la tasa de evaporación de una superficie húmeda (suelo o vegetación), ésta no sólo depende del poder evaporante de la atmósfera, sino también de la disponibilidad de agua debida a la precipitación o al riego. En el suelo inundado o húmedo, la evaporación disminuye el contenido de humedad que tiene la capa superficial y, poco a poco, provoca su desecamiento casi total; en ese momento la evaporación se detiene. Aunque siempre queda en el suelo cierta cantidad de agua (higroscópica) que está en equilibrio con la humedad del aire, ésta no puede ser extraída por la evaporación (Remeneiras, 1974).

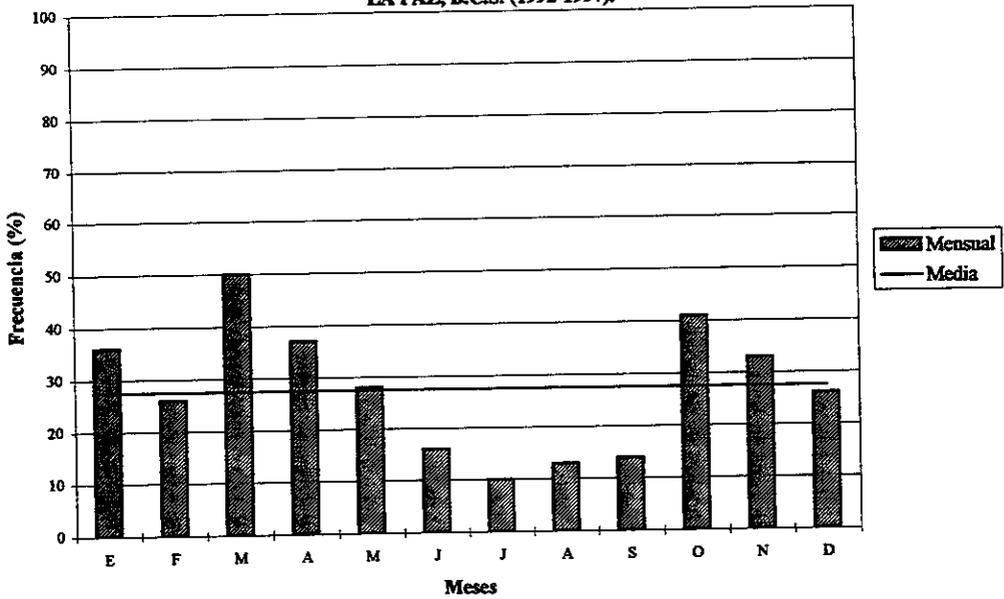
A medida que se evapora el agua, el vapor se mezcla lentamente con el aire por medio de la difusión. La distribución del vapor de agua está controlada por el movimiento del aire, es decir por la circulación local, regional y general.

En la ciudad de La Paz, la evaporación media anual del tanque tipo A es de 2,472.3 mm y la media mensual es de 206 mm (1981-1997). Sin embargo, como se puede apreciar en la Gráfica 14, la evaporación potencial varía enormemente con la estación del año, es mayor durante los meses de junio, mayo y julio, con más de 250 mm al mes. Estos corresponden a los meses que tienen una mayor

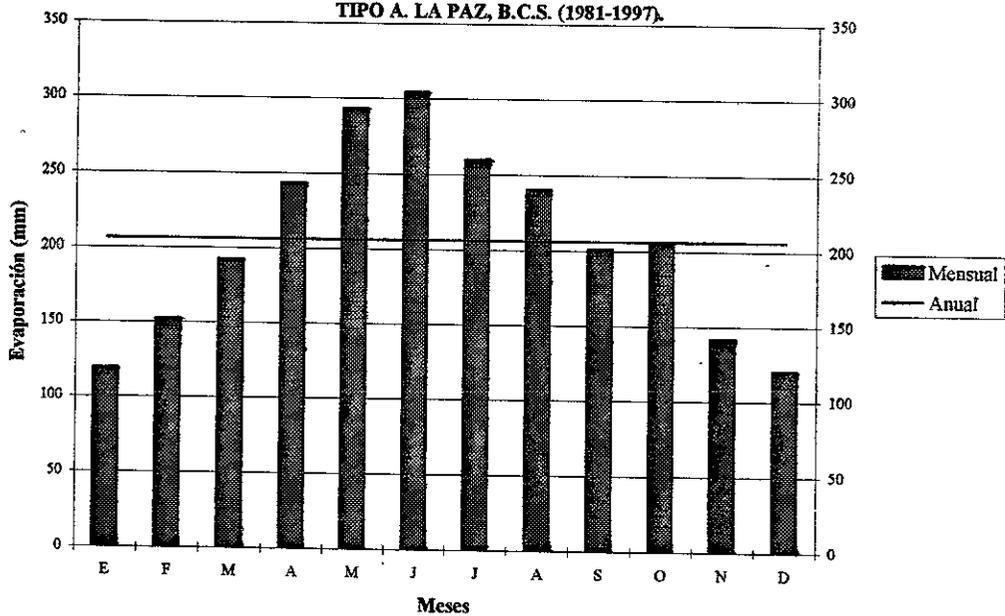
GRAFICA 12.
FRECUENCIA DE DIAS CON BRUMA.
LA PAZ, B.C.S. (1992-1997).



GRAFICA 13.
FRECUENCIA DE DIAS CON POLVO.
LA PAZ, B.C.S. (1992-1997).



GRAFICA 14.
EVAPORACION MEDIA DEL TANQUE
TIPO A. LA PAZ, B.C.S. (1981-1997).



insolación, una alta temperatura y un menor contenido de humedad. A pesar de que la temperatura media es, por lo general, más alta en los meses de agosto y septiembre, la evaporación disminuye porque el contenido de humedad y la nubosidad aumentan. Durante los meses de invierno, cuando disminuyen la insolación y la temperatura, y aumenta la humedad relativa, se registran las lecturas más bajas en la evaporación, principalmente en enero, diciembre y noviembre con una evaporación media menor de 150 mm.

1.3.4.2 Humedad.

El vapor de agua es uno de los componentes más importantes de la troposfera porque regula la temperatura en la superficie terrestre y, aunque su cantidad es variable, de él dependen la formación de todos los fenómenos hidrometeorológicos.

La zona de estudio se encuentra en la franja de los grandes desiertos del mundo, en donde las altas presiones favorecen la subsidencia del aire y el calentamiento adiabático, provocando un tiempo seco, ya que el aire está muy lejos de satisfacer su capacidad de contención de vapor de agua y no se satura, por lo que no se forman nubes ni hay lluvia.

Por más seco que esté el aire, siempre contiene cierta cantidad de vapor de agua. La humedad relativa media anual en La Paz es de 62% (1941-1997), pero varía de un mes a otro. Los meses que presentan un porcentaje más alto de humedad son enero, noviembre y diciembre, mientras que los meses más secos son abril, mayo y junio (Gráfica 15).

La humedad relativa diaria varía en forma opuesta a la temperatura, tiende a ser más baja después de mediodía y más elevada por la noche y la madrugada, cuando la depresión del bulbo húmedo se reduce. Durante los meses más secos, a mediodía se alcanza a tener, en ocasiones, una humedad relativa por debajo del 10%.

Otra manera para medir la humedad que hay en la atmósfera es a partir de la tensión del vapor, que es la presión que ejerce, sobre una superficie y en un momento dado, el vapor de agua que tiene el aire. La tensión del vapor depende de la humedad y la temperatura, a medida que aumenta la temperatura, se incrementa la capacidad del aire para contener vapor de agua.

La tensión media del vapor de agua en La Paz es de 17.4 milibares (1921-1997). En la Gráfica 16, se puede observar la variación de la tensión del vapor a lo largo del año. Los meses con una mayor tensión de vapor de agua son julio, agosto y septiembre que son los más cálidos, mientras que los meses con menor tensión de vapor son enero, febrero, marzo y diciembre que son los más frescos.

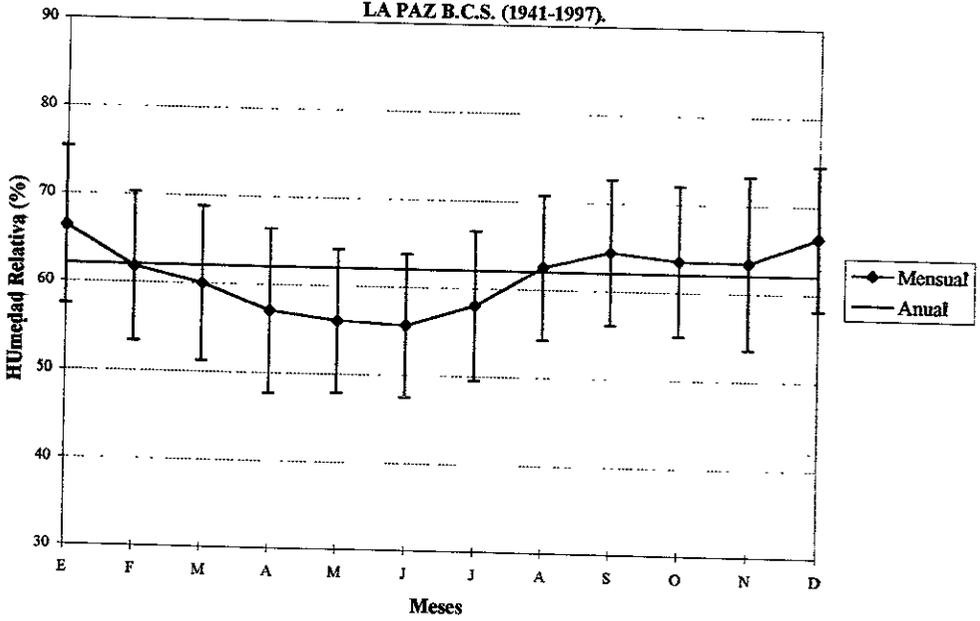
Para mantener el equilibrio de la humedad en una determinada latitud, la atmósfera, por medio de la circulación general, transporta vapor de agua tanto horizontal como verticalmente. Por estar localizada a una latitud cerca del cinturón subtropical de altas presiones, La Paz se encuentra en una zona de divergencia en donde el aire desciende y favorece un tiempo seco. De ahí que la evaporación local no constituya, por lo general, la fuente principal de la condensación y de la precipitación, sino más bien, la afluencia de humedad, transportada por la advección de las masas de aire húmedo, es la que contribuye a la formación de nubes y precipitación.

1.3.5 Formas de condensación. Rocío, nieblas y nubes.

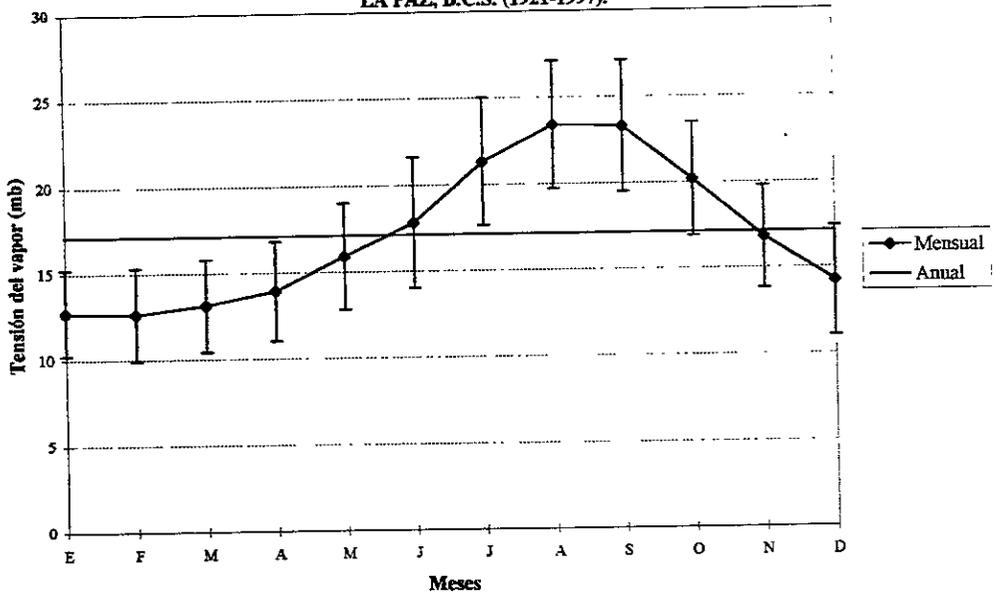
La saturación del vapor de agua en el aire se logra mediante el enfriamiento o la agregación de humedad. Una vez que se alcanza la temperatura de punto de rocío y la saturación, el vapor de agua excedente se condensa formando nubes, niebla o rocío.

En las zonas desérticas, el aire no contiene mucho vapor de agua, pero en las noches frescas el

GRAFICA 15.
 HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO.
 LA PAZ B.C.S. (1941-1997).



GRAFICA 16.
TENSION MEDIA DEL VAPOR DE AGUA.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



aire cerca del suelo se encuentra a menudo saturado. Esto no se debe a que haya más vapor de agua que en el día, sino porque al bajar la temperatura en la noche, la capacidad de contención de vapor de agua se reduce tanto que la cantidad ya existente de vapor satura al aire. Siempre que el vapor de agua es condensado se libera tanta energía como la que se usó para producir el vapor de agua. El calor latente liberado puede producir un aumento en la temperatura ambiente.

1.3.5.1 Rocío y nieblas.

El rocío y las nieblas se forman en La Paz, durante la noche y la madrugada, como resultado de la radiación nocturna que da lugar a una inversión térmica en la superficie y que impide los movimientos verticales obligando a la humedad a concentrarse en los primeros niveles. Debido al enfriamiento, la temperatura puede llegar al punto de rocío, obteniendo la condensación en forma de pequeñas gotas sobre las superficies frías o en nieblas. Por lo general, para que se formen estos tipos de hidrometeoros, el cielo debe estar despejado la noche anterior para que el calor se escape al espacio y la temperatura descienda lo suficiente. Asimismo, si hay calma la humedad se deposita en el suelo y se forma el rocío, pero si el viento es ligero, este distribuye la humedad en el aire, formando nieblas. Cuando la temperatura aumenta, el rocío se evapora y las nieblas se disipan fácilmente.

En La Paz, se tiene una frecuencia media del 37% de días al año con rocío. En la Gráfica 17 se observa que los meses con mayor frecuencia de rocío son enero, con más del 60%, noviembre, febrero y diciembre con cerca del 50% de días al mes.

El rocío es muy importante en los climas secos, pues el agua depositada de esta manera puede superar, en ocasiones, a la precipitación beneficiando en gran medida a las plantas.

La frecuencia media de días con niebla es del 2% al año (1992-1997). En la Gráfica 18 se observa que los meses con mayor frecuencia se presentan en primavera e invierno. Como se mencionó anteriormente, la niebla se forma en las afueras al sur de la ciudad por lo que afecta la visibilidad en la carretera, más no dentro de La Paz. Estas nieblas, al igual que la bruma, se disipan en la mañana una vez que la temperatura comienza a subir.

También las nieblas, pueden ser fuente de humedad para las plantas, pues las gotitas de agua de niebla recogidas por los árboles o arbustos se precipitan o se escurren por la planta hasta el suelo, proporcionándoles agua.

1.3.5.2 Nubosidad.

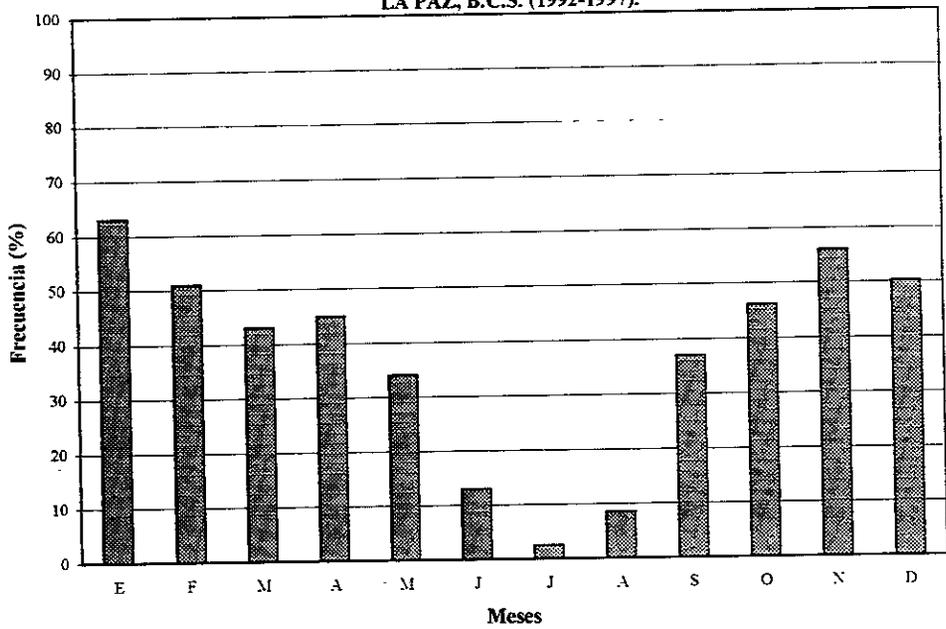
La cantidad de nubes y su espesor influyen en la penetración o en la reflexión de la radiación solar. De tal manera que, el tipo de nubes afecta el albedo, por ejemplo, en los cirroestratos éste es menor (45%) que en los cumulonimbos (90%), ocasionando que penetre mayor radiación en los primeros y por consiguiente que se genere una mayor temperatura.

El efecto de la nubosidad también es inverso, pues una capa de nubes retiene la mayor parte del calor que, de otro modo, se perdería por la radiación terrestre durante la noche, evitando una alta oscilación térmica.

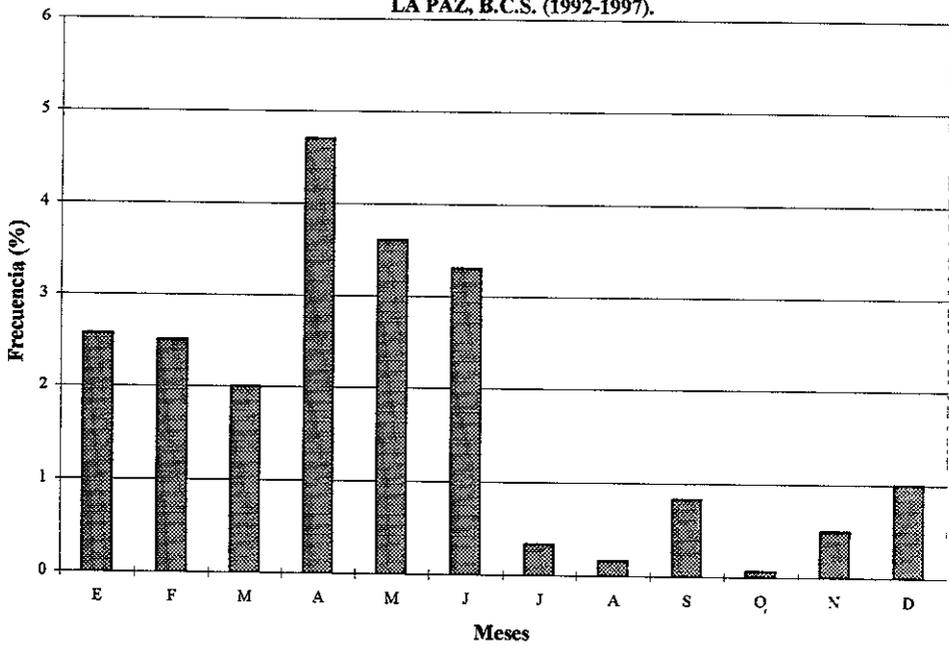
Estado del cielo.

En la Gráfica 19, se puede apreciar el promedio del estado del cielo en La Paz, en cuanto a los días despejados, medio nublados y nublados. Se observa que los meses con un mayor número de días despejados son de marzo a junio y octubre, con 15 ó más días despejados; los meses que presentan un mayor número de días medio nublados son julio y agosto con más de 15 días; y los meses con mayor

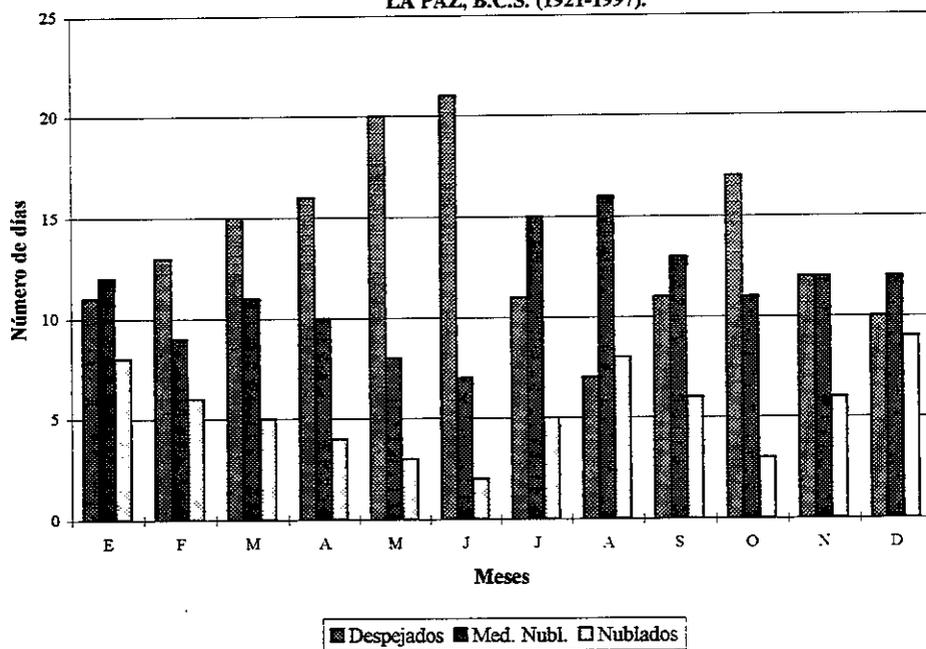
GRAFICA 17.
FRECUENCIA DE DIAS CON ROCIO.
LA PAZ, B.C.S. (1992-1997).



GRAFICA 18.
FRECUENCIA DE DIAS CON NIEBLA.
LA PAZ, B.C.S. (1992-1997).



GRAFICA 19.
ESTADO DEL CIELO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



mayor número de días medio nublados son julio y agosto con más de 15 días; y los meses con mayor número de días nublados son diciembre, enero y agosto, con más de 7 días.

El promedio anual de 1921 a 1997 arroja 164 días despejados lo que representa un 45%, 136 días medio nublados, con un 37%; y 65 días nublados, con el 18%.

Cobertura de nubes.

La cobertura media de nubes en La Paz es de aproximadamente 3 octas al año (1921-1997). En la Gráfica 20, se aprecia la cantidad media de nubes de cada mes, observando que los meses que presentan la fracción más baja son junio, mayo y abril, con cerca de 2 octas que corresponden a los meses más secos y que están, también, asociados a un sistema de alta presión sobre el Pacífico que favorece un tiempo estable y seco.

Los meses con mayor cobertura de nubes son los de verano, julio, agosto y septiembre, con aproximadamente una media de 4 octas; y los de invierno, diciembre y enero, con una media de cerca de 4 octas, y que en conjunto corresponden a los meses en donde se registra una mayor afluencia de humedad del océano Pacífico.

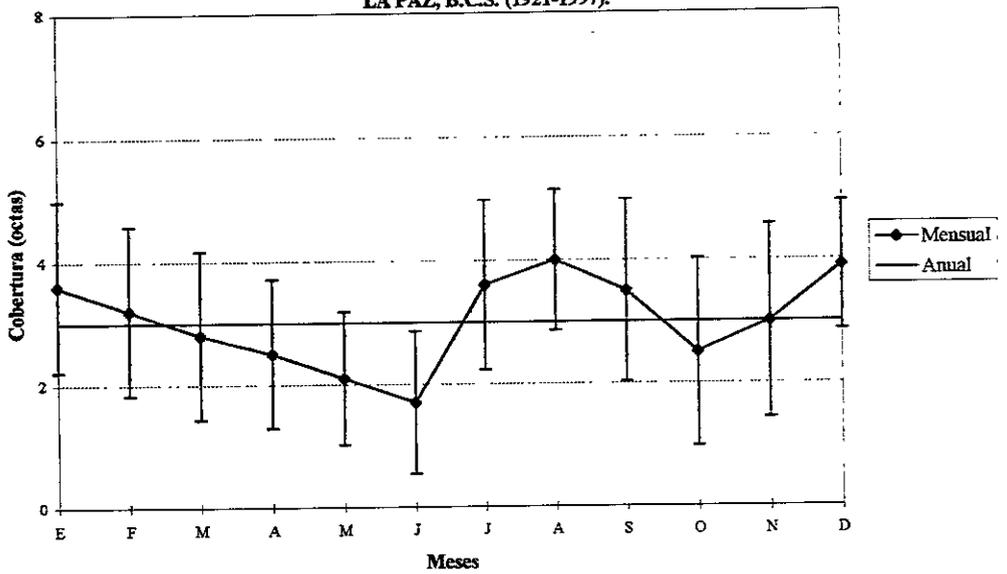
Tipos de nubes.

El género de nubes más común en La Paz son los cirros, que en general tienen una dirección del suroeste y son dominantes desde octubre hasta mayo. Estas nubes están relacionadas con la corriente de chorro subtropical, que en esta época se traslada más al sur y favorece la entrada de humedad desde el océano Pacífico, así como la propagación de nubes altas en estas latitudes. La presencia de los frentes fríos en diciembre y enero, origina que estos meses sean más húmedos por lo que se forman también nubes medias y bajas como los altocúmulos y estratocúmulos.

En junio, julio y agosto, que son meses donde la temperatura es alta y comienza a haber afluencia de aire húmedo del sur, se empieza a observar cierta inestabilidad limitada como lo indican los altocúmulos, que son el tipo de nubes dominantes en esta época y que en general tienen una dirección del sureste. En ocasiones, se observan los estratocúmulos que indican saturación e inestabilidad en una capa delgada cerca del suelo.

En septiembre es cuando se tiene la mayor inestabilidad atmosférica, como resultado de las altas temperaturas y del incremento en la afluencia de aire húmedo tropical, de ahí que sean dominantes los cúmulos y los cumulonimbos. En la mañana, se forman cúmulos pequeños o de buen tiempo (*Cu humilis*) que al comienzo de la tarde, conforme aumenta la inestabilidad, se van desarrollando verticalmente con bastante rapidez, pasando por los *Cu mediocris* y los *Cu congestus*, hasta formarse los cumulonimbos. Estos alcanzan un gran desarrollo vertical, se observan principalmente los *Cb calvus* que al estabilizarse sus cimas, pasan a formar los *Cb capillatus*. Estas nubes de inestabilidad absoluta, provienen del sureste y es notable como al llegar a la ciudad de La Paz por lo general se frenan. Se aprecia con peculiaridad, el cielo completamente cubierto hacia el sureste y totalmente despejado desde La Paz hacia el norte. La detención de estas nubes se debe a que la brisa marina que sopla, con una dirección del noroeste, a esa hora en La Paz impide su avance (Figura 15). Se ha observado que, solamente en algunas ocasiones, cuando el viento vira hacia el noreste y el este es que los grandes cumulonimbos, venciendo la brisa del mar, alcanzan a atravesar la ciudad y precipitan su lluvia sobre La Paz. Después de precipitar, y al descender la temperatura, la nubosidad se reduce hasta desvanecerse, o bien, se estratifica en capas medias o altas formando, respectivamente, un manto de altocúmulos o de cirroestratos *cumulonimbogenitus*.

GRAFICA 20.
COBERTURA MEDIA DE LAS NUBES.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



1.3.6 Precipitación.

Aún cuando haya humedad en el aire de alguna región determinada, sólo se convierte en precipitación una pequeña parte de ella, pues se depende de la eficacia de los mecanismos de condensación y de precipitación, tanto a microescala como a macroescala.

1.3.6.1 Precipitación anual.

La Paz, al igual que el estado de Baja California Sur, se encuentra en su mayor parte ubicado en las calmas subtropicales, de ahí que la precipitación sea escasa

La precipitación media anual de La Paz, para el período de 1921-1997, fue de 184.8 mm. Sin embargo, la cantidad de lluvia que cae en determinado mes o año es rara vez igual a la que cae en el mismo mes de otro año o en el año siguiente. La variabilidad en la precipitación aumenta con la sequedad del clima, por lo que en los climas secos es muy difícil predecir la cantidad de precipitación que habrá en un mes o en un año determinado (García, 1978).

En La Paz (Gráfica 21), como es muy común en las zonas secas, el número de años en que la lluvia está por debajo de lo normal es mayor (46 años) que cuando está por encima de la media (24 años)⁷. El año más lluvioso ha sido 1943, con 622 mm y el año más seco ha sido 1963, con solamente 25.7 mm (Anexos 16-27). Cabe señalar que los años húmedos, que son ocasionales pues representan sólo el 33% del total de años, tienden a aumentar la media aritmética de la precipitación, y propocionan una imagen engañosamente optimista de la cantidad de lluvia que se puede esperar.

Mosíño y García (1978) demostraron que la moda estadística, es decir el valor más frecuente de la precipitación, es más representativa de la tendencia central que la media aritmética o promedio generalmente usado. Asimismo, García y Hernández (1988) señalan que la media aritmética se presenta con muy baja probabilidad hasta de 50% o menos, mientras que la moda estadística tiene una probabilidad de ocurrir entre el 70% y 75%. Todos estos autores concluyen que la moda es, por lo tanto, de gran utilidad para determinar el índice de pluviosidad de una zona.

1.3.6.2 Índice de sequía o pluviosidad.

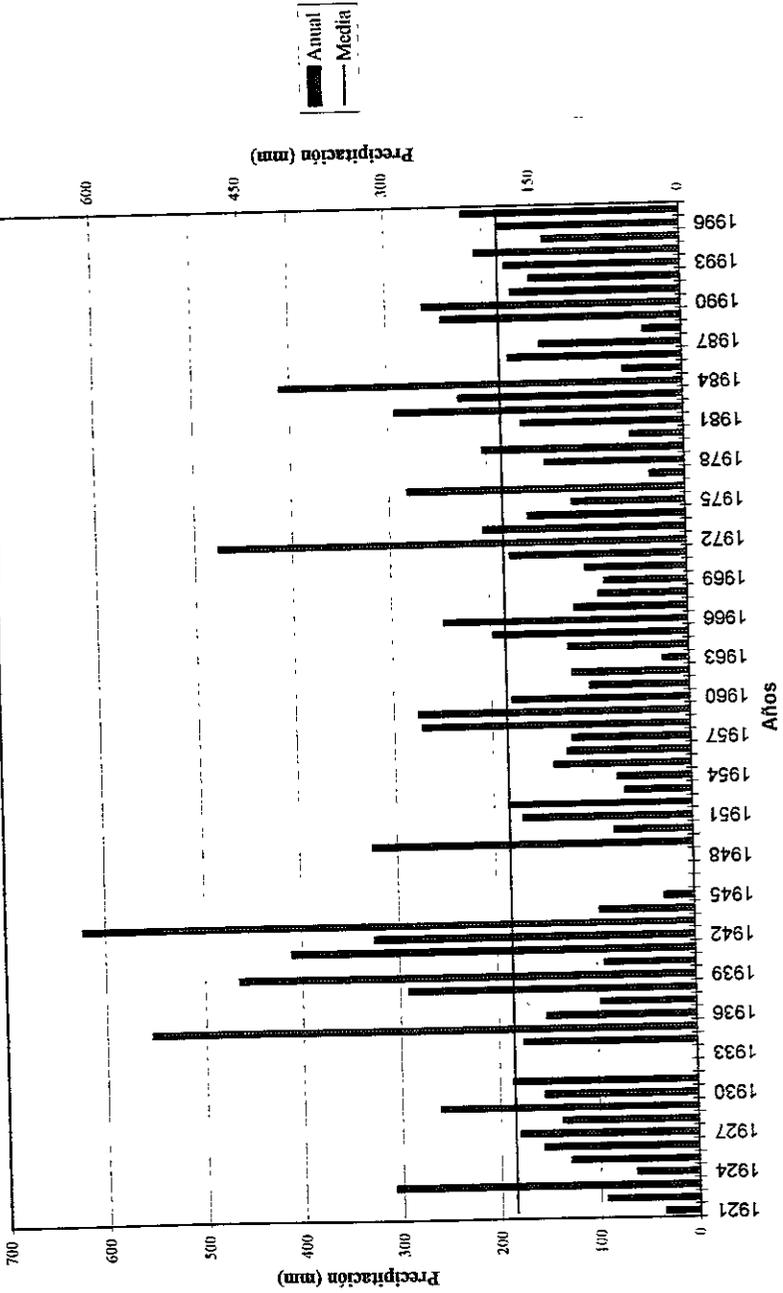
Ante esta situación, se calculó la moda estadística de la precipitación anual en La Paz, que para el período de 1921 a 1997 fue de 137.0 mm. De los 77 años estudiados en La Paz, sólo en 72 años hubieron datos completos de precipitación y de éstos, 26 años, o sea el 36% tuvieron una precipitación inferior a la moda; mientras que 46 años, es decir, el 64% presentaron una precipitación igual o mayor que la misma (Gráfica 22).

Las anomalías anuales de la precipitación con respecto a la moda se calcularon según la fórmula propuesta por García y Hernández (1988). Estas autoras señalan que dichos valores son una referencia más significativa para determinar el grado de sequía o pluviosidad que los basados en la media aritmética, y clasifican las anomalías de la precipitación en siete grupos de acuerdo a la configuración de las áreas lluviosas en México. Se consideran como normales los años que presentan anomalías entre 0% y +25%, lluviosos los de anomalía entre 25% y 50%, muy lluviosos entre 50% y 100% y lluviosos en extremo los de anomalías mayores al 100%; secos los años de anomalías entre 0% y -25%, muy secos entre -25% y -50% y secos en extremo con anomalías menores de -50%.

Del total de años analizados en La Paz, el 18% (13 años) fueron normales, el 16.5% (12 años) fueron lluviosos, el 16.5% (12 años) fueron extremadamente lluviosos, el 14% (10 años) fueron años

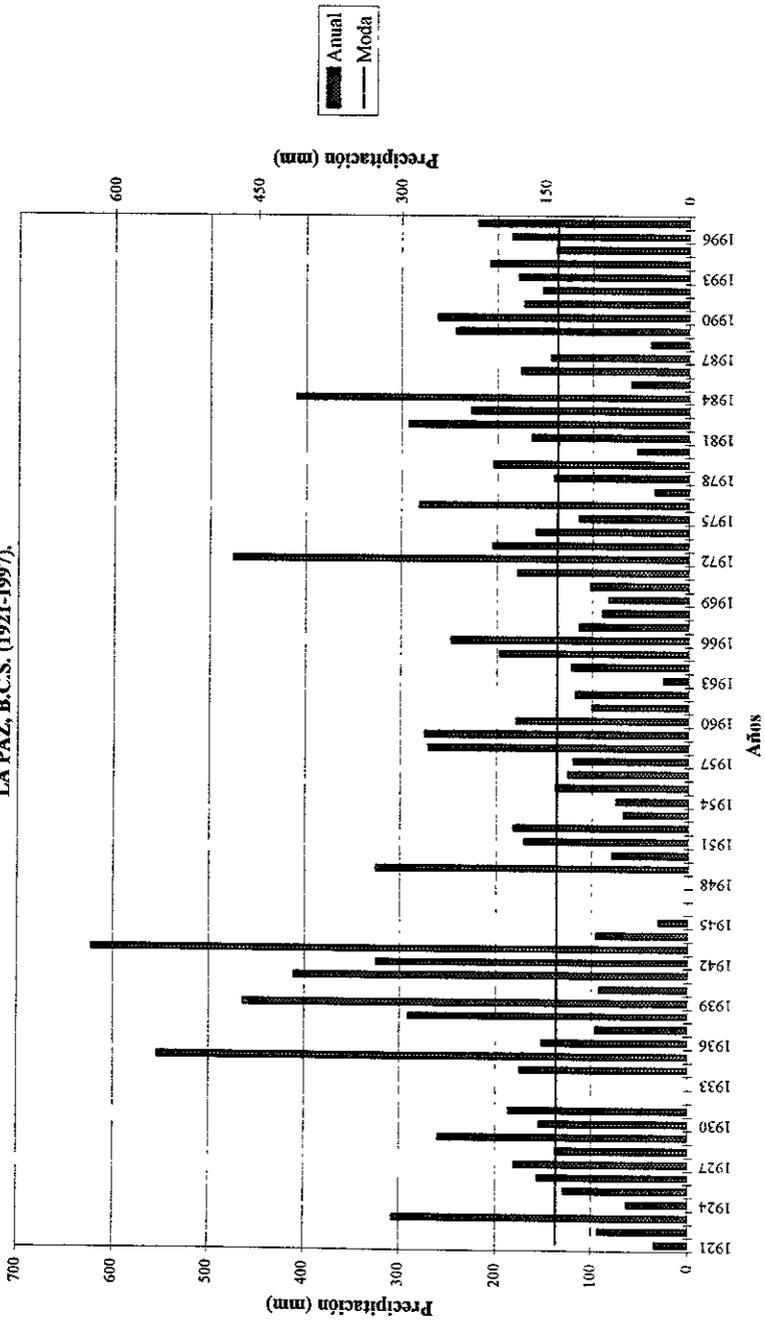
⁷ Los años en que no aparece nada de precipitación corresponden a años con datos incompletos o sin datos.

GRAFICA 21.
PRECIPITACION ANUAL Y MEDIA ANUAL.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



Nota: Los años en que no aparece ninguna precipitación corresponden a años con datos incompletos o sin datos.

GRAFICA 22.
PRECIPITACION ANUAL Y MODA ANUAL.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



Nota: Los años en que no aparece ninguna precipitación corresponden a años con datos incompletos o sin datos

muy secos, el 12.5% (9 años) fueron años muy lluviosos, el 12.5% (9 años) fueron años extremadamente secos y el 10% (7 años) fueron años secos (Anexo 28).

1.3.6.3 Régimen pluviométrico.

En la ciudad de La Paz existe un patrón estacional de lluvias bien definido. Al estar localizada relativamente cerca del ecuador, La Paz tiene un período breve de relativa fuerte lluvia durante el verano causado, por un lado, por el desplazamiento hacia el norte de la zona intertropical de convergencia y, por el otro, por la influencia de los ciclones tropicales. En el invierno, estas latitudes también se ven afectadas por los ciclones extratropicales y los frentes fríos que se forman en las latitudes medias y que provocan lluvia al pasar hacia el sur.

El régimen pluviométrico en La Paz es principalmente de verano, ya que el 64% de la precipitación se presenta en los meses de julio, agosto y septiembre. Y como se puede observar en la Gráfica 23, este último es el mes en que se registra la mayor precipitación, con una media de 58.3 mm. En invierno se recibe el 21% del total de la precipitación anual, sobre todo en el mes de diciembre en que caen en promedio 21.4 mm, y que constituyen las lluvias llamadas "equipatas". Los meses de estiaje son de marzo a junio, siendo abril el más seco pues prácticamente no se recibe ninguna precipitación, 0.5mm en promedio. Jáuregui y Cruz (1980) señalan que las lluvias más confiables, por ser las más frecuentes, son las provocadas por las surgencias de humedad que penetran y viajan a lo largo del golfo de California.

La máxima precipitación mensual registrada en La Paz fue en septiembre de 1943, cuando llovieron 381.6 mm. Esto fue debido a que un ciclón tropical, que pasó a 70 km al sur de La Paz, dejó 321 mm de lluvia en 5 días (del 19 al 23 de sep.). Este año, como se mencionó anteriormente, ha sido el más lluvioso desde 1921 hasta 1997.

1.3.6.4 Frecuencia de días con lluvia e intensidad de la precipitación.

Frecuencia de días con lluvia.

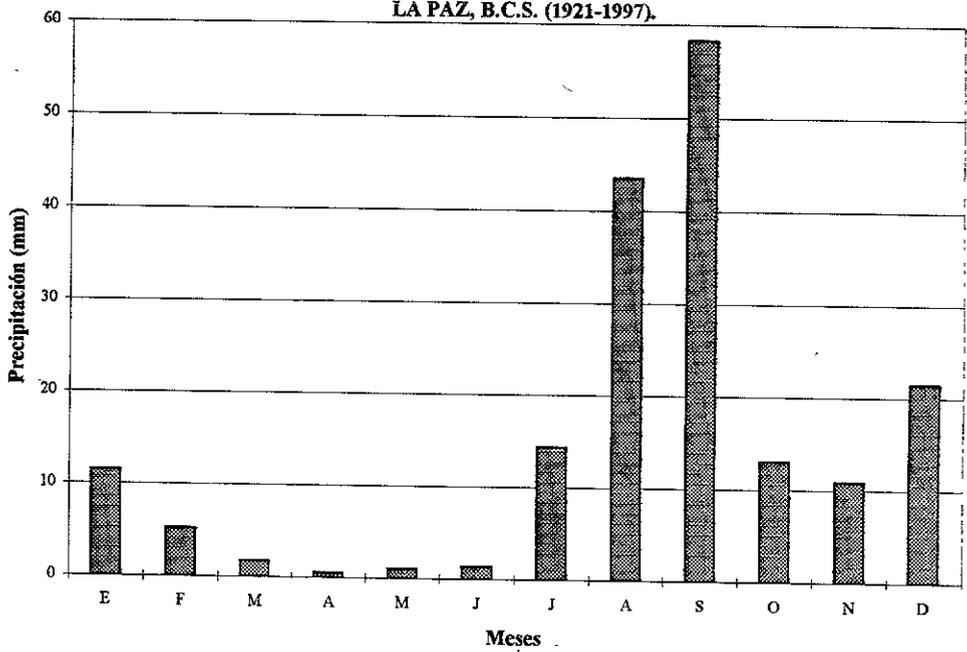
Durante el período de 1921 a 1997, se tuvieron en promedio 28 días con lluvia en La Paz, de éstos, 11.6 fueron con lluvia inapreciable y 16.4 días con lluvia apreciable. En la Gráfica 24, se puede observar que los meses de agosto, septiembre y diciembre tienen la mayor frecuencia de días con lluvia apreciable, más de 2 días por mes. De esos días, el 52% corresponden a verano y el 29% a invierno.

Intensidad de la precipitación.

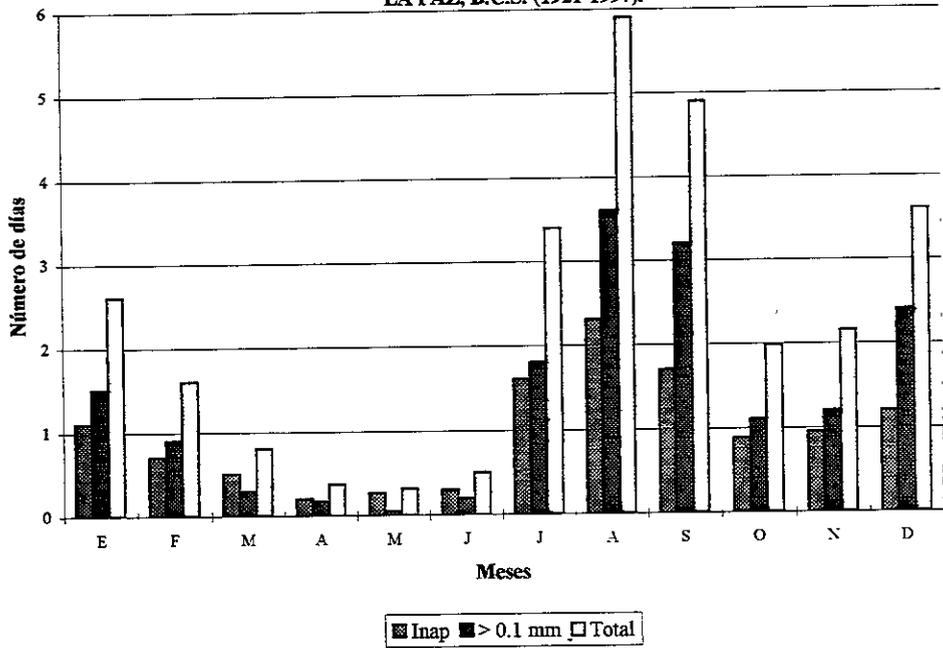
Relacionando los días con lluvia apreciable y la intensidad de la precipitación promedio al año, durante el período de 1982-1997, se observa en las Gráficas 25 y 26 que el 57% de los días en que se registraron lluvia en La Paz, lo hicieron con una intensidad menor de 5 mm en 24 horas, contribuyendo solamente con el 12% (22 mm) de la precipitación anual. Al aumentar el rango de la intensidad de la lluvia, el número de días con lluvia disminuye considerablemente, pero el aporte de la precipitación total es más significativo, sobre todo para las intensidades de 10 a 20 mm (29%, en promedio 54 mm) y 20 a 30 mm (14%, en promedio 26 mm). Cabe señalar también que en la intensidad extrema (más de 50mm en un día), el 2% de los días lluviosos contribuyó significativamente con el 17% de la precipitación anual (en promedio 31mm), y de ésta el 86% fue de verano. Estas fuertes lluvias están relacionadas, por lo general, con los cumulonimbos de los ciclones tropicales.

La máxima lluvia registrada en 24 horas fue de 180.5mm, el 16 de septiembre de 1929, a causa de un ciclón tropical que paso a 140 kilómetros al este de La Paz, por el golfo de California.

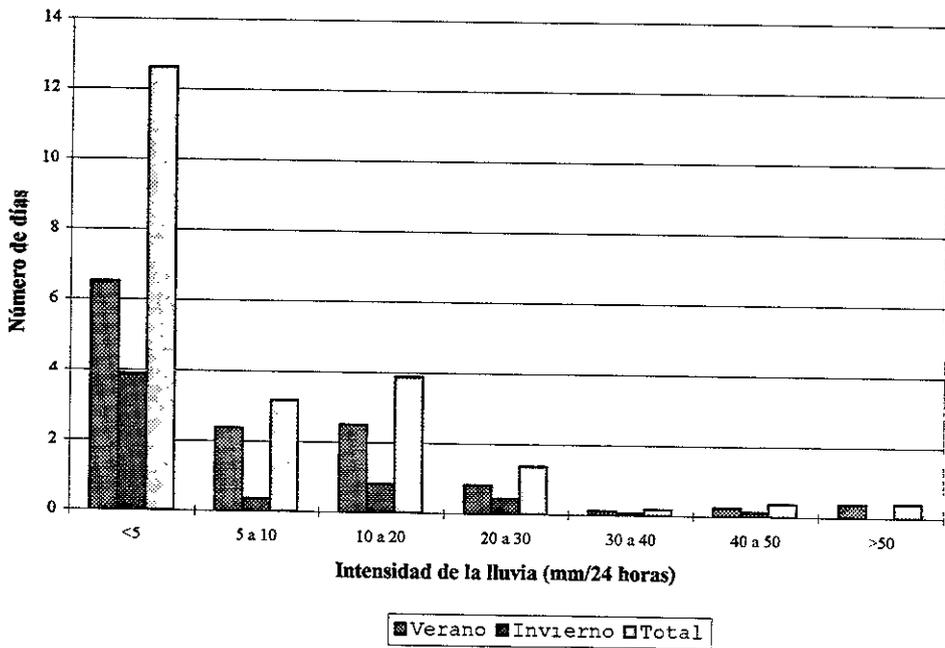
GRAFICA 23.
PRECIPITACION MENSUAL.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



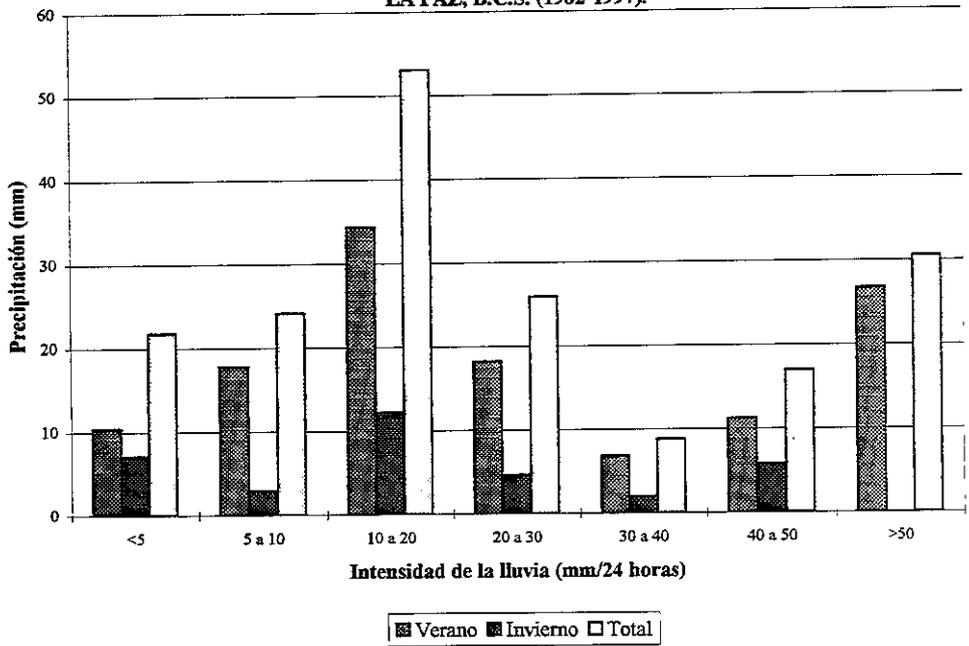
GRAFICA 24.
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).



GRAFICA 25.
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA, CON DIFERENTES
INTENSIDADES. LA PAZ, B.C.S. (1982-1997).



GRAFICA 26.
INTENSIDAD MEDIA DE LA PRECIPITACION.
LA PAZ, B.C.S. (1982-1997).



1.3.6.5 Origen de la precipitación.

El tipo de precipitación en la ciudad de La Paz, a lo largo del año, tiene su origen en diferentes sistemas o fenómenos meteorológicos como son los frentes fríos, los sistemas convectivos y los ciclones tropicales.

Origen Frontal

En el invierno, los frentes fríos que llegan a Baja California Sur, además de ocasionar un descenso en la temperatura, provocan lluvias que en ocasiones llegan a La Paz. Este tipo de precipitación es más benéfico que los aguaceros de verano porque, por un lado, la intensidad no es tan fuerte y el agua que cae se infiltra en el subsuelo; y por el otro, como la temperatura es más baja que en el verano, el agua no se evapora tan rápido. Las lluvias invernales, como se vio anteriormente, constituyen sólo una cuarta parte de la precipitación anual, pero como es característico de estas lluvias invernales tan escasas, su variabilidad es muy elevada, lo que señala lo errático de las precipitaciones frontales en el área (Jáuregui y Cruz, 1980).

Origen Convectivo.

Las lluvias en el verano son de tipo convectivo y ciclónico. La precipitación de origen convectivo puede formarse localmente, o bien puede ser provocada por los monzones (surgencias de humedad) o los sistemas convectivos de mesoescala que llegan hasta La Paz. La lluvia de origen convectivo local, tiene lugar cuando el aire sube debido al calentamiento de la superficie en que se encuentra, se enfría adiabáticamente y alcanza su punto de condensación produciendo, a mediodía, nubes de tipo cúmulos y, si la corriente de convección es intensa se forman cumulonimbos que se extienden hasta varios kilómetros de altura, aunque no abarcan grandes extensiones. La precipitación que producen es, por lo general, en forma de fuertes aguaceros de corta duración que como se mencionó anteriormente, caen principalmente al sur de la ciudad. Estas precipitaciones, a veces, están acompañadas de relámpagos, de truenos y vientos locales; consisten principalmente de lluvia y muy raras veces de granizo.

Las surgencias de humedad y los sistemas convectivos de mesoescala, como se vio anteriormente, llegan a La Paz provenientes del golfo de California. Traen consigo lluvias y a veces originan "los toritos", violentos aguaceros que pueden causar algunos daños en la ciudad a consecuencia de los fuertes vientos.

Estos tipos de lluvia no son muy favorables porque una gran parte del agua que cae, en lugar de infiltrarse en el subsuelo, escurre superficialmente y se pierde en el mar, además de que origina una fuerte erosión del suelo.

La frecuencia de días con tormenta eléctrica y granizo en La Paz es muy baja. Para el período de 1921 a 1997, fue de 4.1 días con tormenta eléctrica al año y de 0.09 días con granizo por año (una vez cada 12.8 años). Los meses que presentan una mayor frecuencia de estos fenómenos son agosto, septiembre y julio.

Origen Ciclónico.

La precipitación de origen ciclónico, además, del verano tiene lugar también en el otoño. En México, la temporada de ciclones tropicales comienza en mayo y termina en noviembre. Las costas que se ven más afectadas por los ciclones del Pacífico son las de Baja California Sur.

Maderey (1975) menciona que las precipitaciones ocasionadas por los ciclones tropicales en

dicho estado, tienen lugar principalmente en el extremo sur, "aunque también influyen en latitudes más altas, más o menos hasta los 26° y peculiarmente en la vertiente oriental".

La precipitación ciclónica abarca una mayor extensión y dura más tiempo que la de origen convectivo. Sin embargo, el agua también cae en forma de fuertes aguaceros que originan grandes avenidas en los arroyos, generalmente secos durante todo el año, y que, antes de desembocar en el mar, provocan grandes estragos a las comunidades asentadas en sus cauces.

1.3.6.6 Contribución de los ciclones tropicales a la precipitación.

Latorre y Penilla (1988), tomando en cuenta el periodo de 1960 a 1980, encontraron que 30 ciclones (un promedio de 1.5 ciclones por año) se acercaron a 250 kilómetros de distancia de las costas de Baja California Sur y aportaron lluvia a la entidad. Aproximadamente, 13 ciclones (en promedio 0.65 ciclones al año) tocaron las costas del territorio. Asimismo, consideran que los ciclones contribuyen con el 20% de la lluvia anual y el 28% de la precipitación de verano.

Se realizó un estudio de la contribución de los ciclones tropicales, llamados "chubascos", en la precipitación de la ciudad de La Paz. Para ello, se analizaron las trayectorias de los ciclones tropicales de cada año del periodo de 1931 a 1997, mismas que se relacionaron con los datos de lluvia diaria de ese mismo periodo (Anexo 29). Se tomaron tres radios de acción con base al acercamiento máximo que tuvieron los ciclones que ocasionaron lluvia en La Paz. El primero fue de un radio menor de 270 kilómetros que corresponde a la distancia de la fase de alerta roja, en donde los efectos del viento, las marejadas, la lluvia y las inundaciones provocados por los ciclones son considerados como inminentes; el segundo, abarca de los 270 a los 540 kilómetros de distancia que corresponden al radio de la fase de alerta amarilla, en donde se deben de empezar a tomar las medidas de precaución necesarias para prevenir los efectos destructivos de los ciclones; y por último, una distancia de más de 540 kilómetros de radio, fuera de ambas zonas de alerta.

El análisis abarca a los ciclones tropicales que por su cercanía a La Paz, afectaron directamente a la región, provocando lluvias; así como, a los ciclones que pasaron a mayor distancia y que generaron afluencia de humedad y nubosidad a la ciudad de La Paz, y que de manera indirecta provocaron lluvias, pues en todos los casos, antes de presentarse el hidrometeoro, el cielo estuvo despejado durante varios días.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

A una distancia menor de 270 kilómetros, se presentaron 74 ciclones tropicales (con categoría de tormenta o huracán) que trajeron lluvia a La Paz, en promedio fueron 1.1 ciclones por año (Anexo 29). De éstos, 70 ciclones tropicales dejaron lluvia apreciable y aportaron en promedio 31mm de lluvia al año, que corresponde a una contribución del 22% de la lluvia anual y 31% de la precipitación de verano; 4 ciclones sólo trajeron lluvia inapreciable; y otros 5 no provocaron lluvia alguna en La Paz, a pesar de su cercanía y aún cuando la mayoría tenía categoría de huracán, aunque cabe mencionar que si llovió en otros lugares cercanos a la ciudad.

Del total de ciclones (1931-1997), 43 tocaron tierra en algún lugar de Baja California Sur, en promedio 0.64 al año. De éstos, 29 entraron al estado a menos de 270 kilómetros de La Paz (en promedio 0.5 ciclones al año), la mayoría cruzó el estado desde el océano Pacífico hacia el golfo de California o bien tocó tierra en la región de Los Cabos para salir inmediatamente al golfo de California, y solamente muy pocos (3 ciclones) entraron por la región de Los Cabos para salir al océano Pacífico.

Los resultados obtenidos en este estudio, para este rango, en cuanto al promedio de ciclones al año y a la contribución de los ciclones en la lluvia anual y de verano son similares a los resultados de Latorre y Penilla (1988), aunque ellos tomaron un período de tiempo menor (21 años), con datos de 49 estaciones de toda la entidad y el rango fue ligeramente inferior (250 km); mientras que en este estudio el período de tiempo es de 67 años, una sola estación (La Paz) y un rango de 270 km.

Dentro del rango de 270 a 540 kilómetros de distancia, se acercaron 59 ciclones tropicales que dejaron lluvia en La Paz, de éstos 48 trajeron lluvia apreciable en la ciudad (en promedio 0.9 ciclón por año), aportando en promedio 12.4 mm de lluvia al año que corresponden a una contribución de 6.7% de la lluvia anual y 9.6% de la lluvia de verano; 11 ciclones sólo produjeron lluvia inapreciable; y tres ciclones, a pesar de su cercanía y de que alcanzaron la categoría de huracán, no generaron lluvia. Del total de estos ciclones, 14 entraron en Baja California Sur a más de 270 kilómetros de La Paz y todos lo hicieron por el lado del océano Pacífico; la mayoría de éstos (8 ciclones) después de entrar a tierra cruzaron hacia el golfo de California, mientras que el resto se disiparon en tierra.

En un rango mayor de 540 kilómetros de distancia, se presentaron 38 ciclones tropicales que trajeron lluvia a La Paz, en promedio 0.6 ciclón al año. De éstos, 35 aportaron lluvia apreciable, en promedio 11.2 mm de lluvia al año que corresponde a una contribución de 6.1% de la lluvia anual y 9.6% de la lluvia de verano; y tres ciclones produjeron lluvia inapreciable. El resto de los ciclones que no produjeron precipitación en La Paz, ya no se tomaron en cuenta debido a su lejanía (más allá de 540 km).

Resumen.

Para el período de 1931 a 1997, fueron en total 171 ciclones tropicales (en promedio 2.5 ciclones al año) que, al acercarse a Baja California Sur, aportaron lluvia directa o indirectamente a La Paz. Tomando en cuenta los tres rangos de distancia, los ciclones aportaron en promedio 64 mm de lluvia al año (Gráfica 27), que corresponden a una contribución del 35% de la lluvia anual y de 50% de la lluvia de verano.

Los meses de mayor afectación ciclónica en La Paz (Gráfica 28) son septiembre con 1.3 ciclones en promedio al año, que representan el 47 % de los ciclones anuales; agosto con 0.6 ciclón al año, que corresponde al 21% anual; y julio con 0.4 ciclón al año que representa el 16% anua. También se puede apreciar que existe un número mayor de ciclones con categoría de huracán que producen lluvia en esta región, a excepción del mes de julio en donde se aprecia que es mayor el número de tormentas tropicales las que aportaron lluvia a La Paz

Asimismo, cabe mencionar que desde 1931, los ciclones tropicales que han dejado mayor precipitación (más de 100 mm) en La Paz han sido (Anexo 29):

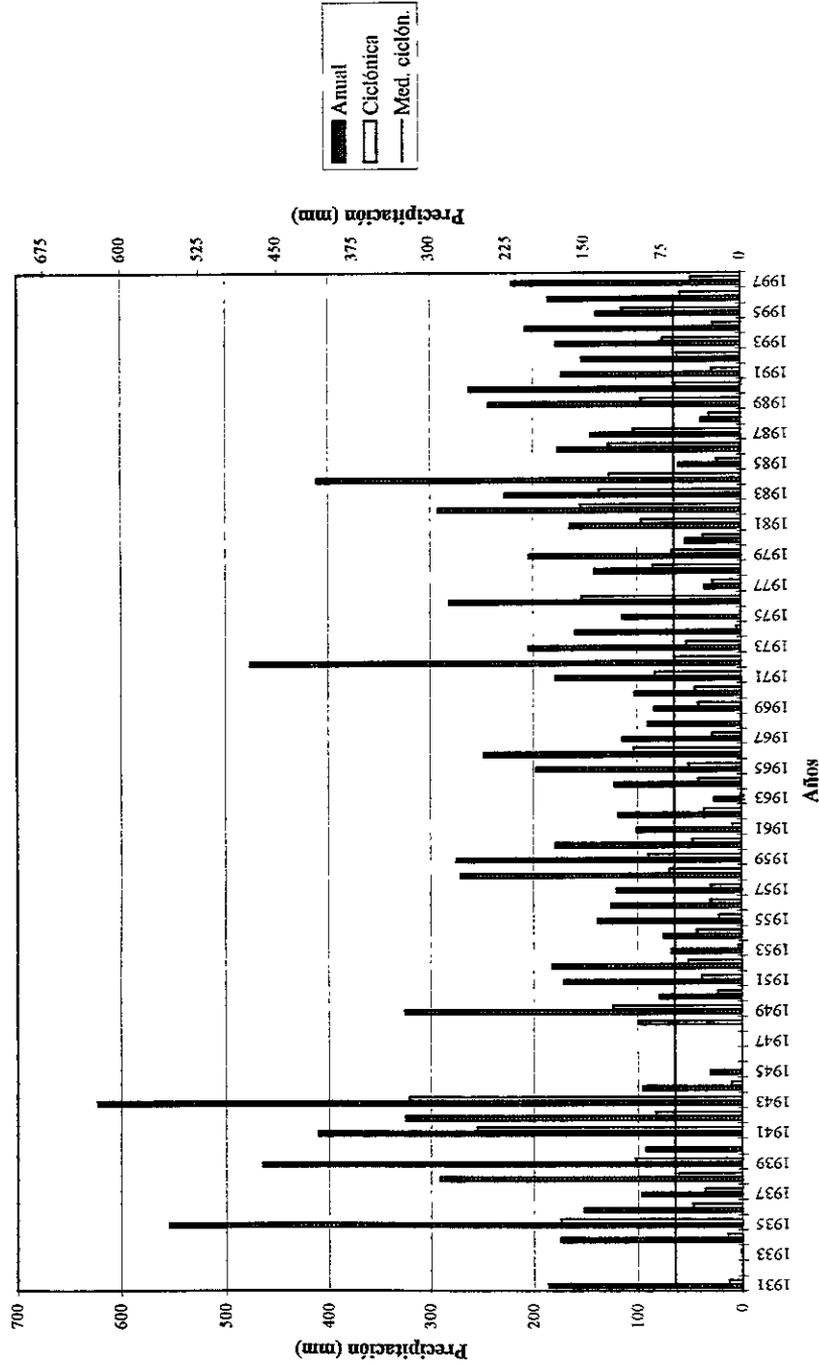
* Un ciclón tropical sin nombre, que en septiembre de 1943 entró a tierra por Todos Santos y salió por La Ribera, dejando 321 mm de lluvia

* Un ciclón tropical sin nombre, que en septiembre de 1941 entró a tierra por San José del Cabo y salió por Loreto, dejando 227.6 mm de lluvia.

* Un ciclón tropical sin nombre, que en agosto de 1935 se fue paralelo a la costa del Pacífico, dejando 174 mm de lluvia.

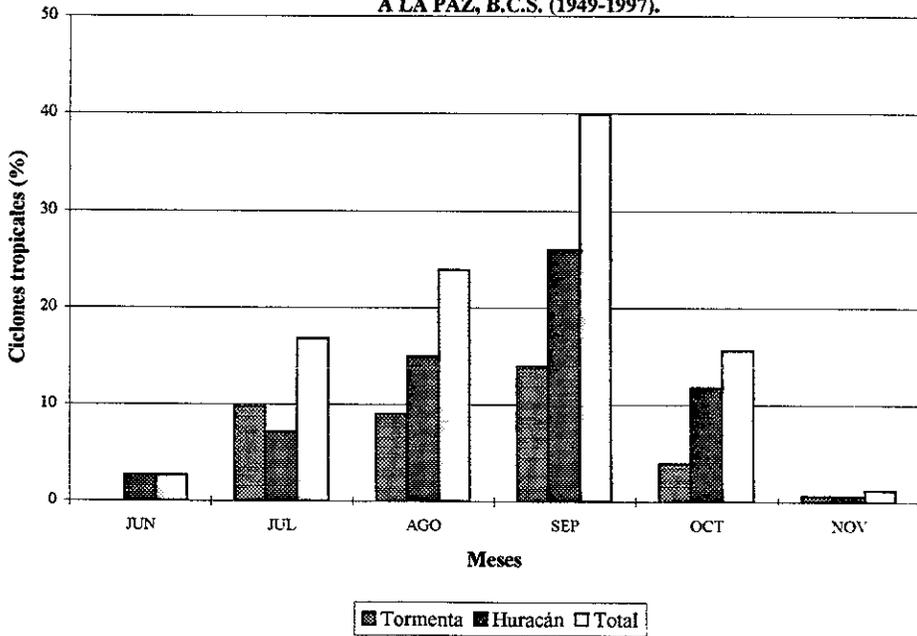
* El huracán Paul, que en septiembre de 1982 entró por San José del Cabo y salió por La Ribera, pasando a 88 kilómetros de La Paz. Este ha sido el que ha aportado mayor precipitación, con

GRAFICA 27.
RELACION DE LA PRECIPITACION ANUAL
CON LA CICLONICA. LA PAZ, B.C.S. (1931-1997).



Nota: Los años en que no hay ninguna precipitación anual corresponden a años con datos incompletos o sin datos.

**GRAFICA 28 .
 PORCENTAJE DE CICLONES
 TROPICALES QUE APORTARON LLUVIA
 A LA PAZ, B.C.S. (1949-1997).**



153.6 mm.

* El huracán Liza, que pasó el 30 de septiembre de 1976 a 120 kilómetros al este de La Paz y produjo 137.0 mm, provocando una fuerte inundación que causó grandes pérdidas humanas y económicas.

* Un huracán sin nombre, que entró en septiembre de 1949 por el Conejo y salió al norte de la bahía de La Paz, dejando 112 mm de lluvia.

Otros ciclones que han producido entre 50 y 100 mm de lluvia son:

* Sin nombre (sep. 1939), con 92.6 mm.

* Sin nombre (sep. 1959), con 88.2 mm.

* Sin nombre (oct. 1942), con 75.2 mm.

* Helga (sep. 1966), con 72.0 mm.

* Guillermo (sep. 1979), con 66.3 mm.

* Joanne (sep. 1972), con 63 mm.

* Ismael (sep. 1995), con 62 mm.

* Kirsten (sep. 1966), con 61 mm.

* Sin nombre (ago. 1938), con 60.7 mm.

* Kiko (ago. 1989), con 59.8 mm.

* Mónica (sep. 1971), con 57 mm.

* Sin nombre (jul. 1948), con 55.8 mm.

* Kay (sep. 1986), con 53.9 mm.

* Norbert (sep. 1984), con 52.8 mm.

* Irah (sep. 1973), con 52.5 mm.

* Fausto (sep. 1996), con 51.0 mm.

Aunque los daños provocados por un ciclón dependen de varios factores físicos y sociales, incluyendo el tamaño y la densidad de la población del área afectada, la configuración del fondo de la costa y el relieve, el tipo de construcciones y la organización social; el factor más significativo es la fuerza del mismo.

La ciudad de La Paz, se encuentra geográficamente protegida de los ciclones tropicales por la bahía de La Paz y la isla del Espíritu Santo, al norte y noroeste; la península de Trincheras y la sierra de La Cacachila, al noreste y este; y la sierra de La Laguna, al suroeste, que disminuyen de cierta manera la fuerte acción del viento y las marejadas. Pero las sierras captan en sus diferentes cuencas, una gran cantidad de agua que provoca las avenidas en los arroyos y las inundaciones de las partes bajas.

Dentro de los ciclones tropicales que han afectado en gran manera a La Paz y que por su intensidad han sido los más fuertes se encuentran, el Liza en 1976, que alcanzó la categoría 4 en la escala de Saffir-Simpson; el Kiko en 1989, de categoría 3; el Paul en 1982, de categoría 2; el Henriette en 1995, de categoría 2; y el Fausto en 1996, alcanzó la categoría 2, pasando su ojo a 25 km al SSE de la ciudad.

1.3.6.7. Relación del fenómeno “El Niño-Oscilación del Sur” con la precipitación y los ciclones tropicales.

Jiménez y Domínguez (1993), al relacionar el Índice de Oscilación del Sur (IOS) con los escurrimientos y el número de ciclones tropicales en el Pacífico Norte de nuestro país, encontraron valores de correlación muy bajos que muestran que el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur

(ENOS) afecta los escurrimientos de esta región hasta nueve meses después. La baja correlación los lleva a pensar que no está clara la relación entre el ENOS y los escurrimientos, y que pueden intervenir otros fenómenos como las vaguadas en el invierno. Concluyen que los valores del IOS no ayudan a tener un mejor pronóstico de los escurrimientos en la cuenca del Pacífico mexicano.

La variabilidad interanual de la precipitación se relaciona con los fenómenos de mayor escala que controlan la circulación oceánica y atmosférica como son la circulación monzónica, los sistemas convectivos de mesoescala (SCM) y los ciclones tropicales (Reyes *et al.*, 1994). Estos autores señalan, también, que existen estudios donde se relaciona la precipitación con el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur, sugiriendo que durante el verano pre-ENOS se observa una precipitación por debajo de lo normal en el Golfo de California ya que la circulación tropical en el Pacífico se debilita; mientras que en el verano post-ENOS, se observa una precipitación por encima de lo normal ya que la circulación del Pacífico oriental se activa, por lo que las masas de aire cálido y húmedo penetran con facilidad en la vertiente del Pacífico.

Keqin y Holland (1994) relacionaron la actividad de los ciclones tropicales de las principales regiones ciclónicas con el ENOS, y encontraron que el Pacífico Nororiental tiene una muy pobre relación concomitante con la temperatura superficial del mar (TSM), pero que aparece una alta correlación en la frecuencia de las tormentas con un retraso de 22 meses, lo que podría servir de pronóstico para largo plazo.

En un estudio de aridez del noroeste de México, Salinas *et al.* (1998), relacionaron el Índice de Cobertura Árida Anual (ICAA) con el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), y encontraron que durante la fase negativa del Índice de Oscilación del Sur (IOS), asociada al evento cálido de "El Niño", disminuye el ICAA, es decir que llueve más; mientras que la fase positiva del IOS, "La Niña", provoca una mayor aridez en la región. Asimismo, estos autores mencionan que existe una relación inversa entre la temperatura superficial del mar (TSM) y el ICAA, cuando la temperatura del agua en las zonas costeras es mayor, se tiene un índice de aridez menor.

2. URBANIZACION DE LA CIUDAD DE LA PAZ.

2.1 Breve reseña histórica de la ciudad de La Paz.

El historiador León Portilla (1989), señala que la historia de La Paz es rica y en extremo interesante. Ahí se organizó el primer establecimiento de la California, después vinieron a esta región muchos navegantes, exploradores, pescadores de perlas, inclusive piratas y también misioneros.

Los vestigios arqueológicos del sitio llamado "El Conchalito" en la ensenada de La Paz, también conocida como de Aripes, indican que ésta fue habitada hace unos tres mil años por grupos humanos cuya subsistencia dependía de la caza y la recolección de frutos, así como de la extracción de moluscos y la pesca⁸.

En tiempos históricos, los primeros exploradores de la península de Baja California encontraron en la bahía de La Paz asentamientos de guaycuras que dependían sobre todo de la recolección de frutos y la extracción de moluscos (Reygadas y Velázquez, 1983).

El primer topónimo que se conoce de la actual ciudad de La Paz es el nombre que le fue dado por Hernán Cortés cuando al llegar a este lugar, el 3 de mayo de 1535, lo bautizó como "Bahía de la Santa Cruz" por la festividad religiosa que se celebra ese día. A partir de esa fecha, se establece una colonia efímera que en un principio sirvió de base para realizar algunas exploraciones tierra adentro, así como también a lo largo de las costas de la península. Sin embargo, debido a la escasez de agua y de cultivos, este puerto tuvo que ser abandonado en esa y en muchas otras ocasiones más (Martínez, 1984).

Las exploraciones por mar y tierra continuaron. Una vez inaugurada en 1565 la ruta marítima a las Filipinas, cientos de barcos españoles surcaron las aguas del océano Pacífico para llevar de Acapulco a Manila algunos productos como el cacao, la plata y la cochinilla e intercambiarlos por artículos de marfil y jade, porcelanas, sedas, muebles tallados y especias diversas. La península de Baja California adquirió una gran importancia pues los cargados galeones de Manila pasaban de regreso por sus costas. Por otra parte, algunos corsarios ingleses como Thomas Cavendish se resguardaron en las costas de la península para acechar y asaltar las llamadas Naos de China. Con el fin de evitar este saqueo, se llevaron a cabo varias expediciones a la California. La primera de éstas fue la de Sebastián Vizcaino que desembarcó en la bahía de la Santa Cruz el 10 de septiembre de 1596, y la bautizó con el nombre de "La Paz" por el recibimiento amable y pacífico que le dieron los habitantes del lugar. Ahí se estableció, nuevamente, una población con el fin de apoyar las exploraciones, evangelizar a los indígenas y fomentar la extracción de perlas, mas al igual que antes, La Paz fue otra vez abandonada.

El nombre dado por Sebastián Vizcaino ha permanecido desde entonces, aún cuando el 5 de abril de 1683 el almirante Isidro de Atondo y Antillón, al tomar posesión de estas tierras en compañía del padre Eusebio Francisco Kino, la nombró "Nuestra Señora de Guadalupe". En este sitio, establecieron un efímero "real" y una pequeña iglesia que meses después fueron abandonados, a consecuencia de problemas que tuvieron con los indígenas, llegando a matar a algunos de los nativos.

En 1697, los jesuitas emprendieron la conquista de California con Juan María de Salvatierra al frente. La primera misión fundada fue la de Loreto, más nunca se quitó la mirada de la gran bahía de La Paz. Refiriéndose a ésta, León Portilla (1989) señala que "lo estratégico del lugar, antigua puerta de entrada a California, era motivo suficiente para no abandonar el propósito de establecer fundación permanente". Esto se convirtió en realidad el 4 de diciembre de 1720, cuando los padres Juan de

⁸ Comunicación personal del Arq^l Fermín Reygadas Dahl (Museo de Historia Natural de la Universidad Autónoma de B.C.S., 1997).

Ugarte y Jaime Bravo fundaron la misión de "Nuestra Señora del Pilar de La Paz Airapi". De todos los intentos, en esos casi doscientos años para establecer una población ahí, este fue el más duradero. La rebelión de los pericués y guaycuras que brotó en 1734 y se extendió hasta 1736, provocó un abandono temporal de la misión de La Paz. Algunos años después de terminada la rebelión, la población se vio azotada por varias epidemias que diezmaron a los indígenas, razón por la cual los misioneros la abandonaron definitivamente en 1748 y se llevaron, a Todos Santos, a los pocos guaycuras que quedaban en La Paz.

Con el fin de colonizar la Alta California José de Galvez, visitador de la península en 1768, dejó establecido personal del servicio marítimo en La Paz. En 1811, el gobernador de las Californias, Felipe de Goycochea, cedió el sitio de La Paz a Juan José Espinoza, soldado de la Compañía de Jesús, en atención a su buena conducta en el tiempo que sirvió al Rey, con el compromiso de plantar una huerta que proporcionara provisiones a los barcos y de cuidar la casa del Rey. En 1816, Juan José Espinoza repartió a sus hijos, María Ignacia y Cornelio, dicho sitio en partes iguales. Sin embargo, al no poder cumplir con el compromiso adquirido, el gobernador José Manuel Ruiz concedió, en 1823, tierras a las personas que lo solicitaban con la condición de cultivarlas y de proveer productos a los marineros.

En la época en que se consumó la independencia de México, La Paz, al igual que el resto de la Baja California quedó prácticamente olvidada. Años más tarde, comenzó a crecer y a cobrar importancia, por lo que en 1830 cuando ya tenía alrededor de 400 habitantes, fue elegida para ser la sede de la residencia del gobierno de la Baja California, ya que el puerto de Loreto había sido en parte destruido por una inundación causada por fuertes chubascos.

En 1847, el puerto de La Paz fue ocupado por fuerzas estadounidenses, México estuvo a punto de perderla, al igual que al resto de la Baja California, si no hubiera sido por la heroica defensa de su pueblo. En 1853, también se vio amenazada por los filibusteros, entre ellos, William Walker. Tiempo después, la atención extranjera se volvió a ella solamente para sacar provecho, pero como menciona León Portilla (1989), "la California mexicana, casi en manos de compañías extranjeras y con reducidísima población, habría de conocer tiempos mejores..., desde el gobierno del general Lázaro Cárdenas se arraigó la conciencia de que era imprescindible rescatar, en provecho de los propios sudcalifornianos y de México, la realidad y los recursos del territorio peninsular".

"El Fundo Legal de esta Ciudad (La Paz) fue medido por primera vez el año de 1861 por el Ing. Guillermo Denton; por orden del Gobernador en ese entonces Sr. Riveroll, con motivo de las reclamaciones del Sr. José María Sandoval como propietario de un medio sitio de La Paz por compra que hizo al Sr. Cornelio Espinoza el año de 1860 en la cantidad de \$60.00 viniendo a ser propiedad efectiva del pueblo de La Paz hasta el año de 1870 en que fue rectificad la mensura por el Ing. don Alfredo Savin siendo el Gobernador de la península en esa fecha el Corl. don Pablo L. Castro." (Díaz Encinas, 1932).

En 1888, la Baja California es dividida en dos Distritos, el Norte y el Sur, quedando La Paz como capital del Distrito Sur. En 1931, ambos distritos adquieren la categoría de Territorios y en 1974 el Territorio de Baja California Sur se convierte en Estado Libre y Soberano.

Varios escritores como Southworth, León Diguét, Maximino Martínez y Fernando Jordán realizaron algunas descripciones de la ciudad de La Paz. Estas aunque diferentes, tienen mucho en común, hablan de la belleza de su mar, cielo y atardeceres, así como de lo arbolado y la tranquilidad que se vive en La Paz. En 1899, Southworth (Gobierno de B.C.S., 1989) escribe que "La Paz presenta un encantador aspecto, mecida al arrullo de las mansas olas de su bahía tranquila, y tendida a

la sombra de espesa arboleda, en que, como gigantes mariposas, se destacan numerosos molinos de viento, bajo un cielo azul de esplendente diafanidad. Las calles son anchas y tiradas á cordel...”.

León Diguett (1912) menciona que “Rodeada de montañas de mediana elevación y asentada en anfiteatro, parte sobre un declive, que llega al nivel del mar, la villa de La Paz, se presenta bajo un aspecto de lo más pintoresco. Las calles derechas y bien alineadas están cubiertas de sombra por plantaciones de árboles”.

En 1947, Maximino Martínez menciona que La Paz produce grata impresión desde el primer momento en que se le conoce. “Su largo malecón está sombreado por datileras, cocoteros, y copudos laureles... Las calles están limpias y adornadas con acacias, tamarindos, ceibas y tamarices. Las casas son de sólida construcción y variados estilos, con amplios y floridos jardines, que se ven muy pintorescos por sus palmas y por el continuo girar de las aspas que mueven las bombas de los pozos... Hay drenaje y agua potable”.

En 1950, Fernando Jordán (C.C.T., 1996) comenta que la ciudad, a excepción de unos callejones obligados por el relieve, está muy bien trazada, “con amplias avenidas empedradas que sin desviarse van del mar al desierto o corren paralelas a la línea costera... En el paseo junto al mar, palmeras y laureles de la India hacen de filtro al reflejo del sol sobre la inmensa bahía... En todas las calles los laureles fueron plantados a la orilla de las banquetas, y donde no los hay, ocupan su lugar jacarandas, flamboyanes, paraísos y acacias, que de la primavera al otoño se cubren de flores... En todas las casas de La Paz hay patios y jardines interiores que a menudo se convierten en huertos de naranjos y otras frutas tropicales.” Acerca de la tranquilidad que se vive en La Paz menciona que “Todas las ciudades tienen un nombre, pero he aquí un nombre que tiene una ciudad... Sobre la ciudad flota siempre un ambiente de serenidad y calma adormecida...” Después de hacer una poética descripción de las puestas del Sol, comenta que: “El espectáculo imponente nunca es igual y La Paz tiene fama de ser la tierra de los 365 crepúsculos anuales diferentes.”

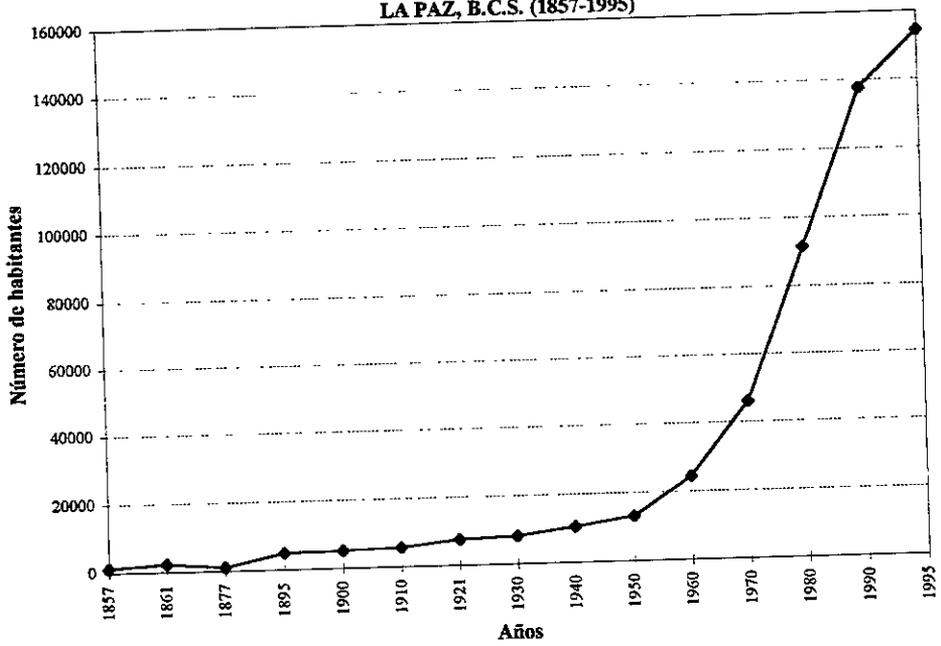
2.2 Crecimiento de la ciudad de La Paz.

2.2.1 Número de habitantes y crecimiento de la población.

Antes del primer Censo de Población levantado en México, varios autores, como Hermosa y Pérez Hernández, realizaron algunas estimaciones del número de personas que habitaban la ciudad de La Paz (Gráfica 29). En el primer Censo de Población que fue levantado en 1895, en nuestro país, la ciudad de La Paz contaba con 4,737 habitantes (INEGI e INAH, 1990). El crecimiento de la población en las décadas siguientes fue pequeño, pero a partir de 1950 se observa un incremento en el crecimiento, más del 8% anual, hasta alcanzar su máximo crecimiento en la década de 1970 a 1980 con casi el 10% anual (Tabla 5). A partir de este último año, el crecimiento de la población en baja significativamente a 5% al año, debido a la alta tasa de emigración como consecuencia de la caída de las actividades comerciales (INEGI, 1991).

Cien años después del primer censo, la ciudad de La Paz, según el Censo de 1995, tenía una población de 154,314 habitantes (INEGI, 1995).

GRAFICA 29.
NUMERO DE HABITANTES EN
LA PAZ, B.C.S. (1857-1995)



2.2.2 Crecimiento de la mancha urbana y densidad de la población.

2.2.2.1 Topografía.

En la Figura 13 se aprecia como la ciudad de La Paz se localiza en una llanura costera que, partiendo del mar hacia el este, va adquiriendo mayor elevación hasta encontrarse con algunos cerros de poca altitud. El relieve de la ciudad presenta tres diferentes tipos de pendientes que determinan el crecimiento de la mancha urbana: el sur y el suroeste de la ciudad son una región más o menos plana, con una pendiente de 0 a 15% que la hace ser la zona más apta para el desarrollo urbano; el noroeste de la ciudad, con una pendiente de 15 a 25% es una zona regularmente apta para la urbanización; y, por último, el noreste, el este y el sureste de la ciudad es una zona formada por cerros que tienen una pendiente de más del 25%, con lo cuál no es apta para el desarrollo urbano ya que se encarece el costo de la urbanización y de la dotación de infraestructura (Gobierno del Estado de B.C.S., 1990).

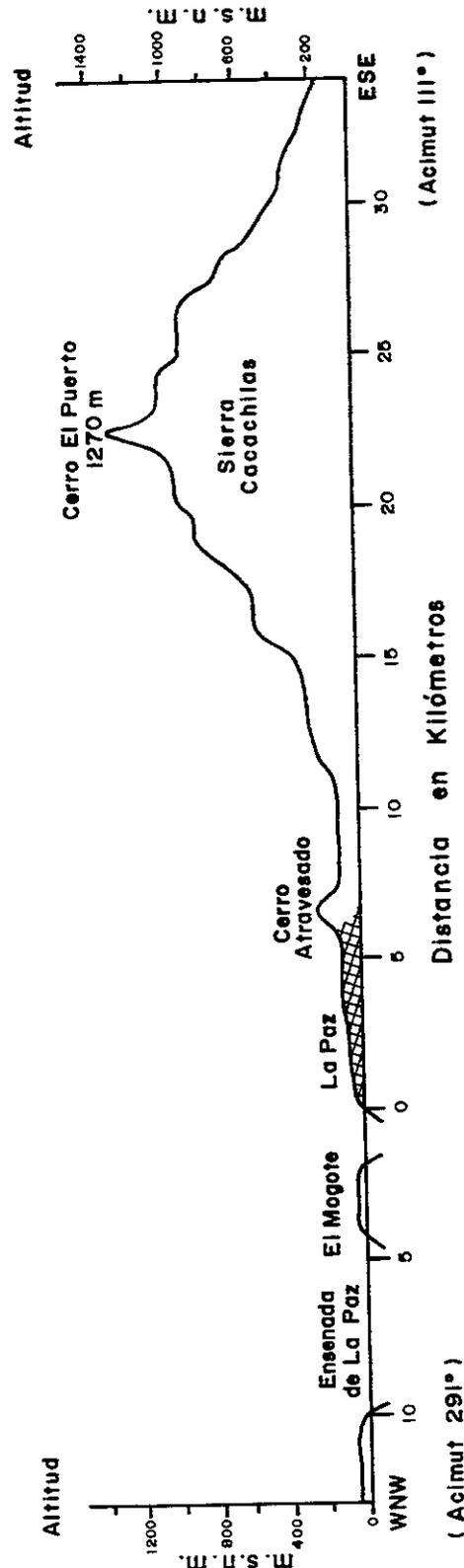
2.2.2.2 Crecimiento de la ciudad y densidad de población.

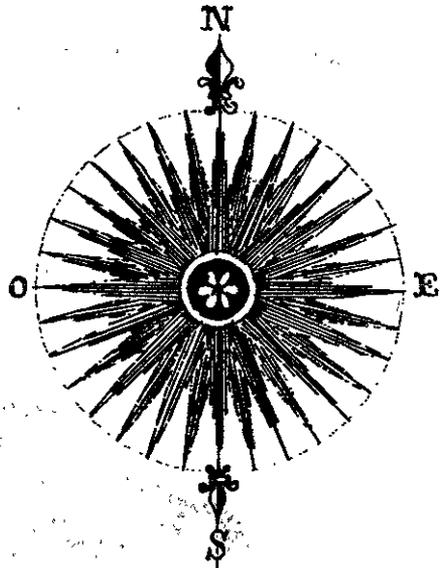
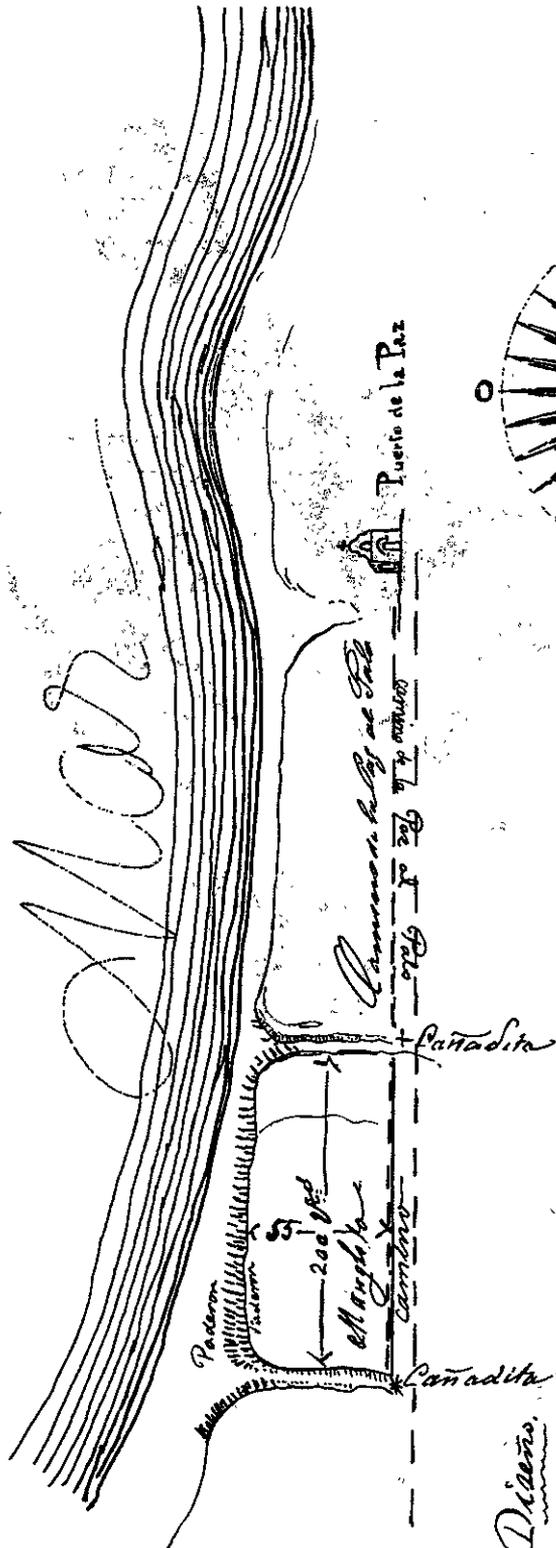
En el Mapa 4 se observa un plano del Puerto de La Paz del año de 1859, así como algunas características físicas de sus alrededores. En el Mapa 5 se puede ver como ha sido el crecimiento de la ciudad, desde mediados del siglo pasado hasta nuestros días. En 1861, con menos de un kilómetro cuadrado de superficie (Tabla 3), La Paz contaba solamente con algunas manzanas ubicadas cerca del malecón, mismo que se extendía apenas unas cuantas cuadras. Para principios de este siglo, con 4.45 km², la ciudad se fue extendiendo a lo largo de la costa y se fue remontando poco a poco por la llanura costera hasta encontrarse, después de mediados de siglo, con algunos cerros que la limitan por el oriente. Para 1973, la ciudad ya contaba con la mitad de su extensión actual, es decir, 15.3 km². Es en los últimos treinta años que La Paz ha tenido su más rápido crecimiento. Se ha extendido hacia el sur hasta verse propiamente limitada, hoy en día, por el bordo de contención del arroyo de "El Piojillo", que al parecer no ha sido un obstáculo para su crecimiento, pues del otro lado del arroyo ya se han establecido algunas colonias en los alrededores de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), como son el Mezquitito, el Calandrio y algunas viviendas de interés social que se acaban de construir (Mapa 6). También se han urbanizado y construido algunas colonias en varios cerros, como son el fraccionamiento del Cortés y la unidad habitacional El Pedregal.

La extensión de la mancha urbana de La Paz se encuentra comprendida por dos zonas perfectamente definidas: la ciudad de La Paz, que es el área urbana con mayor continuidad de crecimiento, con aproximadamente 30.72 km² (3,072 hectáreas); y los asentamientos ubicados al sur y suroeste de la ciudad, como son Chametla, la UABCS, el Calandrio, el Mezquitito, el panteón, el Parque Industrial, los fraccionamientos La Fuente y Los Tabachines, los fraccionamientos Villas de La Paz y Valle Verde, que en conjunto abarcan unos 10.66 km² (1,066 hectáreas) (Gobierno del Estado de B.C.S., 1990).

En la Tabla 3 se puede observar que la densidad de la población en La Paz, para 1996, resultó ser de aproximadamente 5,000 habitantes por km². La densidad ha ido por lo general en aumento, pero como consecuencia del crecimiento de la ciudad, existen ciertos periodos en que la densidad de población disminuyó, como es el caso de 1886 y de 1973 a 1977.

FIGURA 13. CORTE TRANSVERSAL DEL RELIEVE DE LA PAZ Y SUS ALREDEDORES (Acimut 291° - 111°)





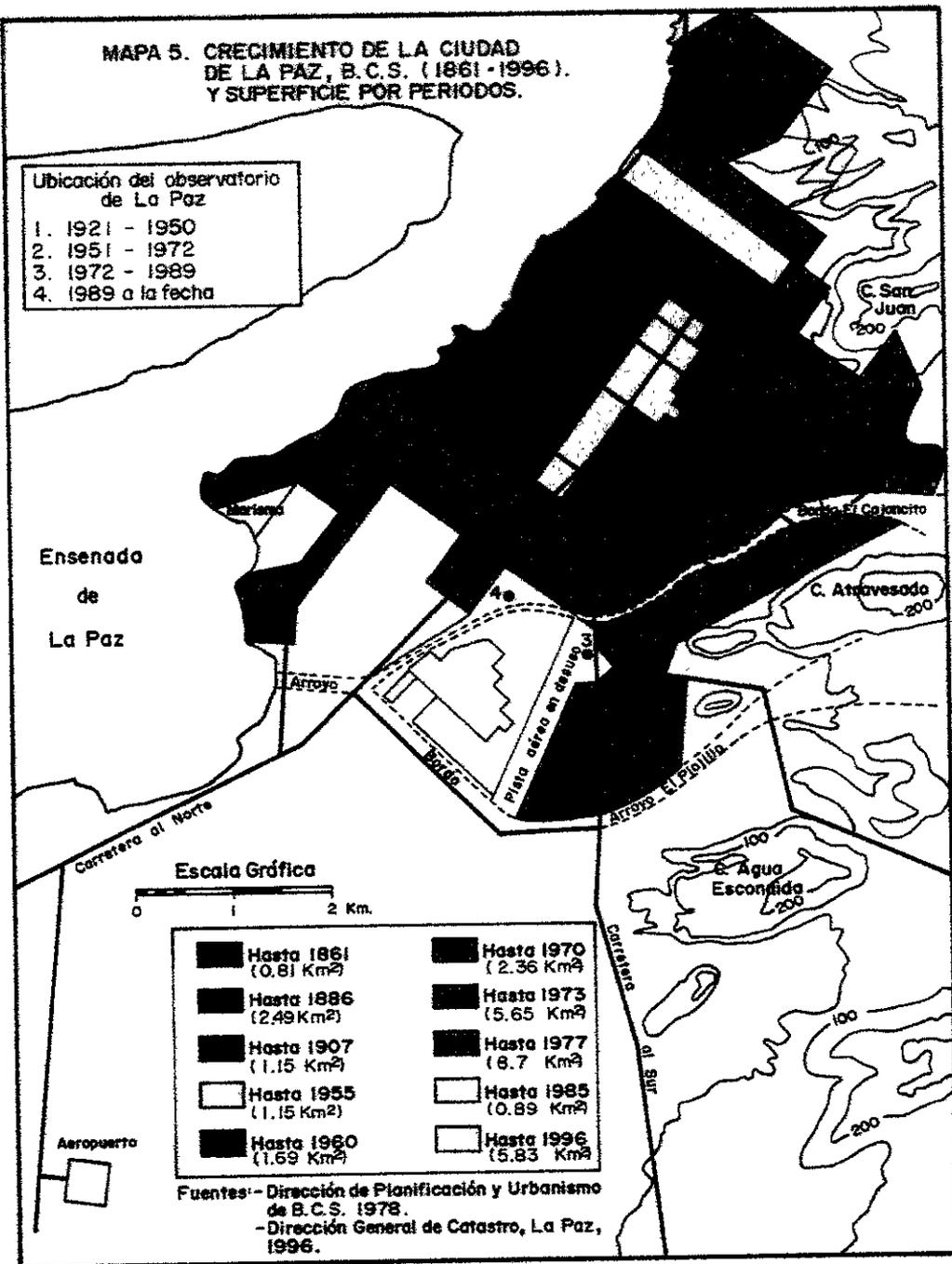
MAPA 4
 Plano del Puerto de La Paz y
 del Manglito (1859)
 Fuente: Libro del Ayuntamiento
 de La Paz (1854-1859)
 Archivo Histórico "Pablo L.
 Martínez"

Diseño.
 + 1^a Cañadita
 * 2^a Cañadita
 = Camino

MAPA 5. CRECIMIENTO DE LA CIUDAD DE LA PAZ, B. C. S. (1861-1996). Y SUPERFICIE POR PERIODOS.

Ubicación del observatorio de La Paz

1. 1921 - 1950
2. 1951 - 1972
3. 1972 - 1989
4. 1989 a la fecha



Ensenada de La Paz

Carretera al Norte

Aeropuerto

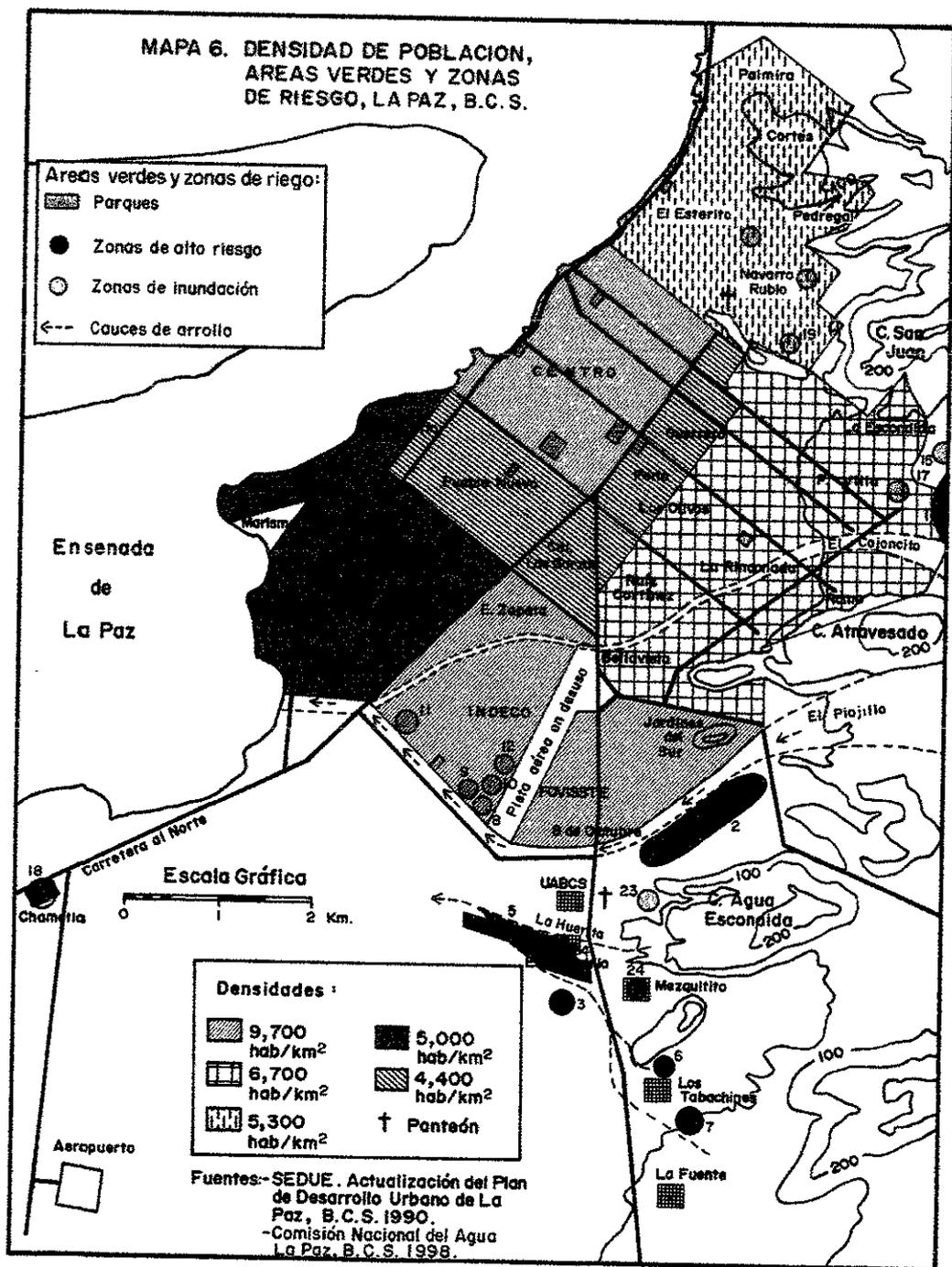
Escala Gráfica



Hasta 1861 (0.81 Km ²)	Hasta 1970 (2.36 Km ²)
Hasta 1886 (2.49 Km ²)	Hasta 1973 (5.65 Km ²)
Hasta 1907 (1.15 Km ²)	Hasta 1977 (8.7 Km ²)
Hasta 1955 (1.15 Km ²)	Hasta 1985 (0.89 Km ²)
Hasta 1960 (1.69 Km ²)	Hasta 1996 (5.83 Km ²)

Fuentes: - Dirección de Planificación y Urbanismo de B. C. S. 1978.
- Dirección General de Catastro, La Paz, 1996.

MAPA 6. DENSIDAD DE POBLACION, AREAS VERDES Y ZONAS DE RIESGO, LA PAZ, B.C.S.



Año	Superficie en km²	Habitantes por km²
1861	0.81	2,810
1886	3.30	751
1907	4.45	1,211
1955	5.60	3,333
1960	7.29	3,327
1970	9.65	4,768
1973	15.30	3,898
1977	24.00	3,243
1985	24.89	4,602
1996	30.72	5,131

Fuente: Gobierno del Estado de B.C.S., 1990, y Mapa 5.

2.3 Uso del Suelo.

El suelo en la ciudad de La Paz es principalmente de uso habitacional (40%). Este está caracterizado por cinco diferentes tipos: el residencial que representa el 10%, con una localización dispersa, siendo los fraccionamientos Bellavista, Perla, Palmira y Fidepaz los más representativos; el habitacional medio con el 40%, se localiza en toda la mancha urbana, principalmente en la zona central, norte, oriental y suroccidental; el habitacional institucional con el 20%, localizado al sur y suroeste de la ciudad, así como el conjunto habitacional Pedregal del Cortés en el norte; y por último, el habitacional precario con el 5%, ubicado en el sur de la ciudad, se encuentra limitado por el bordo de contención del arroyo del Piojillo en la colonia 3 de Mayo, y al este, en los límites del área urbana se encuentran las colonias Guadalupe Victoria, Lázaro Cárdenas, Loma Linda, Loma Obrera e Independencia (Tabla 4).

Usos	Extensión (km²)	Porcentaje
Habitacional	9.22	40
Mixto	1.15	5
Comercial	1.15	5
Vial	8.07	35
Equipamiento urbano	2.30	10
Industrial	0.69	3
Recreativo-deportivo	0.46	2
Subtotal	23.04	100
Superficie no utilizada (habitacional)	7.68	25
Total	30.72	

Fuente: Gobierno del Estado. Actualización del Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de la ciudad de La Paz, 1990.

También, se puede apreciar que el 25% de la mancha urbana de la ciudad de La Paz no está siendo utilizada, esto es debido a que desde su trazo original, La Paz ha tendido a ser una ciudad muy dispersa como consecuencia de las dimensiones de los predios y la especulación que se ha realizado con ellos, de ahí que exista un gran número de lotes baldíos. Esta situación ha originado que haya asentamientos irregulares, alejados de los servicios urbanos como es el predio Agua Escondida localizado al sureste de la ciudad, en la margen del bordo de contención del arroyo El Piojillo.

El uso vial abarca el 35% del área total urbana y comprende las carreteras de acceso a la ciudad, las avenidas y calles. El equipamiento urbano es del 10% y corresponde a las construcciones de los sectores salud, educativo, cultural, recreativo y deportivo, así como de abasto. El uso mixto, con el 5%, comprende en forma conjunta el uso habitacional y comercial que se localiza en el centro de la ciudad. De uso comercial, también con el 5%, abarca las zonas comerciales del centro de la ciudad y de algunas de las principales avenidas como son: la 5 de Febrero, Isabel la Católica, 5 de Mayo y Nicolás Bravo. El uso industrial, que comprende solamente el 3%, está representado por maquiladoras de ropa y de partes electrónicas, fábricas relacionadas con la construcción, mismas que se encuentran ubicadas en algunas zonas dispersas de la ciudad, así como también el parque industrial localizado a 8 km al sur de la ciudad.

Por último, se tiene el uso turístico que abarca el 2% del uso del suelo en La Paz. Este comprende los hoteles e instalaciones marinas y de apoyo al turismo que se localizan, sobre todo, en la franja costera.

El crecimiento que ha experimentado la ciudad en la última década ha originado la formación de zonas incompatibles con el uso generalizado del suelo, llegando a crear limitantes que impiden el funcionamiento armónico de los diversos servicios. Sobresale la pista aérea militar que dejó de ser usada porque constituía un peligro para los habitantes de las colonias aledañas. Actualmente, ya hay algunas calles que cruzan la pista, como el bulvar Luis Donald Colosio, que permite que haya una mejor intercomunicación en La Paz.

2.3.1 Áreas verdes.

Como ya se mencionó anteriormente, La Paz está considerada como una ciudad arbolada. En las banquetas y en los patios de las casas están sembrados diferentes tipos de árboles que proporcionan una sombra "anhelada" a las casas, los peatones y los vehículos estacionados. Destacan entre otros, los laureles de la India, tabachines, tamarindos, almendros, benjamins, eucaliptos, tamarices y palmeras diversas; además, en los patios y las huertas hay naranjos, limones, mangos, aguacates, guayabos, higueras, papayos, enredaderas y emparrados que no solamente refrescan el área con su sombra, sino que algunos, también dan ricos frutos.

Debido al crecimiento tan rápido de la ciudad, existen muchas colonias y conjuntos habitacionales que todavía no cuentan con arboladas, ya que las plantas apenas están siendo sembradas o, bien, se encuentran creciendo.

Por otro lado, en La Paz existen algunos pequeños parques que, aunque pavimentados, tienen árboles y plantas que proporcionan sombra y frescura a las personas que transitan por ellos o los visitan. Entre otros parques, destacan el Revolución, Cuauhtemoc, Jardín Velasco, Unidad Cultural Jesús Castro Agúndez y Nayarit (Mapa 6). El área aproximada que abarcan estos parques es de 54,996 m², que abarca un 0.2% del total de la ciudad.

2.3.2 Zonas de riesgo.

Por su situación geográfica, La Paz, está expuesta a ciertos riesgos hidrometeorológicos originados principalmente por los ciclones tropicales. Dentro de los efectos nocivos de estos meteoros se encuentran las marejadas, los intensos vientos y las inundaciones provocadas por las fuertes lluvias, mismos que afectan a la ciudad en general. Sin embargo existen áreas donde el riesgo es mayor.

La ciudad de La Paz se localiza en una zona baja que se encuentra atravesada por el cauce de varios arroyos que descienden de la sierra de La Cacachila y desembocan en la ensenada de La Paz. Por un lado, están los arroyos El Cajoncito y El Piojillo que se bifurcan del arroyo conocido propiamente como El Cajoncito; y en cuyo cauce, se terminó de construir en 1987 la presa de La Buena Mujer, con el fin de controlar las avenidas y recargar los mantos acuíferos de La Paz. Por otro lado, se encuentra el arroyo La Huerta que pasa al sur de la ciudad entre la UABCS y El Calandrio.

Según la Comisión Nacional del Agua (1998), en La Paz existen algunos asentamientos humanos que se encuentran localizados cerca de los arroyos. Estos asentamientos se consideran como zonas de alto riesgo debido a que por ellos pueden correr fuertes avenidas que arrasan con lo que se encuentra a su paso. Por otro lado, existen zonas inundables, es decir, asentamientos localizados en algunas partes bajas o en pequeñas cañadas que pueden llegar a inundarse cuando se presentan las fuertes lluvias de verano. Dentro de las zonas de alto riesgo (Mapa 6), se encuentran las colonias Marquez de León (1), Agua Escondida (2), Riojas de Colosio (3), Solidaridad y su Ampliación (4), El Calandrio (5), El Progreso (6) y La Fuente-Los Tabachines (7); mientras que las áreas susceptibles de inundación son las colonias Palo Santa Rita (8), 3 de Mayo (9), Revolución (10), Civilizadores II-Garzas 5-Residencial Las Islas (11), Garzas II (12), INFONAVIT-Solidaridad (13), Inalapa (14), Lázaro Cárdenas (15), Ciudad del Cielo (16), Francisco Villa (17), el poblado de Chametla (18), Ampliación Navarro Rubio (19), Olachea (20), Misioneros (21), Civilizadores (22), el fraccionamiento Universidad (23) y Mezquitito (24).

Además de las zonas vulnerables a las avenidas de los arroyos, existen otras áreas en donde el riesgo es alto, como la franja costera en donde la marea de tormenta y el oleaje pueden romper los amarres y dañar los barcos que están fondeados en la ensenada o atracados en los muelles, así como las construcciones que se encuentran sobre la línea de la costa. Asimismo, los fuertes vientos pueden romper ramas, cables, puertas y ventanas; tumbar letreros y árboles; levantar láminas de techo de las casas; destruir casa móviles, viviendas endebles y hasta algunas estructuras; además, del riesgo que encierran los desechos o escombros transportados por el mismo viento y oleaje, pues ellos pueden, a su vez, dañar las construcciones o a las mismas personas.

2.4. Número de viviendas.

En la Tabla 5 se puede observar que el número de viviendas en la ciudad de La Paz ha aumentado considerablemente en los últimos 25 años y que, inclusive, el crecimiento anual de la construcción de viviendas ha sido mayor que el mismo crecimiento de la población. De hecho el número de viviendas en la ciudad de La Paz desde 1970 se ha quintuplicado, situación que ha provocado un descenso paulatino en el número de habitantes por vivienda.

Año	Crecimiento anual de la población %	Número de Viviendas	Crecimiento anual de viviendas %	Número de habitantes por vivienda
1970	8.9	7,542	—	6.1
1980	9.8	17,422	13.0	5.2
1990	5.0	30,037	7.2	4.5
1995	2.4	36,464	4.2	4.2

Fuentes: IX, X y XI Censos de Población y Vivienda. INEGI.
Baja California Sur. CONTEO 1995. INEGI.

La gran mayoría de las viviendas en la ciudad de La Paz están construidas de cemento, tabique y losa de concreto, materiales que absorben una gran cantidad de calor durante el día y lo irradian al medio ambiente en la noche.

Según el Censo de Población de 1990 (INEGI, 1991), el 62% de las viviendas en La Paz tienen piso de cemento, el 82% paredes de tabique, ladrillo, bloque o piedra, y el 58% con techos de losa de concreto. El 33% tienen techo de lámina de asbesto, metálica o de cartón, lo que provoca que la temperatura interior del inmueble ascienda considerablemente durante el día, sobre todo en el verano. También hay un 14.5 % de las viviendas con paredes de lámina de madera o cartón que acentúan este último fenómeno.

2.5 Pavimentación y número de vehículos.

La ciudad de La Paz presenta una retícula vial en forma ortogonal que comprende aproximadamente el 35% de la superficie total del área urbana. De esta retícula, sólo el 40% está pavimentada ocasionando, por un lado, que haya una sobreutilización de las calles pavimentadas y una constante necesidad de reparación de las mismas; por el otro lado, que se levante una gran cantidad de polvo que contamina el aire; y, además, que haya arrastres de tierra cuando llueve, deteriorando la terracería y provocando problemas de circulación en las calles pavimentadas.

Aunado al aumento de la población y al crecimiento de la mancha urbana de La Paz, el número de vehículos que transitan la ciudad ha ido en un constante aumento. En 1978 se tenían 18,384 unidades, mismas que se triplicaron para 1996. En la Tabla 6 se puede observar que, en los últimos cuatro años, este crecimiento ha sido mucho mayor que el aumento de población y vivienda.

Este incremento tan acusado en el número de vehículos provoca ciertos problemas como es el aumento en la contaminación del aire debido a los gases que emiten y al polvo que levantan los automóviles y camiones al transitar por las calles que no están pavimentadas. Además, el intenso flujo de vehículos y la falta de lugares para estacionarse ocasiona que, en algunas zonas, se presenten problemas de tráfico y de circulación peatonal. Entre otras, se encuentran el área comercial del Centro, la zona circundante al Palacio de Gobierno y la intersección de las avenidas 5 de Febrero y Forjadores.

Vehículos	1978*	1992	Aumento anual % (1978-1992)	1996	Aumento anual % (1992-1996)
Automóviles	9,467	16,846	5.5	37,899	31.2
Camiones**	8,903	7,577	-1.1	21,145	44.7
TOTAL	18,370	24,423	2.3	59,044	35.4

Fuente: Dirección General de Seguridad y Tránsito.

Notas: * Fuente: Dirección de Planificación y Urbanismo del estado de Baja California Sur, 1978. Infraestructura Vial.

** Incluye también remolques y varios.

3. CLIMATOLOGIA URBANA DE LA PAZ.

3.1 Antecedentes.

Desde que se establecieron las ciudades en la antigüedad, las personas se dieron cuenta de que el aire urbano era diferente al del campo. En esa época, varios filósofos romanos como Horacio y Séneca, escribieron acerca de la contaminación en Roma. Debido a la combustión del carbón, la ciudad de Londres se convirtió desde la Edad Media en el prototipo de la contaminación urbana. Esto llevo al naturalista John Evelyn, en el siglo XVII, a expresarse de Londres de la siguiente manera: "En todos los demás lugares el aire es lo más puro y sereno, aquí se ve eclipsado por una nube de sulfuro de la misma manera como el Sol, que proporciona el día a todo el mundo, le es difícil aquí penetrar e impartirlo; y desde varias millas de distancia el cansado viajero, huele primero la ciudad antes de verla". Ese problema de la contaminación persistió durante tres siglos más, hasta que en 1952 causó la muerte de 4,000 personas, lo que originó la legislación que convirtió a Londres y a otras ciudades en zonas "sin humo" (Landsberg, 1981).

Aunque mejor conocido por su clasificación de nubes, Luke Howard, padre de la climatología urbana, publicó en 1818 un libro sobre el clima de la ciudad de Londres. Su aportación más importante al respecto, fue el descubrir que el centro de la ciudad era más cálido que su alrededor. Desde entonces, la climatología urbana ha ido adquiriendo mayor interés en el mundo y se ha desarrollado rápidamente en los últimos años. Landsberg (1981) y Oke (1991) señalan que existe una amplia bibliografía relacionada con el tema del clima urbano, misma que refleja la creciente preocupación que se tiene en relación a la influencia del hombre sobre su medio ambiente.

Taesler (1984) considera que la climatología urbana es "el estudio y la predicción de las condiciones atmosféricas en los asentamientos humanos. Estas condiciones dependen del régimen macroclimático, así como de los efectos regionales, locales y microescalares causados por la conformación del medio y por la urbanización". Este mismo autor define a la climatología urbana aplicada como la utilización de la información climática para predecir y controlar los efectos de la atmósfera urbana sobre elementos determinados del "sistema urbano" como son los seres humanos, los edificios o bien las actividades sensibles al tiempo atmosférico.

3.2 Efectos producidos por las zonas urbanas.

El aumento de la población y de la urbanización en el mundo provoca un fuerte impacto en el medio físico y particularmente en la atmósfera local, debido a la transformación del uso del suelo y de las actividades que se realizan en las ciudades. Incluye la modificación en los procesos radiativos, la temperatura, la humedad y el viento; de ahí que afecte el balance radiativo natural y el ciclo hidrológico.

Algunos de estos cambios son evidentes y relativamente fáciles de medir, por ejemplo, en las ciudades se presenta un aumento en la contaminación que reduce la incidencia de radiación solar y la visibilidad; además, hay un incremento en la temperatura que genera la isla de calor; el viento superficial es menos intenso y más turbulento pues las construcciones aumentan la fricción. Otras alteraciones, como la humedad y la lluvia son más sutiles y su relación con el área urbana resulta más difícil de determinar (Marsh y Dozier, 1981). La magnitud del cambio en estos elementos depende de diferentes factores como son la extensión de la zona urbana, la naturaleza de la industria y otros de carácter

local como son la topografía, la proximidad de los cuerpos de agua, la hora del día, la estación del año y las condiciones del tiempo atmosférico (Lutgens, 1989).

El crecimiento de las ciudades no sólo conlleva a diferentes problemas de tipo ambiental, sino también a dificultades de tipo socioeconómico y político como son el abastecimiento de energía, agua, alimentos, la necesidad de viviendas, empleos, transporte, seguridad, salubridad y educación.

Oke (1984) considera que frente a todos estos problemas socioeconómicos y políticos, el papel de la climatología urbana para mejorar las condiciones ya existentes es muy pequeño. Sin embargo, nuestro aporte podría tener algún significado si se logra que se tome en cuenta al clima en la planificación urbana, el trazado de las ciudades y en la construcción. Al adoptar algunos principios que no implican mayores costos, se puede lograr que una gran parte de la población mundial viva mejor pues se alcanzarían algunos beneficios como una mejoría en las condiciones de bienestar y salud, y un menor desperdicio de energía y agua.

Ante esta situación, y como en los países en desarrollo hay una tendencia creciente de urbanización, existe una gran necesidad de contar con mayor información acerca de los climas urbanos tropicales; ya que como señalan Oke (1984) y Jáuregui (1984), los estudios del clima urbano en latitudes bajas son escasos y en general de carácter descriptivo.

Landsberg (1981) considera que para establecer los cambios climáticos de una ciudad no basta, como se hacía anteriormente, con realizar una comparación de los parámetros meteorológicos de una estación meteorológica dentro de una ciudad con otra estación fuera de la misma, como podría ser un aeropuerto. Solamente es útil la información en lugares que sean cercanos y que tengan un relieve plano, pues una estación alejada, como un aeropuerto, puede presentar un microclima favorable para la navegación y por lo tanto tener un clima diferente al de la ciudad. Además, agrega que la comparación "antes y después" sólo puede ser válida si se tienen observaciones meteorológicas del sitio desde antes de su urbanización y sobre todo si éstas son largas series de tiempo.

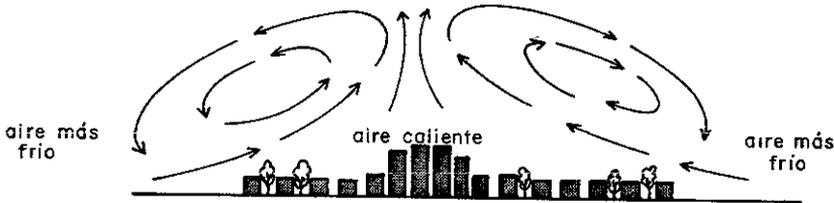
3.2.1 Sistemas atmosféricos.

El clima de una ciudad no se encuentra aislado de los diferentes sistemas atmosféricos; las condiciones locales (meso y microescala) se ven influenciadas por los fenómenos meteorológicos a mayor escala (sinóptica). La interacción entre ambas escalas es como un columpio en donde, algunas veces dominan las condiciones meteorológicas de gran escala y, en otras prevalecen las condiciones locales, aún cuando ambas están siempre presentes. De todos los factores sinópticos, es el viento el que ejerce un mayor control sobre los factores de escala local (Landsberg, 1981).

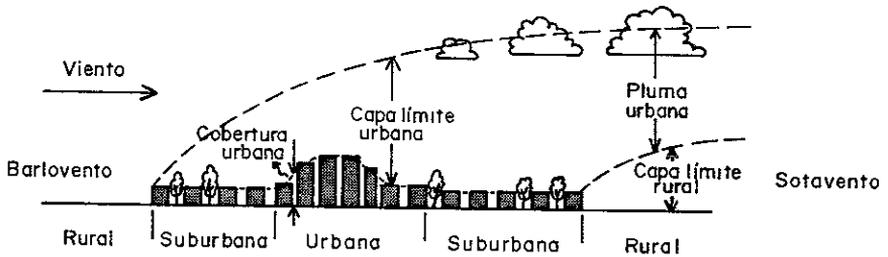
Cuando en La Paz se presenta un fuerte sistema de gran escala, como un frente frío, un sistema convectivo o un ciclón tropical con intensos vientos, nubes y lluvia, los vientos locales como las brisas diarias de mar y tierra se ven sofocados. Pero, cuando el viento es débil y el cielo despejado, los efectos locales controlan las capas inferiores de la atmósfera. Además, las zonas urbanas inducen la formación de un fenómeno conocido como "la brisa de campo" que se presenta cuando las noches están en calma y el cielo despejado; es un patrón de circulación que se caracteriza por un viento ligero que sopla hacia la ciudad desde sus alrededores (Figura 14a).

FIGURA 14.

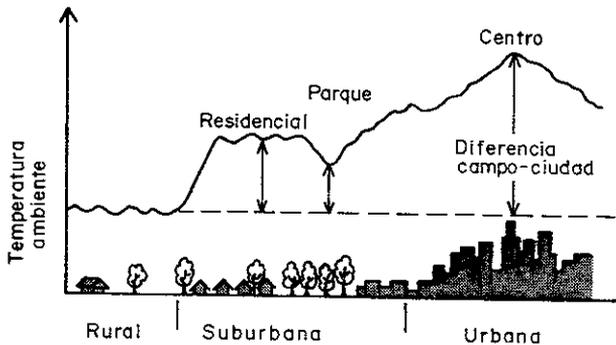
- a. Circulación del aire en la ciudad, en una noche despejada y en calma.**
(Modificado de Lutgens, 1989)



- b. Resultado de la influencia del viento sobre la atmósfera urbana.**
(Modificado de Oke, 1987)



- c. Efecto del tipo de superficie en la temperatura ambiente.**
(Modificado de Marsh y Dozier, 1981)



Conforme llegan a la ciudad las brisas de tierra o de mar, el viento se encuentra con una serie de condiciones muy diferentes a las que hay en la zona rural o en el mar. De esta manera, se forma una capa límite interna que se extiende desde el extremo de barlovento de la ciudad hasta el extremo de sotavento de la misma (Figura 14b). La capa límite urbana es un fenómeno con una escala media a local y cuyas características se ven regidas por la naturaleza de la superficie de la ciudad. En la Figura 14b, también se observa como entre las construcciones existe una capa de cobertura urbana producida por procesos a micro escala que actúan por las calles y entre los edificios (Oke, 1987).

3.2.2 Composición del aire urbano.

Una de las principales diferencias entre las zonas rurales y las urbanas es la alteración en la composición del aire, ya que las ciudades arrojan grandes cantidades de gases y diminutas partículas a la atmósfera. Wark y Warner (1990) mencionan que los principales contaminantes del aire en las ciudades son la materia particulada, como el polvo y los aerosoles (vapores, humo); el monóxido de carbono; los compuestos que contienen azufre o nitrógeno; los compuestos orgánicos, halogenados o radiactivos. Estos constituyen los contaminantes primarios pues son emitidos directamente por una fuente; pero, debido a las reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera entre los contaminantes primarios y los componentes que están normalmente en el aire, se forman otros contaminantes, los secundarios, como el ozono.

La Organización Meteorológica Mundial (W.M.O., 1970) considera que la meteorología juega un papel muy importante en el transporte y la difusión de los contaminantes de la atmósfera. La presencia de polvo en el aire está relacionada con la intensidad del viento; la eficaz dispersión de los efluentes que salen del cañón de las chimeneas industriales depende de la temperatura ambiente, la estabilidad del aire y de la intensidad del viento. La formación de contaminantes secundarios (fotoquímicos) en las áreas urbanas es controlada no sólo por la tasa de emisión de contaminantes primarios, sino también por el viento, la turbulencia, la temperatura ambiente y la radiación solar. Otras reacciones atmosféricas pueden depender, también, de la humedad relativa. La precipitación, a su vez, es un importante mecanismo natural que limpia el aire, pero puede causar problemas de contaminación en el suelo y en las fuentes de agua.

3.2.2.1 Fuentes de contaminación y contaminantes.

El transporte constituye una de las principales fuentes de contaminación del aire en La Paz. Existen aproximadamente 59,000 vehículos de motor que transitan por la ciudad. Por un lado, levantan el polvo de las calles que están sin pavimentar y, por el otro lado, emiten gases y sustancias tóxicas que pueden perjudicar la salud de las personas y los animales, así como dañar las plantas y algunos materiales, como se verá más adelante.

Cabe señalar que, en La Paz, existe un número muy alto (aproximadamente el 75%) de automóviles con placas de zona fronteriza, es decir, autos importados de Estados Unidos que tienen una antigüedad mínima de 5 años. Además, en las calles se observan varios vehículos, que al transitar emiten grandes cantidades de gases.

La combustión de la gasolina produce monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos, incluyendo compuestos orgánicos de gran peso molecular que pueden ser cancerígenos. Algunos de estos contaminantes forman la bruma fotoquímica;

dentro de los oxidantes fotoquímicos de mayor concentración se encuentran el ozono (O_3), que es un contaminante secundario. Además, la combustión de gasolina con plomo es la principal fuente de plomo en la atmósfera (W.M.O., 1970).

Wark y Warner (1990) mencionan que el monóxido de carbono es muy estable y tiene una vida media en el aire de 2 a 4 meses. Una porción significativa de este compuesto es eliminada por los hongos que hay en el suelo y, además, en la atmósfera se oxida a bióxido de carbono (CO_2); este último no se considera como contaminante, pero como es un gas de efecto de invernadero, un aumento en su concentración favorece el incremento en la temperatura global de la atmósfera.

La Paz no se caracteriza por ser una ciudad industrial, de ahí que no se presente una fuerte contaminación debida a las emisiones de las fábricas. Sin embargo, existe otra fuente de contaminación, la planta termoeléctrica de Punta Prieta, que se encuentra sobre la costa al norte de la ciudad. Cuando se establece a mediodía la brisa de mar, los vientos soplan con una componente del norte durante algunas horas nada más, y es entonces que los contaminantes pueden llegar a la ciudad. Pero, en invierno y primavera, cuando el viento predominante tiene una componente del norte o bien cuando se presenta una "colla" durante varios días, se puede generar una mayor contaminación en la ciudad. Se ha visto que cuando ocurre ese fenómeno, algunas veces en los vehículos aparece una capa oleosa, por lo que se considera que dichas partículas podrían provenir de las emisiones de la planta termoeléctrica. Aún cuando los contaminantes emitidos por dicha planta no siempre llegan a la ciudad de La Paz, las zonas aledañas se ven afectadas por la contaminación pues su emisión es continua.

La principal fuente de óxido de azufre (SO) en la atmósfera proviene del consumo de combustibles que contienen azufre, como el usado en las plantas termoeléctricas (W.M.O., 1970). El bióxido de azufre (SO_2) se convierte parcialmente a trióxido de azufre (SO_3) o ácido sulfúrico y a sus sales mediante procesos fotoquímicos o catalíticos en la atmósfera. Con la humedad del aire, el trióxido de azufre forma ácido sulfúrico (H_2SO_4). Los óxidos de azufre en combinación con las partículas y la humedad del aire producen los efectos más nocivos atribuidos a la contaminación del aire (Wark y Warner, 1990).

Por último, otras dos fuentes de contaminación en La Paz son el Relleno Sanitario, localizado al noreste de la ciudad, y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, ubicada al suroeste. Cuando se incineran los desechos del tiradero y los vientos soplan con una componente del norte, el humo llega a la zona urbana y además de contaminarla, provoca mal olor y reduce la visibilidad en algunas zonas. Cuando los vientos soplan del sur, las partículas contaminantes y el mal olor que expide la planta de tratamiento de aguas negras, son transportados a las colonias ubicadas en el suroeste de la ciudad.

3.2.2.2 Efectos en el flujo de radiación solar.

La contaminación del aire en las ciudades es uno de los principales factores que determinan al clima urbano pues modifica el balance de la radiación. Por un lado, la bruma y el neblumo reducen la cantidad de radiación solar que llega a la superficie, ya que una parte de la radiación es absorbida y dispersada por las partículas que los componen; pero, por el otro lado, disminuye la cantidad de radiación de onda larga que se escapa de la zona urbana, ya que esa pantalla de impurezas la vuelve a irradiar a la ciudad, evitando las pérdidas por

radiación nocturna. Como resultado, el calor es retenido en la atmósfera urbana más tiempo que en el caso de una atmósfera más limpia como la rural, lo que induce a alcanzar temperaturas más altas en la ciudad. Además, aunque el bióxido de azufre y el ozono no son visibles, cambian las características de absorción y transmisión de la atmósfera, cuando están presentes en grandes cantidades.

3.2.2.3 Efectos en la visibilidad.

El efecto más obvio de los contaminantes es la reducción de la visibilidad en las ciudades. Los factores meteorológicos que favorecen la formación de bruma en La Paz son, por un lado, la inversión térmica superficial producida, como se mencionó en capítulos anteriores, por la radiación nocturna que se presenta en todos los meses del año, pero principalmente en los secos; y por el otro lado, el alto porcentaje de aire en calma que tiene lugar durante las noches y madrugadas desde octubre a marzo, y que favorece el estancamiento de la bruma.

Al amanecer, la visibilidad en la ciudad de La Paz se encuentra muy reducida, en promedio a unos 10 kilómetros en todas direcciones. Este descenso es ocasionado por la bruma que se forma en las madrugadas y, también, por el polvo que levantan los vehículos al transitar por las calles que no están pavimentadas. Unas horas después, cuando se rompe la inversión térmica y el aire superficial se calienta y expande, la bruma se disipa y la visibilidad aumenta. La visibilidad media dominante en La Paz es de 27 kilómetros y el promedio diurno es de 21 kilómetros.

La contaminación por polvo se agrava después de que se presentan fuertes lluvias en La Paz, ya que éstas provocan escurrimientos en la ciudad que depositan una gran cantidad de tierra sobre algunas de las calles pavimentadas. Cuando ésta se seca, y los vehículos circulan por encima, se levanta mucho polvo.

Fuera de la bruma, que se forma en La Paz en las madrugadas cuando hay inversión térmica y del polvo que se levanta en algunos días al año de manera significativa, el cielo, como mencionaba Southworth (1989) a fines del siglo pasado, continúa siendo "azul de esplandente diafanidad" y sus coloridos atardeceres se deben más al contenido de vapor de agua y a las nubes, que a la contaminación urbana.

3.2.3 La isla de calor en las ciudades.

La "isla de calor" es el efecto urbano más estudiado en el clima de las ciudades. Ese término se refiere al hecho de que la temperatura dentro de las zonas urbanas es más alta que en las zonas rurales (Marsh y Dozier, 1981). La isla de calor se produce tanto en las ciudades grandes como en las pequeñas, y las temperaturas más altas tienen lugar donde hay una mayor densidad de construcciones e industrias, mientras que las más bajas están en los parques y las zonas suburbanas (Figura 14c).

Las diferencias de temperatura que hay entre el campo y la ciudad dependen de las condiciones sinópticas, y tienen su origen en la desigualdad del flujo radiativo y los intercambios de turbulencia. Estos contrastes son mayores cuando se presentan sistemas de alta presión que provocan condiciones de calma y de cielo despejado, generando la isla de calor, misma que se representa por isotermas cerradas que separan la ciudad de la temperatura general del campo. Cuando el tiempo es nublado y con viento, estas diferencias tienden a desaparecer (Landsberg, 1981).

La isla de calor es el reflejo de los cambios realizados por el hombre en las ciudades. Las superficies pavimentadas, los techos y las paredes almacenan parte del calor recibido durante el día y lo irradian al entorno después de que se alcanza la máxima temperatura. La evaporación se ve también alterada, pues la energía solar que se usa en el campo para evaporar el rocío o las gotas que hay en las plantas, es absorbida en las ciudades directamente por las construcciones. La evapotranspiración en la ciudad disminuye debido a que la cubierta vegetal se ve reducida por el pavimento y las construcciones. Cuando llueve, el agua escurre rápidamente por las calles debido al pavimento, provocando que haya un mayor escurrimiento y que no exista infiltración en el subsuelo, por ello la evaporación se reduce drásticamente. Además, parte del aumento de la temperatura es atribuido también al calor que emiten algunas fuentes como la generación de electricidad, la industria, el transporte y el aire acondicionado.

Los contrastes entre la temperatura de la ciudad y el campo son menores a mediodía y, en ocasiones, la temperatura en la superficie urbana es inferior a la rural porque los materiales de las construcciones tienen una gran capacidad calorífica y su conductividad es muy alta, de ahí que no se enfríen rápidamente al ponerse el Sol, ni se calienten raudamente al salir éste. Como los materiales almacenan grandes cantidades de energía solar y de energía producida por la ciudad, los contrastes de temperatura entre la ciudad y el campo son más notorios en el atardecer, ya que aún después de la puesta del Sol, las paredes y los techos de los edificios, y los pisos de los patios tienen una temperatura más elevada que el aire. En cambio, las superficies cubiertas por pasto se empiezan a enfriar antes de la puesta del Sol pues su capacidad calorífica es menor (Jáuregui, 1971).

Relación de la isla de calor con el viento.

Además del retardo que sufre la pérdida de calor en las zonas urbanas, los edificios alteran también el flujo del aire. Las superficies rugosas que hay en las ciudades reducen la velocidad del viento, Lutgens (1989) menciona que en base a estimaciones realizadas al respecto, la disminución de éste en comparación a las zonas rurales es del orden del 25%. Esta reducción en la velocidad del viento disminuye la ventilación de las zonas urbanas, e impide que aire más fresco del campo penetre en la ciudad y contribuya a reducir las altas temperaturas del centro. Pero cuando los vientos regionales son fuertes, el efecto de estas estructuras verticales no es suficiente para dificultar la ventilación. Por eso, cuando el viento excede un límite ya no se puede detectar la isla de calor. El valor de ese límite está relacionado al tamaño de la ciudad; entre más grande sea ésta, más fuertes deben ser los vientos para eliminar la isla de calor.

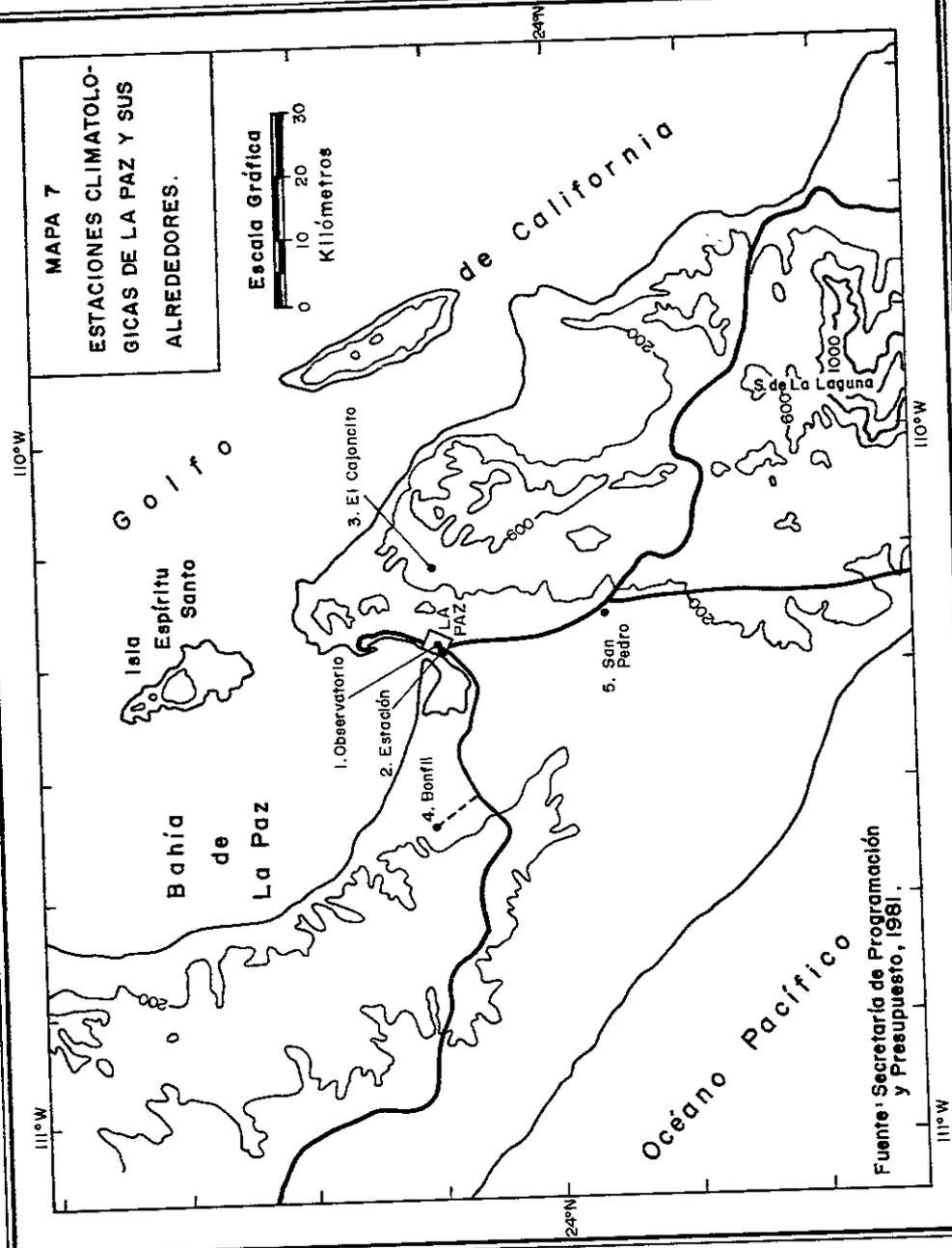
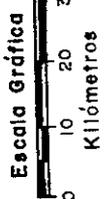
3.2.3.1 Comportamiento térmico de la ciudad de La Paz.

Métodos.

Para estudiar el efecto de la urbanización en los elementos meteorológicos y establecer el fenómeno de la isla de calor se necesitan los datos de una red de observatorios meteorológicos o estaciones climatológicas. Pero cuando no se cuenta con esa red, como es el caso de la ciudad de La Paz que sólo tiene un observatorio meteorológico y una estación climatológica (Mapa 7), se puede determinar la temperatura usando una red móvil de medición.

MAPA 7

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DE LA PAZ Y SUS ALREDEDORES.



Para el presente estudio se realizaron, durante la segunda mitad de 1994 y la primera de 1995, una serie de recorridos en automóvil por La Paz para medir la temperatura ambiente. Estos se llevaron a cabo a diferentes horas en un día (6, 14 y 20 horas) y en varios meses representativos de las distintas estaciones del año (enero, abril, julio y noviembre). Asimismo, debido a las altas temperaturas que imperan durante el verano y que implican una sobrecarga de calor para las personas, se consideró importante realizar los recorridos durante los tres meses que comprenden esta estación (julio, agosto y septiembre), con el fin de determinar las áreas de mayor afectación y sugerir algunas posibles alternativas para mitigar tal efecto.

La temperatura ambiente se midió con un termómetro de mercurio de una precisión de dos décimas de grado Celsius. La lectura de la temperatura fue tomada por una persona que se bajó del automóvil, se situó debajo de la sombra de un árbol y lejos del vehículo para evitar, por un lado, la incidencia de radiación solar directa sobre el termómetro y, por el otro, la influencia del calor emitido por el automóvil.

El desarrollo de cada recorrido fue de 27.35 kilómetros, la lectura de la temperatura se hizo en 14 diferentes puntos de la ciudad que por orden de trayecto son (Mapas 8-25): Palacio de Gobierno (1), Jardines del Sur (2), FOVISSSTE (3), Bordo (4), Fidepaz (5), Conchalito (6), parque de la Nayarit (7), Plaza Coral (8), Catedral (9), Molinito (10), los San Juanes (11), base Militar No. 3 (12), Francisco Villa (13) y el mercado Olachea (14).

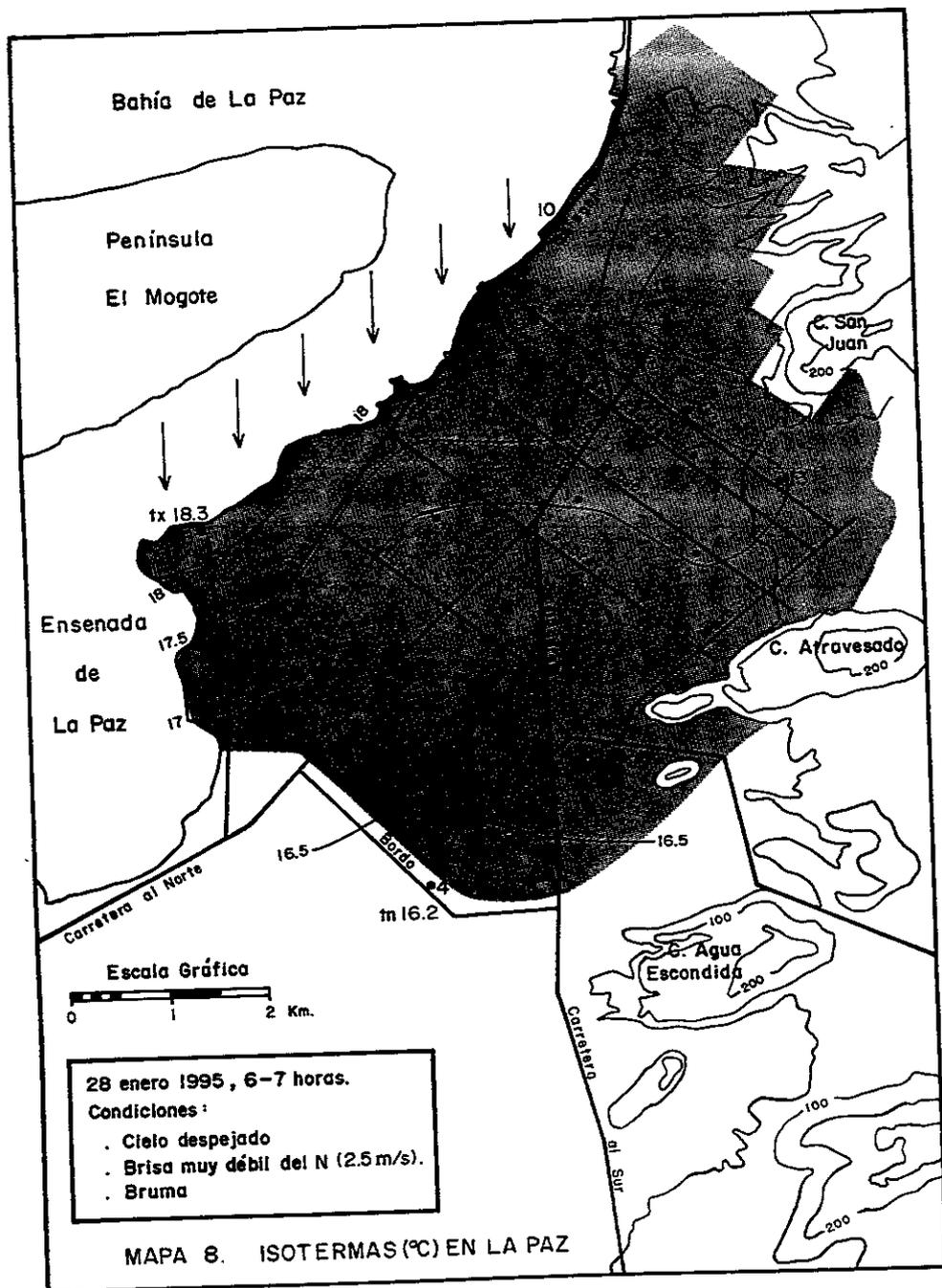
El tiempo que tomó realizar estos recorridos fue aproximadamente de una hora en la madrugada y una hora y media durante el mediodía y la noche. Una vez que se regresó al sitio de partida, se volvió a tomar la temperatura y la diferencia con la primera lectura se repartió proporcionalmente en las diversas tomas, de manera positiva si la temperatura ambiente se encontraba en descenso, o bien, negativa si estaba en ascenso. Durante todos los casos de la madrugada, la temperatura mínima se presentó antes de realizar las lecturas por lo que la temperatura ambiente ya estaba en ascenso, a excepción del mes de enero en que la temperatura mínima se presentó después. En los recorridos que se realizaron a mediodía, la temperatura máxima se presentó antes o después de éstos, pero no en el ínter, por lo que las correcciones se sumaron o restaron. Por último, en los trayectos de la noche la temperatura siempre se encontraba en descenso, por lo que las correcciones se sumaron.

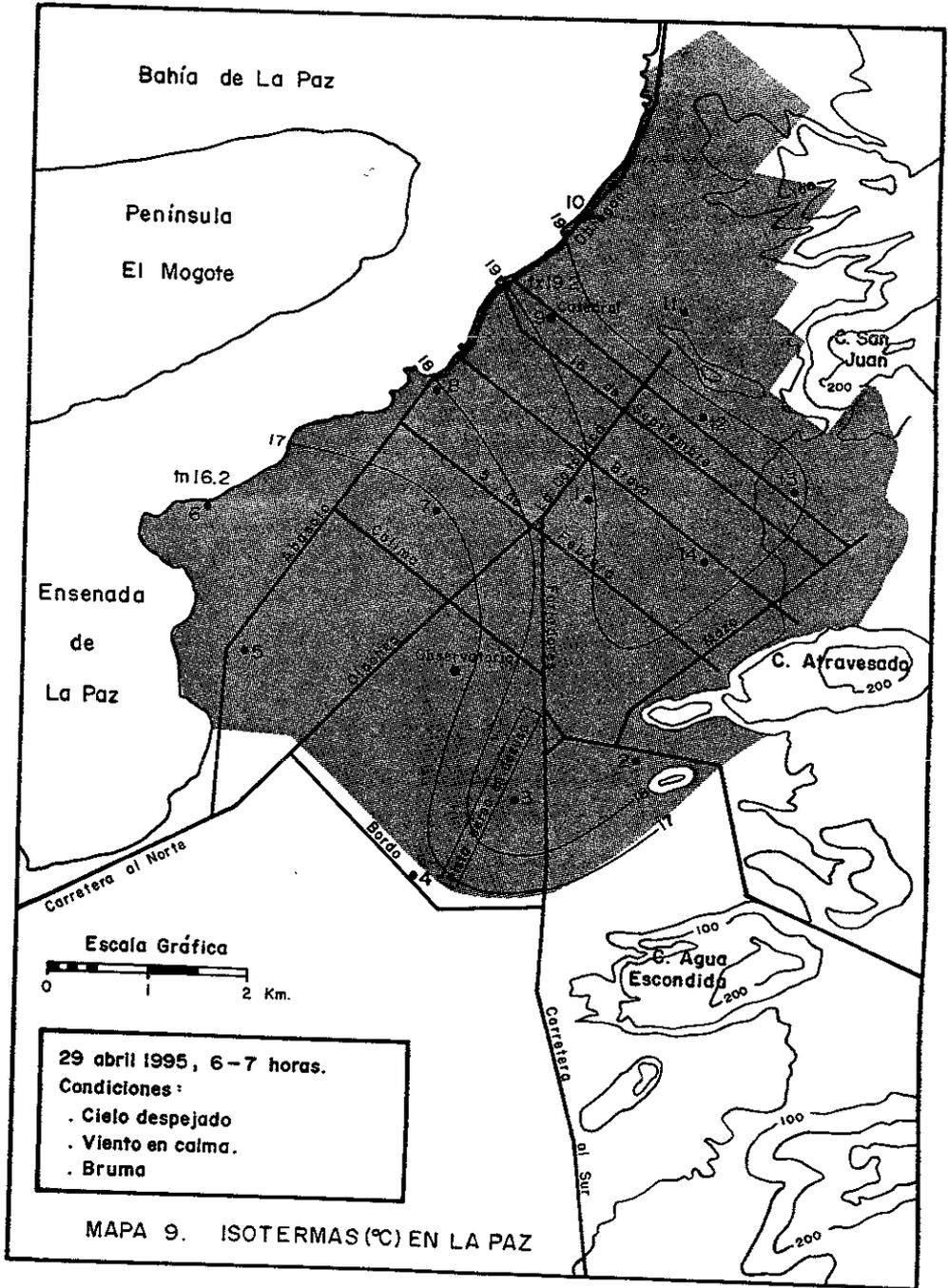
Los datos obtenidos de esta manera, junto con la temperatura ambiente del Observatorio, fueron vaciados en mapas en donde se trazaron las isotermas. Asimismo, se realizaron algunas observaciones en relación a las condiciones del tiempo, como son el estado del cielo y la dirección e intensidad del viento, mismas que ayudan a explicar el comportamiento de la temperatura en la ciudad.

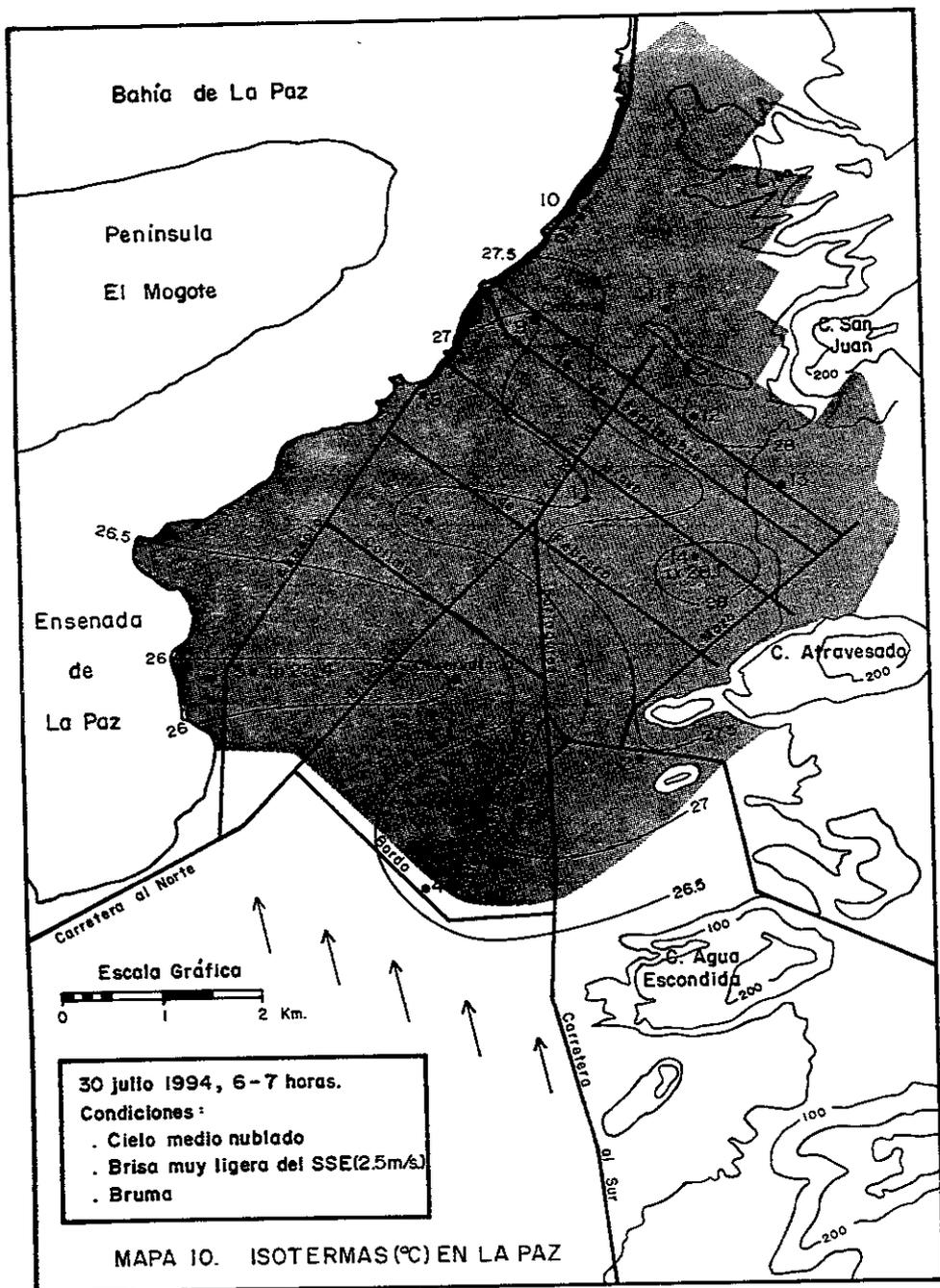
Resultados.

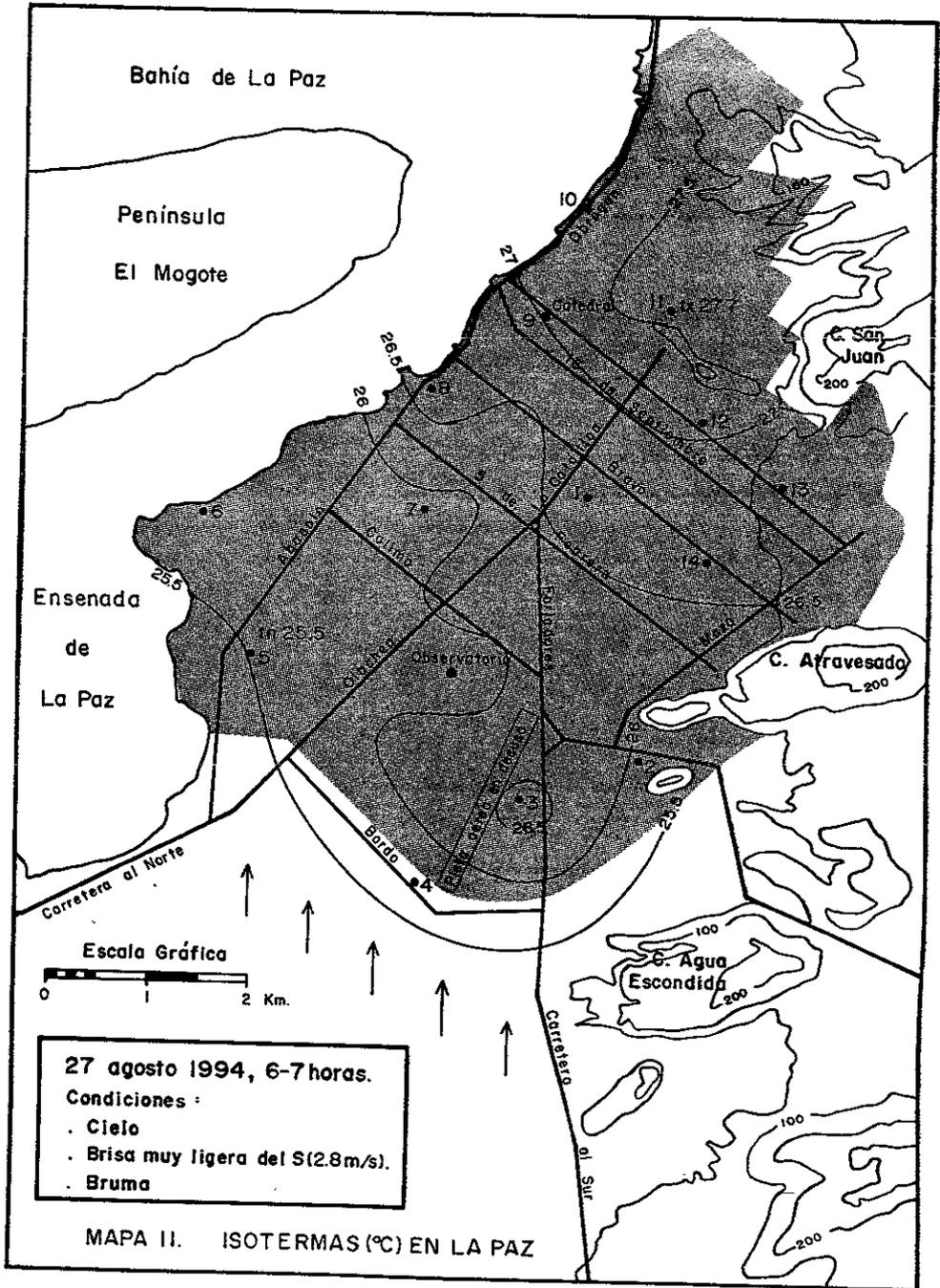
En todos los recorridos realizados a las 6 y 20 horas (Mapas 8-13 y 20-25) se encontró, en la ciudad de La Paz, la existencia de islas de calor que debido a diversos factores, como son la topografía, la fuerza y dirección del viento, la influencia marítima y la morfología urbana, presentaron diferencias en su intensidad, tamaño y forma.

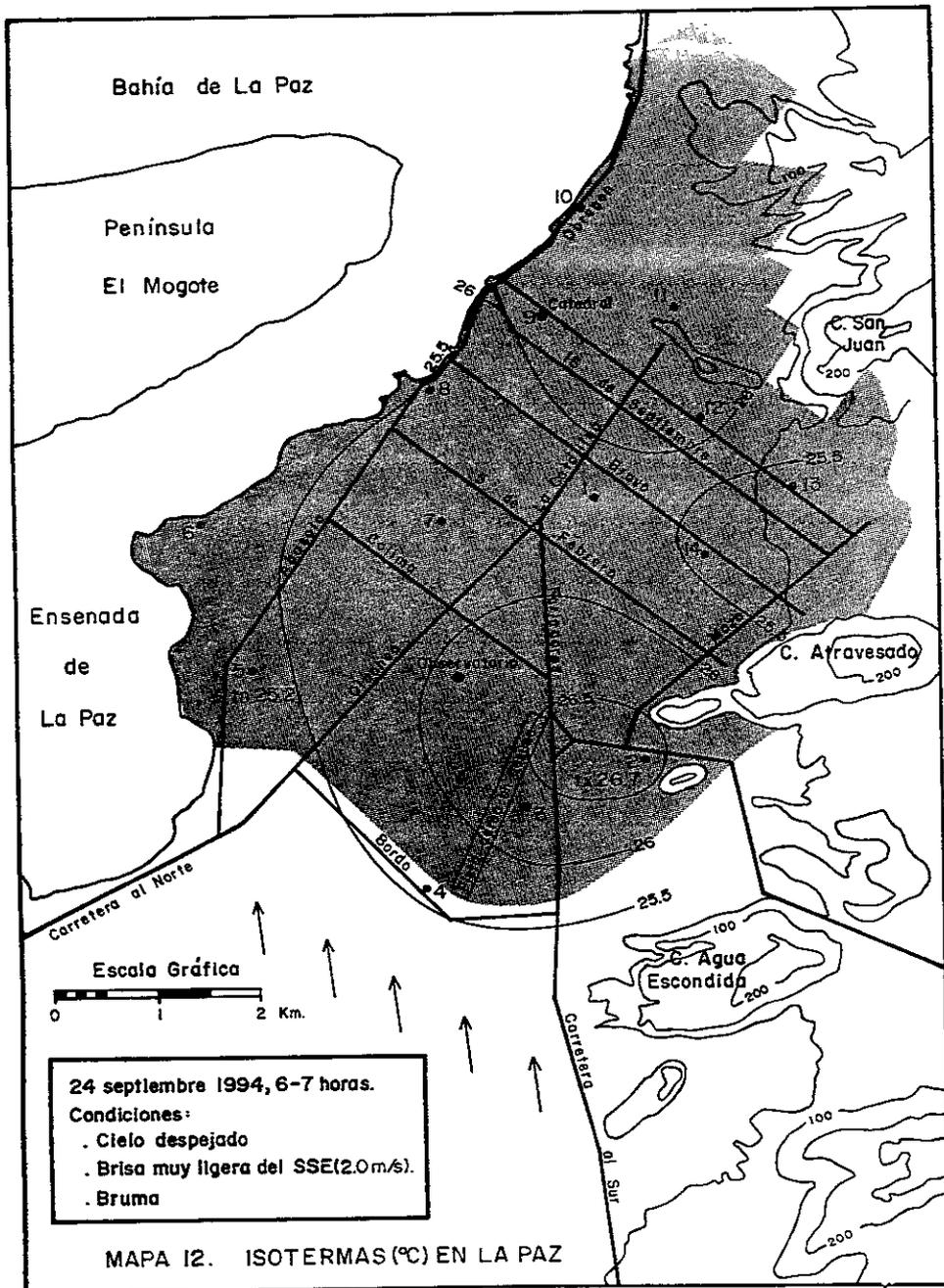
En cambio, en los recorridos hechos a las 14 horas (Mapas 14-19) se observó que las afueras de la ciudad presentaron, en general, una temperatura mayor que el centro de la ciudad y la zona costera. Asimismo, las características de las bolsas de aire de menor temperatura o "islas frías" dentro de la ciudad varían según los factores antes mencionados.

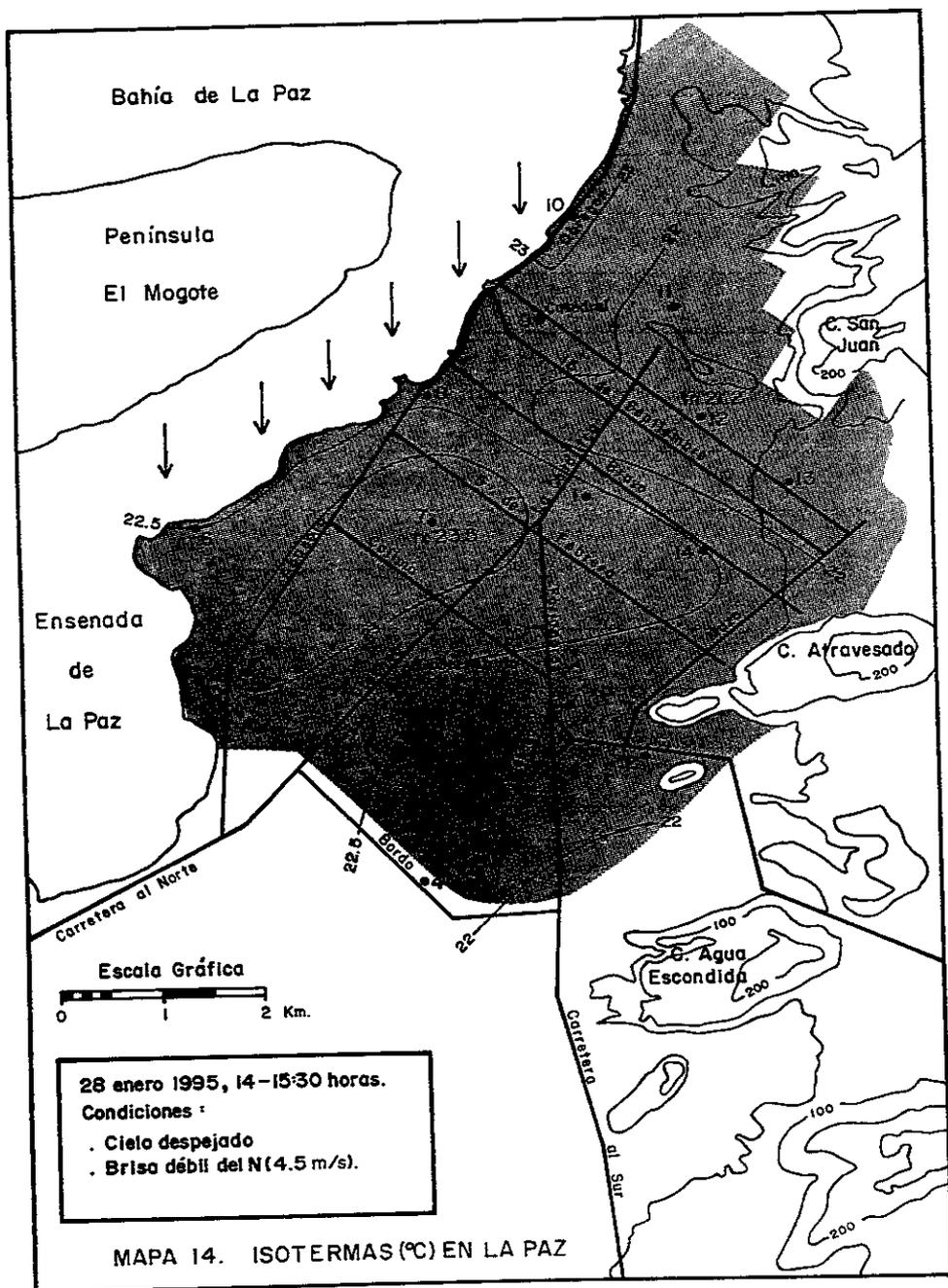


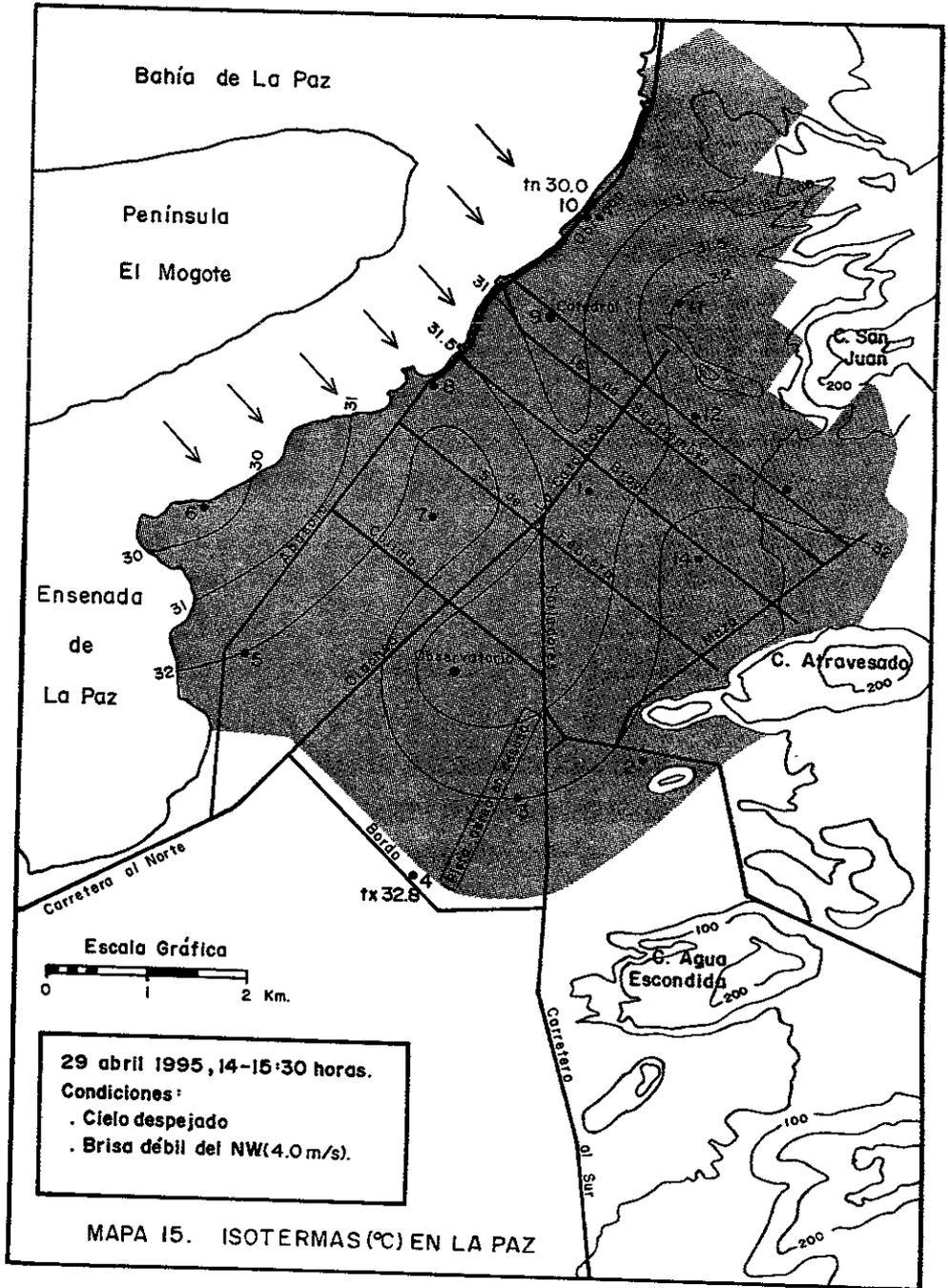


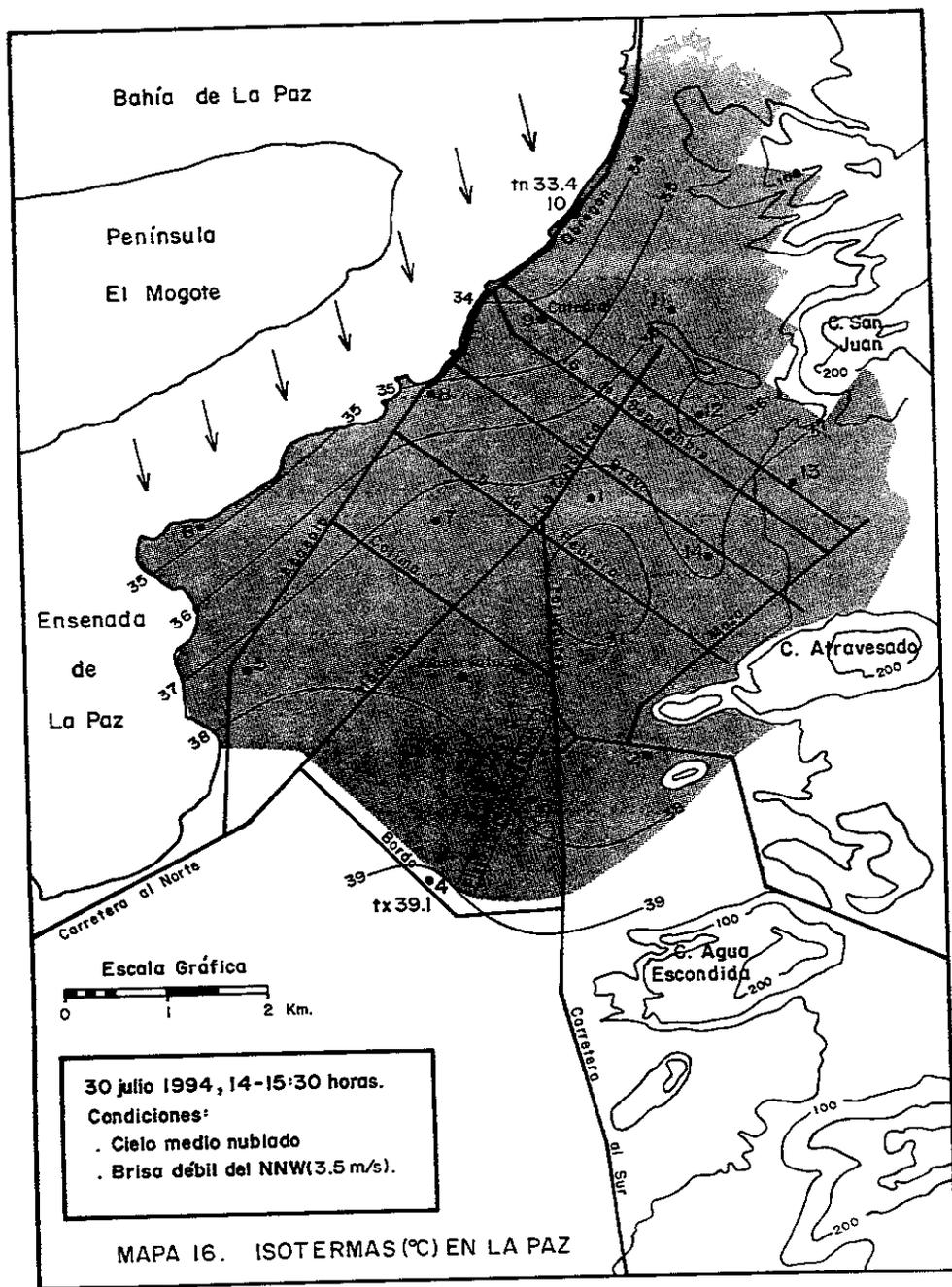


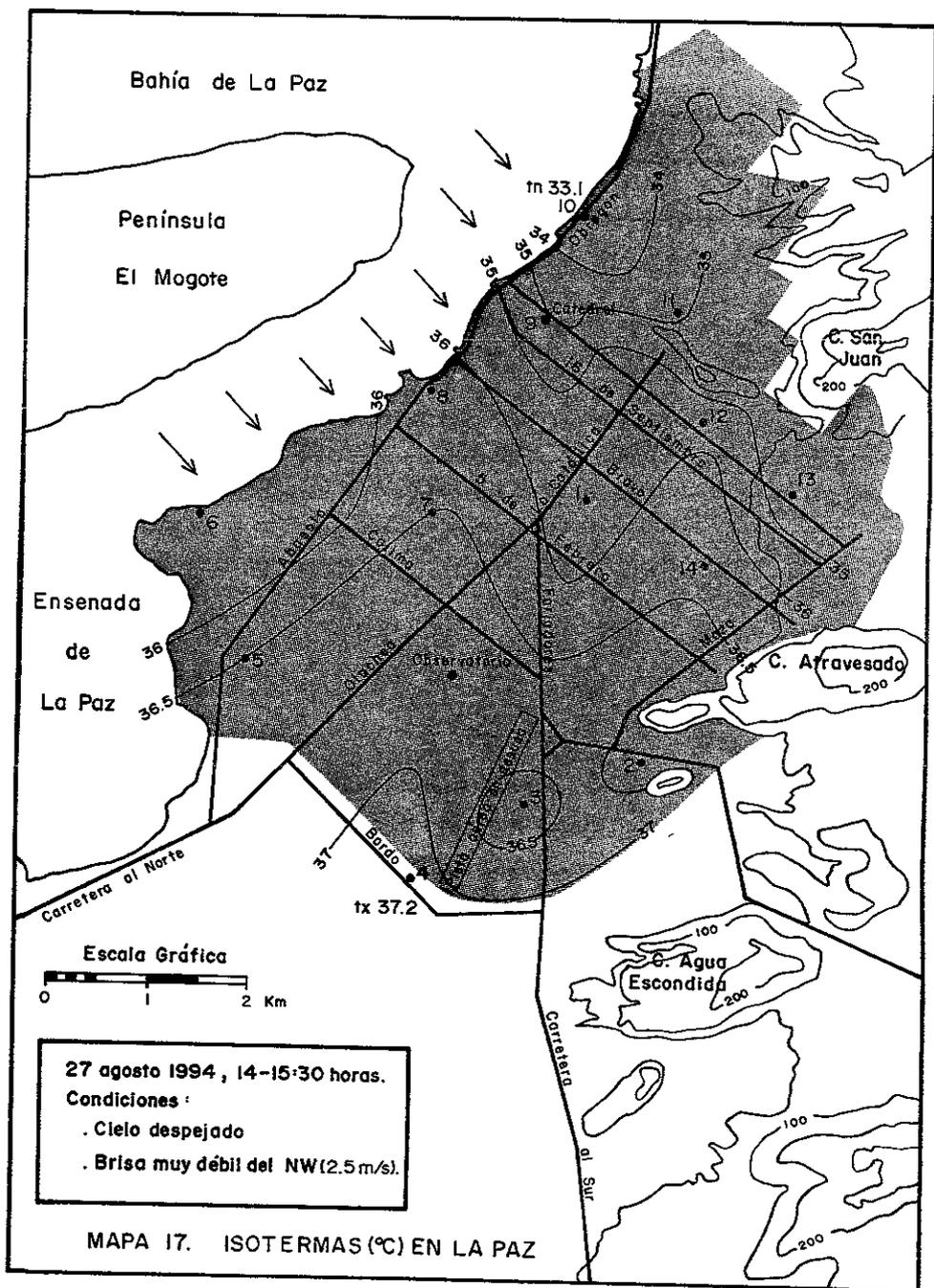


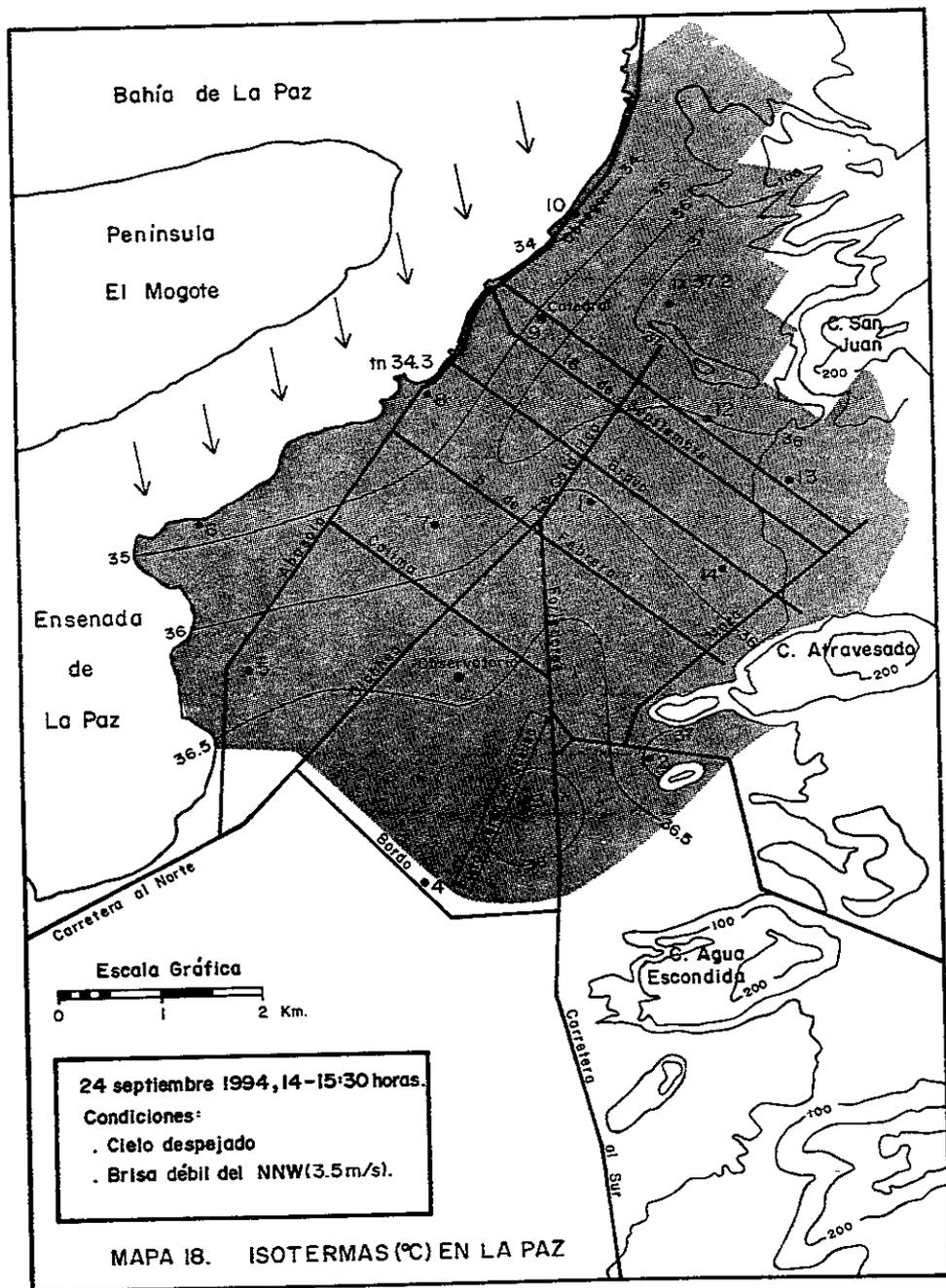


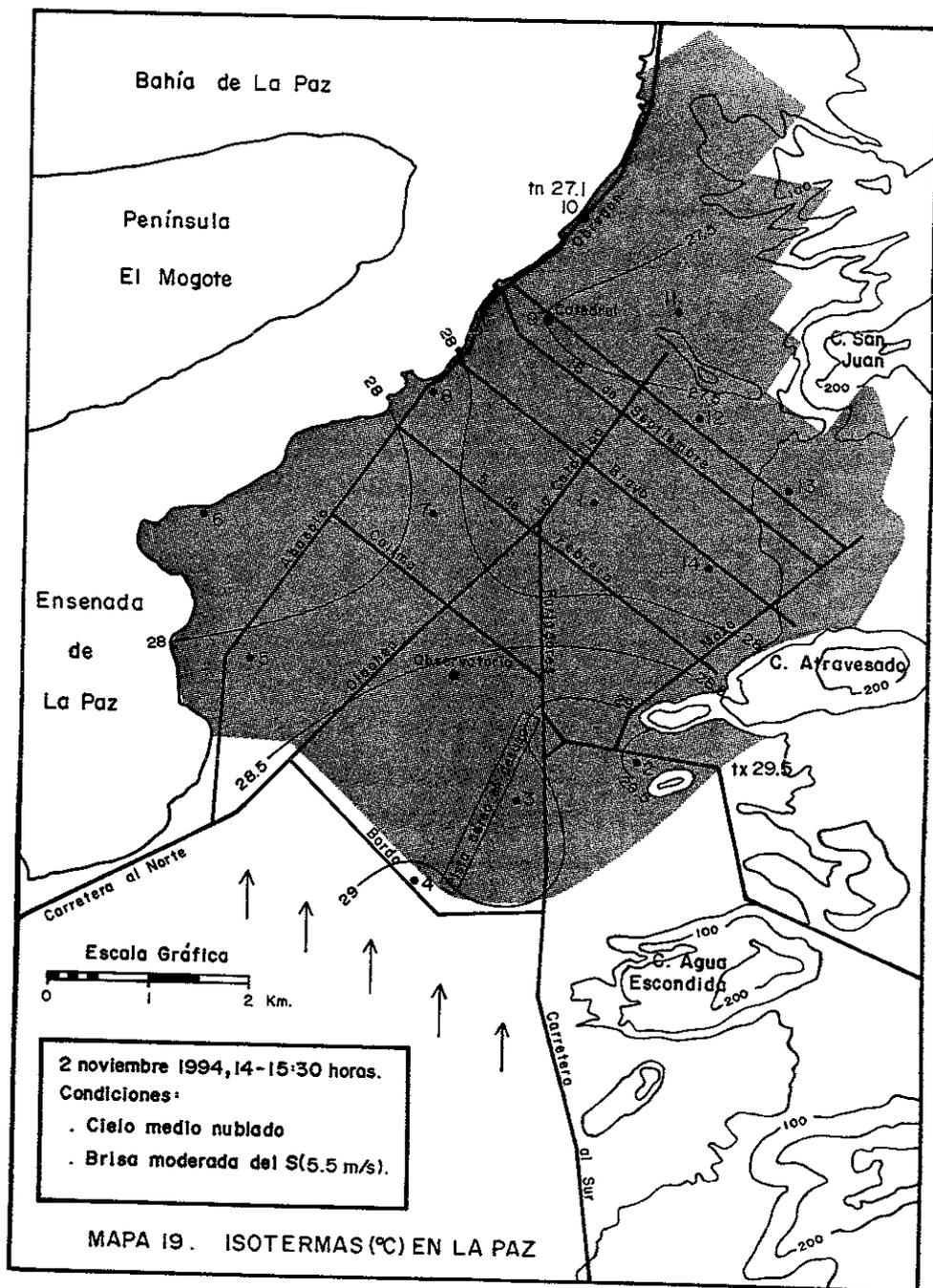


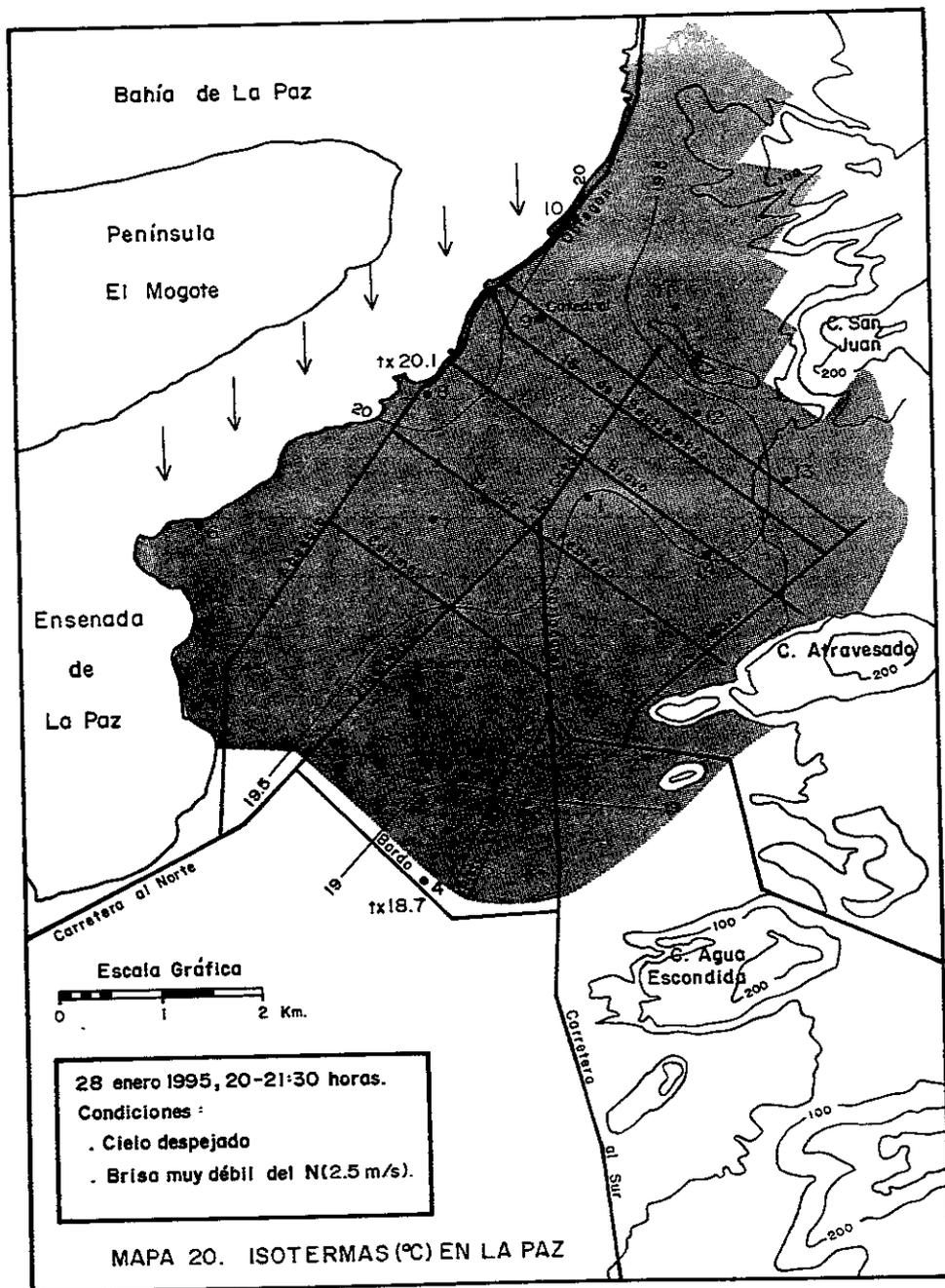


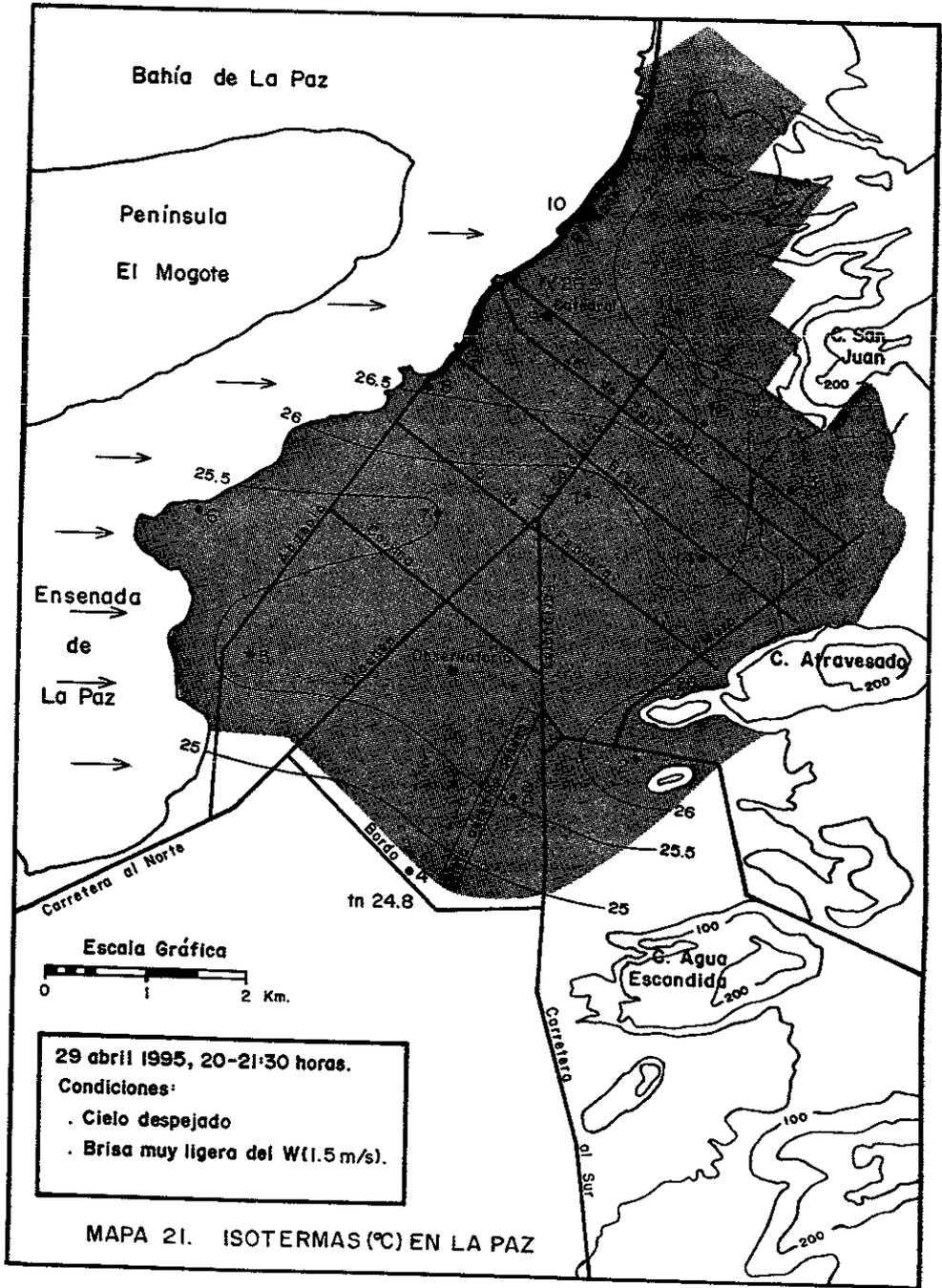


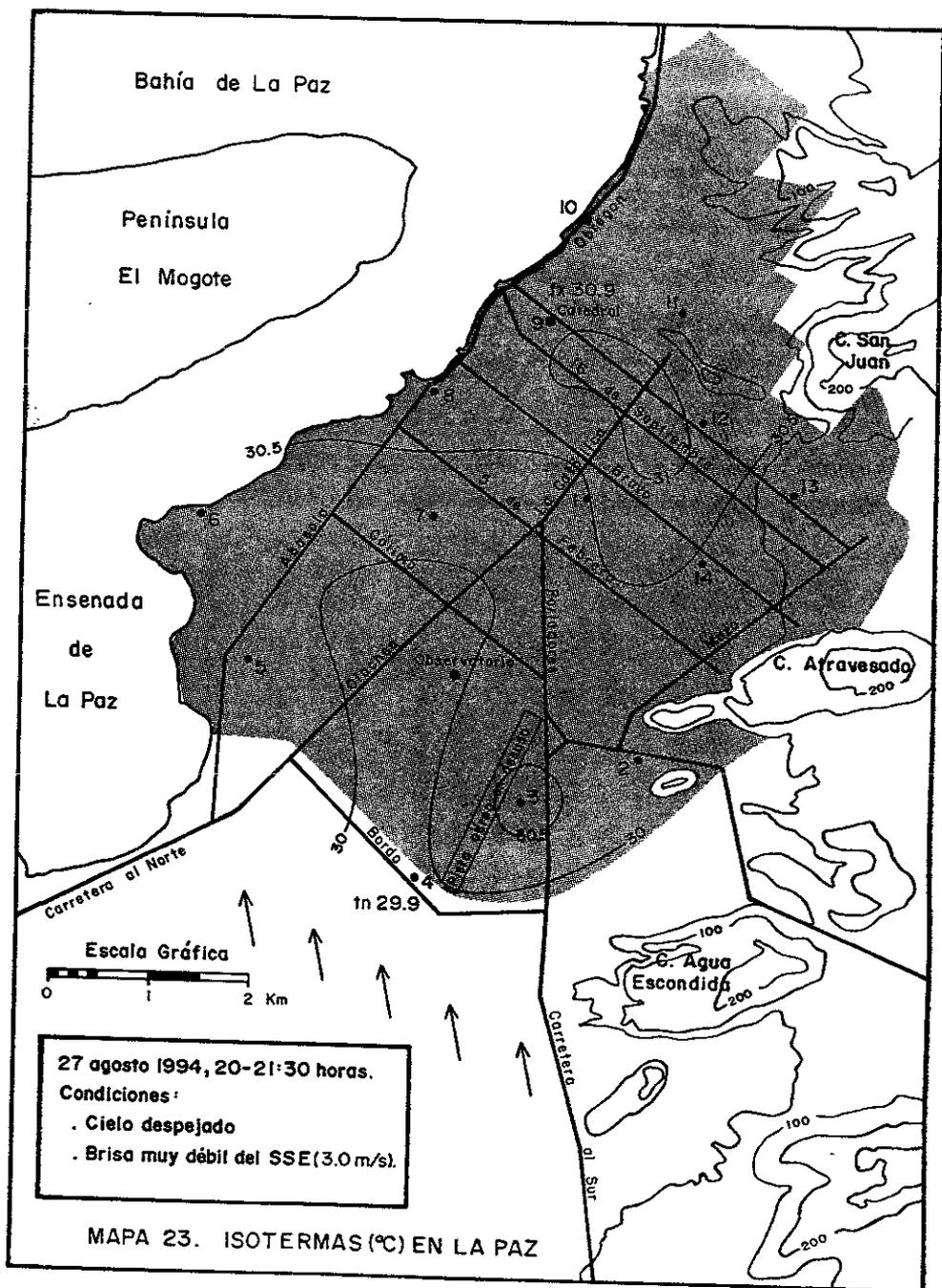


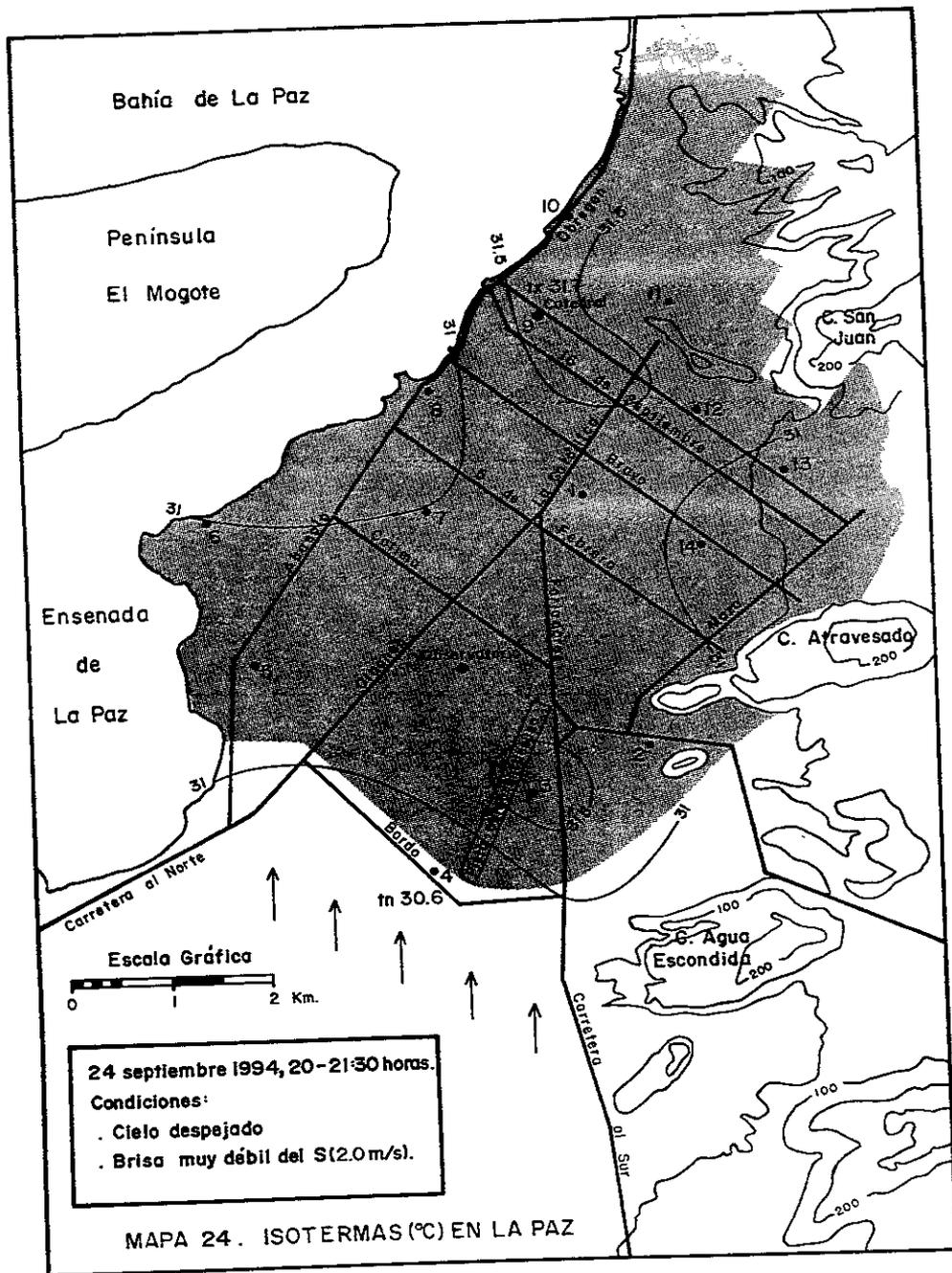


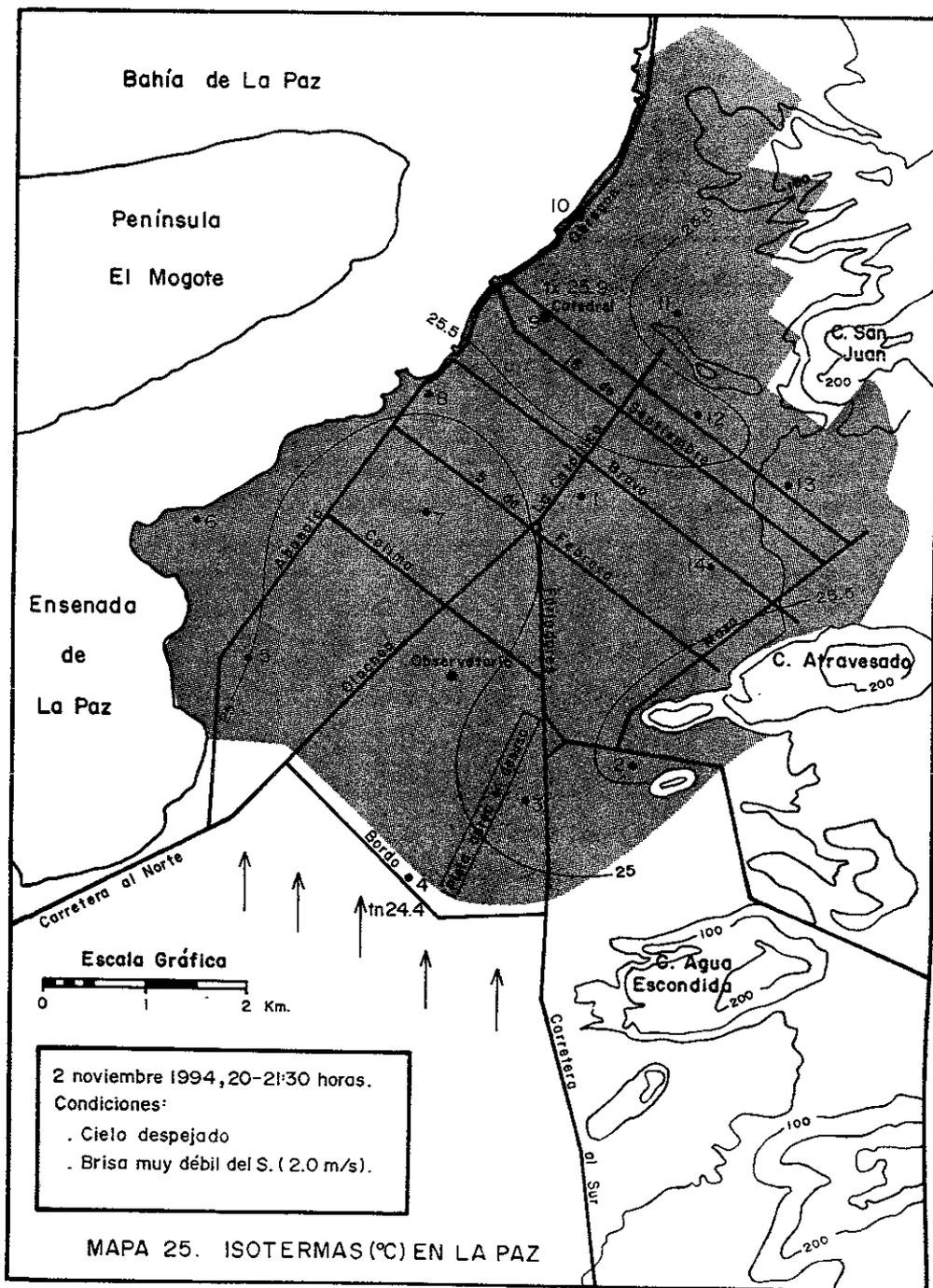












Al amanecer (6 a 7 horas), se encontraron en La Paz unas bolsas de calor más bien en forma de lengüetas que de islas, que partiendo desde el malecón se extienden calles más arriba (Mapas 8 a 13). Por lo general, la lengüeta de mayor temperatura es la que pasa por el centro de la ciudad y la Catedral, dónde además de ser una zona comercial es habitacional con alta densidad de población (Dirección de Planificación y Urbanismo, 1995). Se detectaron, también, otras islas de calor de menor tamaño en el FOVISSSTE y la salida a Los Planes; la primera de éstas, es una zona con casas y edificios de interés social que presenta alta densidad de población; y la segunda, se encuentra entre los cerros Atravesado y Piojillo, mismos que impiden que el viento refresque el área.

La intensidad de estas islas o lengüetas de calor fue en promedio de 2.2° C, pero según las condiciones meteorológicas dicha intensidad varió de un recorrido a otro. La diferencia más alta encontrada fue de 3.0° C entre la Catedral, con 19.2° C (tx)⁹, y el Conchalito, con 16.2° C (tn). Esto ocurrió en el mes de abril bajo condiciones de cielo despejado, aire en calma y bruma. Esta situación concuerda con lo que menciona Jáuregui (1971), de que las diferencias térmicas más acentuadas se presentan en los meses secos y bajo las condiciones antes mencionadas, pues es cuando la pérdida de calor por radiación nocturna es más marcada en el campo que en la ciudad, donde las impurezas del aire absorben y reirradian el calor que desprenden las superficies urbanas. Por otro lado, la diferencia mínima encontrada en La Paz fue de 1.4° C en noviembre, con un cielo nublado y brisa muy ligera, situación que coincide también con lo que señala Landsberg (1981), que bajo esas circunstancias las diferencias entre el campo y la ciudad tienden a desaparecer.

En el Mapa 8 se puede apreciar que, en la madrugada del 28 de enero, bajo condiciones de cielo despejado, brisa muy débil del norte y bruma, todo lo largo de la zona costera de La Paz presentó una mayor temperatura que el resto de la ciudad. Esto podría deberse a la influencia marítima, pues la diferencia en la capacidad calorífica que hay entre el mar y la tierra originan que, durante la noche y el invierno, el agua del mar no pierda tan rápidamente su calor por lo que modera la temperatura de las zonas adyacentes, aún cuando la brisa en este caso sopló del mar.

Hacia las 14 horas tiempo local se encontró, como se mencionó anteriormente, que los márgenes de la ciudad son más cálidos que el centro de la misma, principalmente la planicie sur de La Paz a todo lo largo del bordo (Mapas 14 a 19). La influencia moderadora del mar, al parecer, también se deja sentir en la zona costera, ya que en verano y durante el día no permite que la temperatura de la costa suba tanto como en los otros límites de la ciudad, a excepción del mes de enero, donde la costa presenta mayor temperatura que el bordo y los otros márgenes urbanos. Por otro lado, la brisa que sopla del mar, y que regularmente lo hace a mediodía con una componente del norte, tiende a refrescar también la franja costera de La Paz.

Las diferencias térmicas entre el campo y la ciudad fueron en promedio de 3.4° C, pero también variaron de un recorrido a otro. La diferencia máxima encontrada fue de 5.9° C en julio (Mapa 16), cuando en el Bordo se registró una temperatura de 39.1° C (tx) y en el extremo norte del malecón la temperatura fue de 33.4° C (tn), bajo condiciones de una brisa marina débil. Y la diferencia mínima que se encontró en los recorridos realizados fue de

⁹ Tx es la abreviación de temperatura máxima y tn de la temperatura mínima, mismas que aparecen en los mapas.

23°C en enero (Mapa 14), con una brisa débil del norte que redujo las diferencias de temperatura en la ciudad.

Después de la puesta del Sol, hacia las 20 horas, en la ciudad de La Paz se empiezan a formar nuevamente las islas o lengüetas de calor que se extienden desde el malecón hasta cuadras más arriba (Mapas 20 a 25). La bolsa de calor más intensa es la que se localiza en el Centro de la ciudad. La temperatura disminuye paulatinamente hacia el sur de esta zona, hasta encontrar las temperaturas más bajas en el Bordo. El viento ejerce cierta influencia en este fenómeno, pues desde la tarde y toda la noche sopla, por lo general, la brisa de tierra con una componente del sur, misma que refresca considerablemente estos límites de la ciudad. Además, en los Mapas 21, 23 y 24 se puede apreciar que algunas veces se forman otras islas de calor como la del FOVISSSTE y la salida a Los Planes.

La intensidad media de estas islas de calor, en los recorridos que se hicieron durante la noche, fue de 1.7° C. La diferencia máxima fue de 3° C en julio, misma que se presentó entre el Bordo, con 28.8° C (tn), y la Catedral, con 31.8° C (tx). Esto ocurrió bajo la influencia de una brisa del sur (terral) que ayudó a refrescar el límite meridional de la ciudad. La diferencia mínima fue de 1.0° C en agosto, ésta ocurrió también entre esos dos lugares pero con un terral más ligero.

Cabe mencionar que, aún cuando a las lecturas de temperatura se les hizo una corrección por el tiempo que tomó hacer los recorridos en automóvil, estos datos pueden haber sido afectados por otros factores, como podría ser el microclima que se desarrolla por debajo de los árboles (sitio en donde se tomó la temperatura). Razón por la cual los resultados aquí expuestos representan las condiciones térmicas de la ciudad de La Paz durante ciertos días. Además, para poder determinar el comportamiento y las causas de las islas de calor en la ciudad, se considera imprescindible continuar realizando este tipo de recorridos y de estudios.

3.2.3.2 Tendencia de la temperatura en la ciudad de La Paz.

Una evidencia clara del efecto de la isla de calor es el hecho de que las temperaturas locales de un área aumentan a medida que crece la ciudad, y entre más rápido sea ese crecimiento mayor será la tasa de calentamiento.

Temperatura media y tendencia anual.

El Observatorio de La Paz ha sido cambiado de ubicación durante varias veces. De 1921 a 1950 se encontraba en el centro de la ciudad, cerca de la Catedral (Mapa 5); en 1951 fue cambiado a la esquina norte de la pista de aterrizaje en las afueras de la ciudad; en 1972, se volvió a cambiar, en esta ocasión al aeropuerto viejo; y en 1989 las instalaciones se cambiaron por última vez, al lugar que ocupa actualmente.

Aún cuando se tiene información meteorológica desde el año de 1921 a la fecha, se considero conveniente, por varias razones, realizar la tendencia de la temperatura a partir de 1951. Por un lado, los cambios de ubicación del Observatorio de 1921 a la fecha ocasionan que la tendencia de la temperatura media anual durante ese periodo sea muy heterogénea. Y por el otro lado, porque es a partir de la década de 1950 en que comienza a haber un crecimiento significativo de la población y de la ciudad misma.

En la Gráfica 30, se puede observar que la tendencia de la temperatura media anual en La Paz ha ido en aumento desde 1951 hasta la fecha. El incremento registrado en 47 años de observación es de 1.58° C, lo que significó un aumento de 0.034° C por año.

En las Gráficas 31 y 32 se aprecia, también, que el aumento en las series de temperatura media anual en La Paz, no es parejo a lo largo del año, ya que la tendencia en verano es de 0.03° C y en invierno de 0.01° C anual (Tabla 7). Los valores en invierno son menores que en verano, según Landsberg (1981) esto coincide con el punto de vista de que la principal causa de la isla de calor es el cambio en el balance de radiación y no la emisión de calor antropogénico.

Tabla 7. Tendencias de la temperatura en La Paz, B.C.S.

Años	Período en años	Temperatura anual	Temperatura de verano	Temperatura de invierno	Temperatura máxima	Temperatura mínima
1951-1997	47	+ 0.034	+ 0.03	+ 0.01	+ 0.056	+ 0.015

Temperatura máxima promedio y tendencia anual.

En la Gráfica 33 se aprecia que la tendencia de la temperatura máxima promedio anual de La Paz, también, ha registrado un aumento desde 1951 hasta 1997. Este incremento ha sido mayor que el de la temperatura media anual, ya que durante esos 47 años ha sido de 2.66° C, es decir, 0.056° C por año.

Temperatura mínima promedio y tendencia anual.

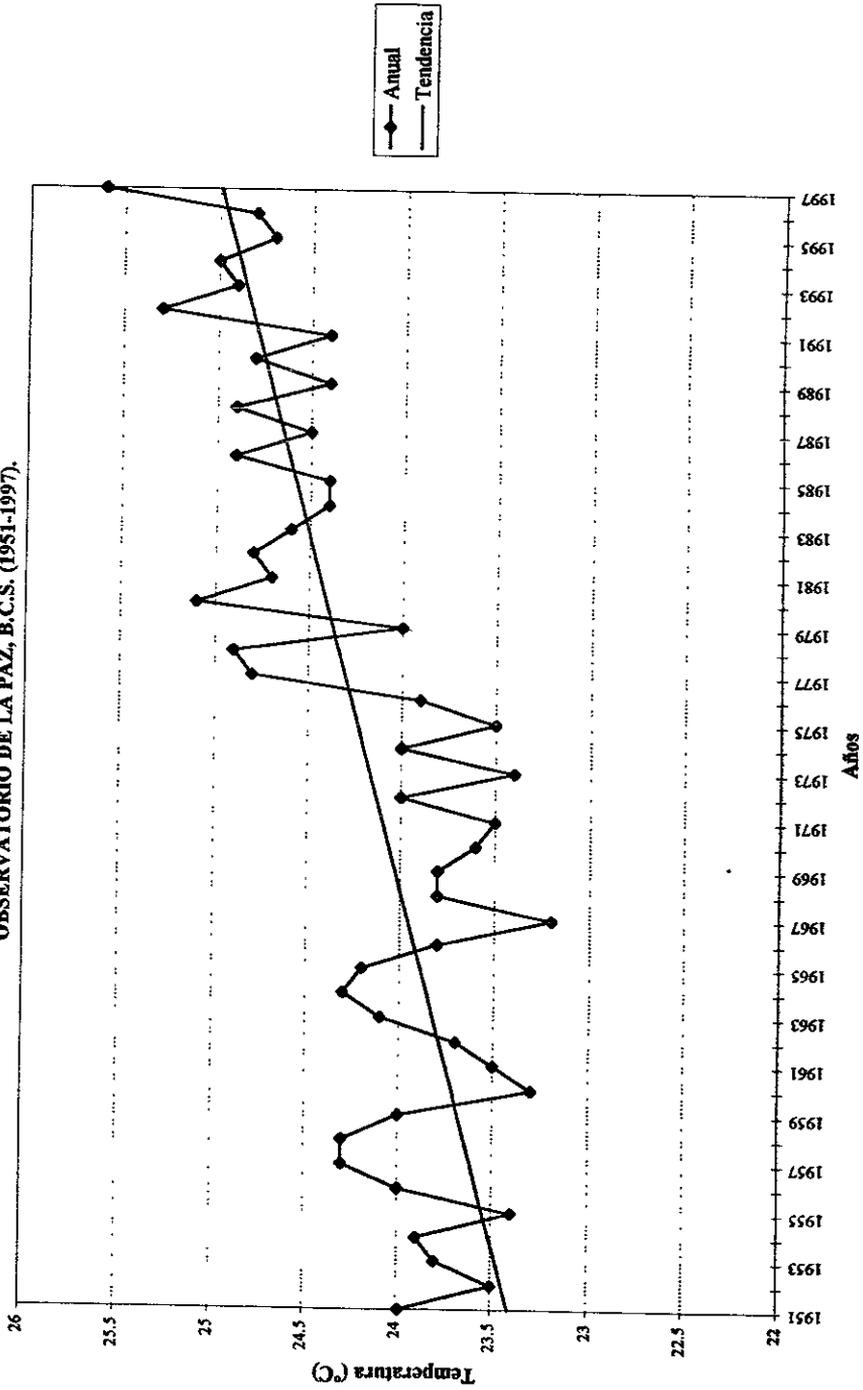
En la Gráfica 34 se puede ver que la tendencia de la temperatura mínima promedio anual en La Paz durante el período de 1951 a 1997 ha aumentado en 0.7° C, o sea, 0.015° C por año (Tabla 7).

Tomando como base el crecimiento de las ciudades y en comparación con los aumentos reportados por Landsberg (1981) en otras ciudades del mundo (Tokio, París) y Jáuregui (1991), para algunas ciudades del centro de México (Guadalajara, Puebla, Morelia, Xalapa), el incremento desde 1951 hasta la fecha en la temperatura media anual, la de verano y la temperatura máxima promedio en La Paz, ha sido el de una ciudad de rápido crecimiento.

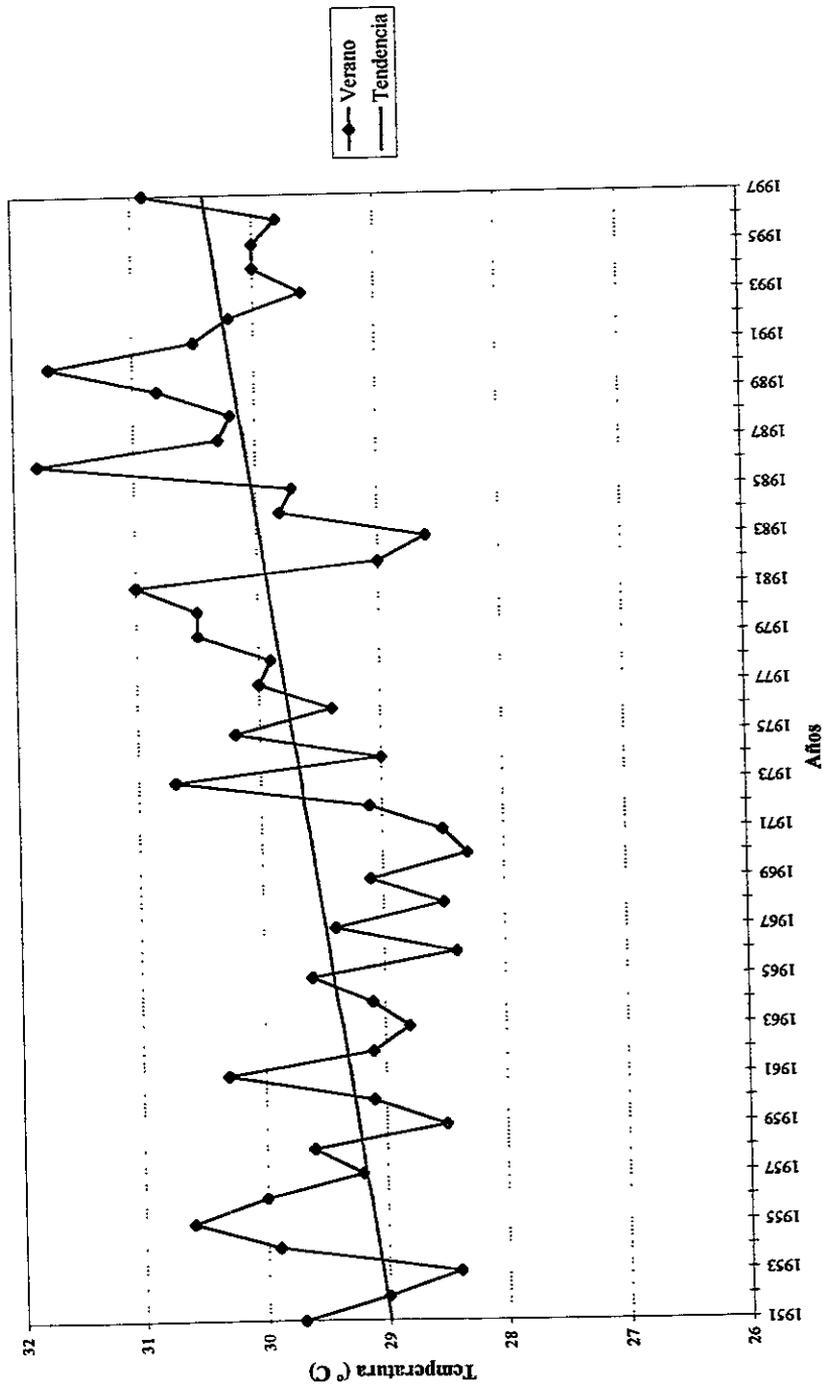
Los factores que han influido en ese rápido aumento de temperatura, desde la década de 1970, son los siguientes: por una parte, la ciudad de La Paz se ha extendido mucho en relativamente pocos años (Mapa 5), de hecho desde 1970 su área ha aumentado en más del doble; por otra parte, el número de habitantes en la ciudad también ha crecido considerablemente, se ha triplicado desde entonces (Gráfica 29); el número de viviendas se ha casi quintuplicado (Tabla 5); y el número de vehículos que circulan en la ciudad se ha triplicado desde 1978 (Tabla 6).

Asimismo, cabe señalar que aunque en La Paz existe cierta dispersión de la población causada por la presencia de un gran número de lotes baldíos (Tabla 4), en los últimos años

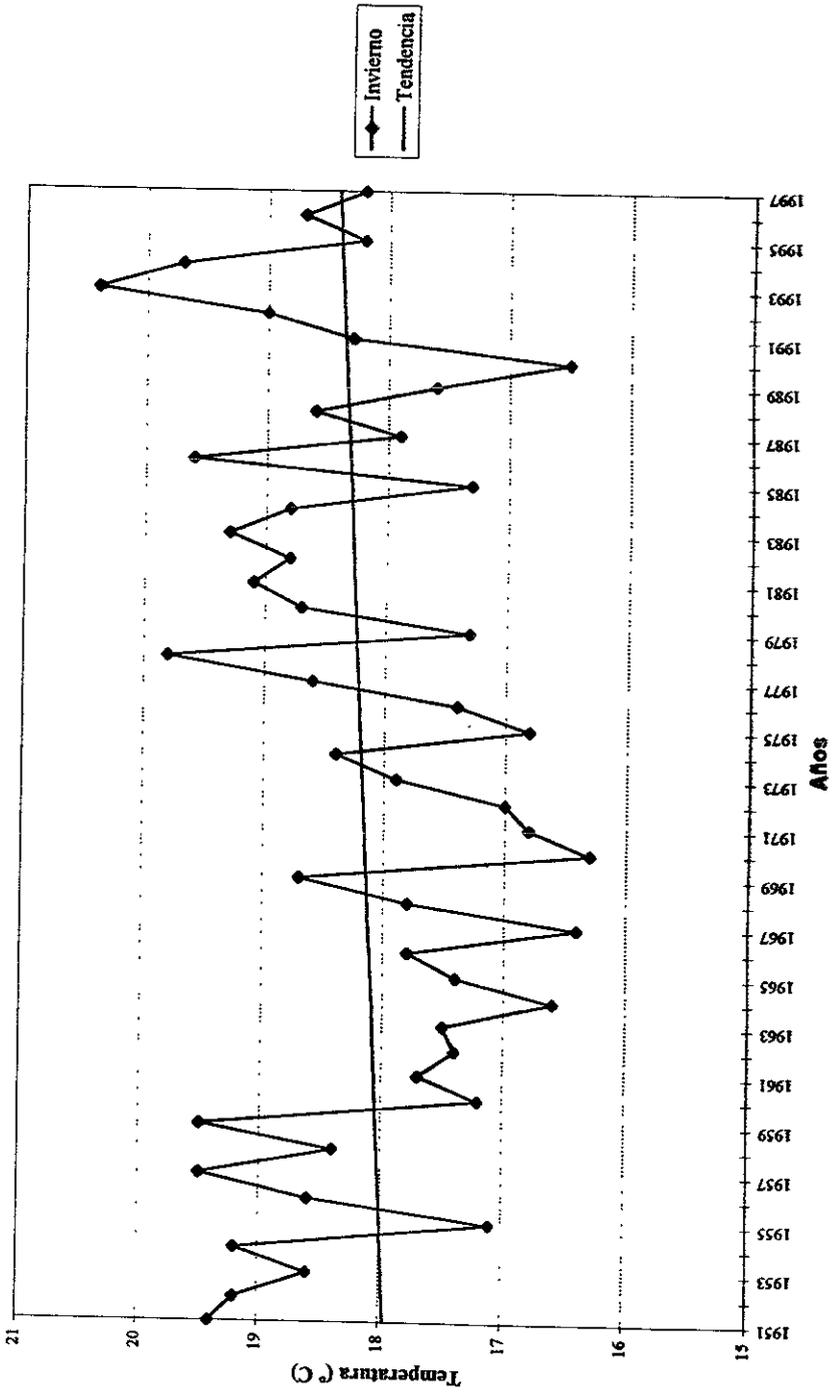
GRAFICA 30.
TEMPERATURA MEDIA Y TENDENCIA ANUAL,
OBSERVATORIO DE LA PAZ, B.C.S. (1951-1997).



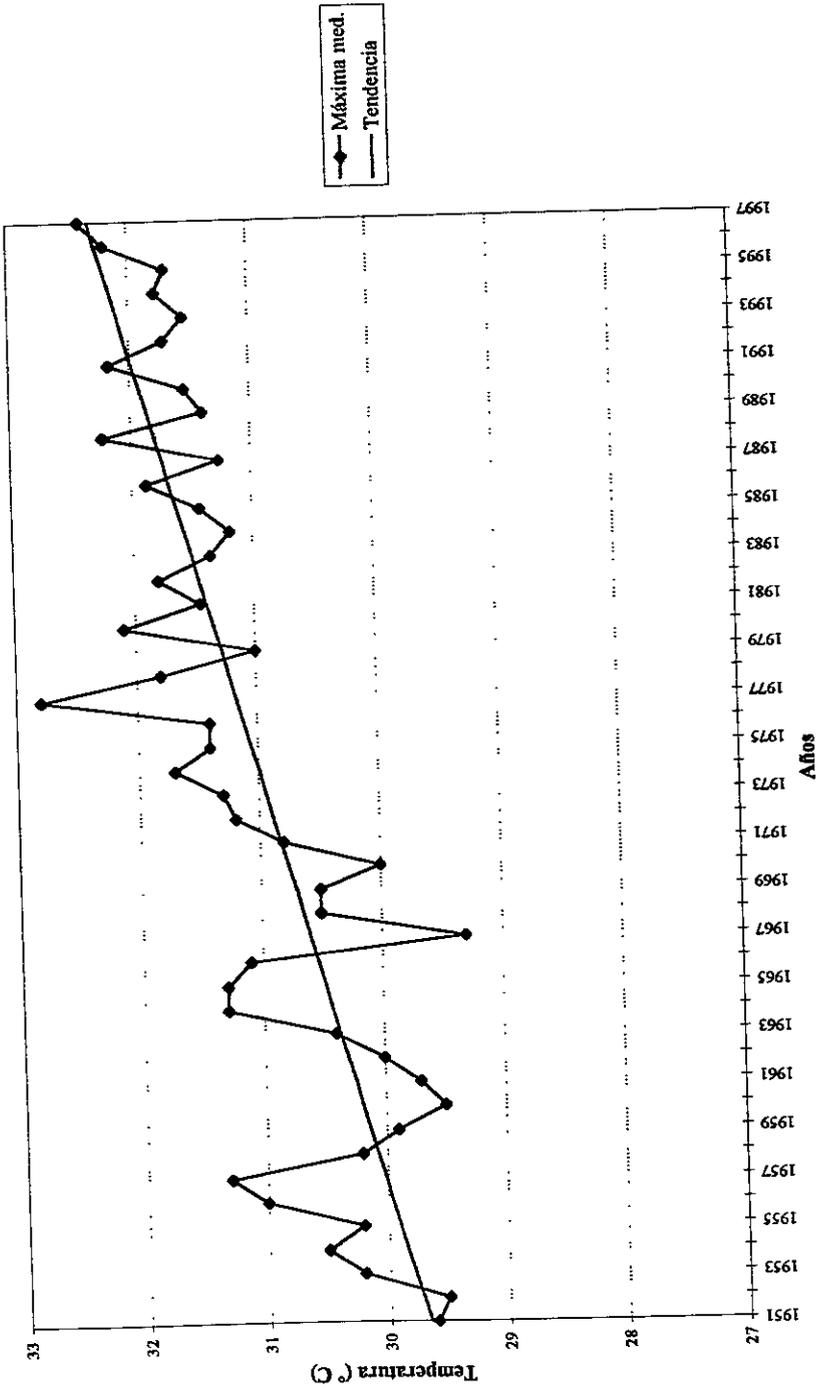
GRAFICA 31.
 TEMPERATURA MEDIA DE VERANO Y TENDENCIA ANUAL,
 OBSERVATORIO DE LA PAZ, B.C.S. (1951-1997).



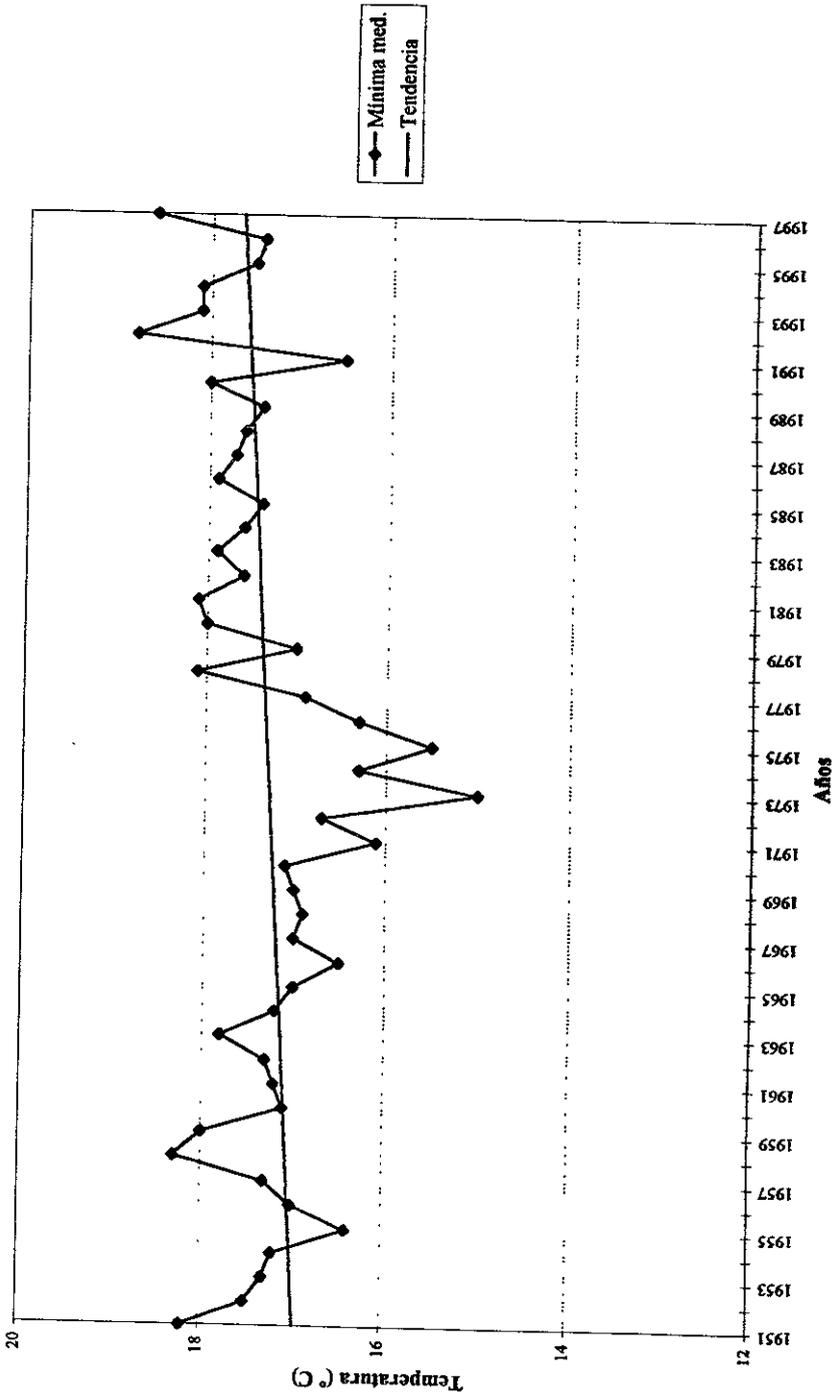
GRAFICA 32.
TEMPERATURA MEDIA DE INVIERNO Y TENDENCIA ANUAL.
OBSERVATORIO DE LA PAZ, B.C.S. (1951-1997).



GRAFICA 33.
 TEMPERATURA MAXIMA PROMEDIO Y TENDENCIA ANUAL.
 OBSERVATORIO DE LA PAZ, B.C.S. (1951-1997).



GRAFICA 34.
 TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO Y TENDENCIA ANUAL.
 OBSERVATORIO DE LA PAZ, B.C.S. (1951-1997).



han construido varios conjuntos habitacionales de cierta densidad que favorecen, como ya se pudo observar en los recorridos por la ciudad, la formación de islas de calor.

3.2.3.3 Comparación de las temperaturas de la ciudad de La Paz con algunas estaciones rurales.

En el presente estudio, también se llevó a cabo una comparación entre las temperaturas del Observatorio Meteorológico de la ciudad de La Paz y las temperaturas de las siguientes estaciones climatológicas ubicadas en la zona rural (Mapa 7): San Pedro (190 m.s.n.m.), localizada a 25 kilómetros al sur de La Paz; El Cajoncito (180 m.s.n.m.), a 15 km al noreste; La Paz (16 m.s.n.m.), una estación que estaba en las afueras al sur de la ciudad, pero que a medida que ha progresado la urbanización, se ha ido incorporando gradualmente a ella y a la isla de calor; y Bonfil (78 m.s.n.m.) a 27 km al oeste.

En la Gráfica 35, se observa que la tendencia de la temperatura anual de la Estación Climatológica de La Paz ha ido en aumento desde 1974 a la fecha, pero sobre todo se aprecia un incremento acusado desde el año de 1991, más o menos cuando comenzaron a establecerse algunas colonias a su alrededor. La Gráfica 36 reafirma lo anterior, pues se ve que en los últimos años la diferencia de temperatura entre el Observatorio y la Estación de la ciudad de La Paz ha disminuido considerablemente, ya que esta última se ha integrado a la isla de calor.

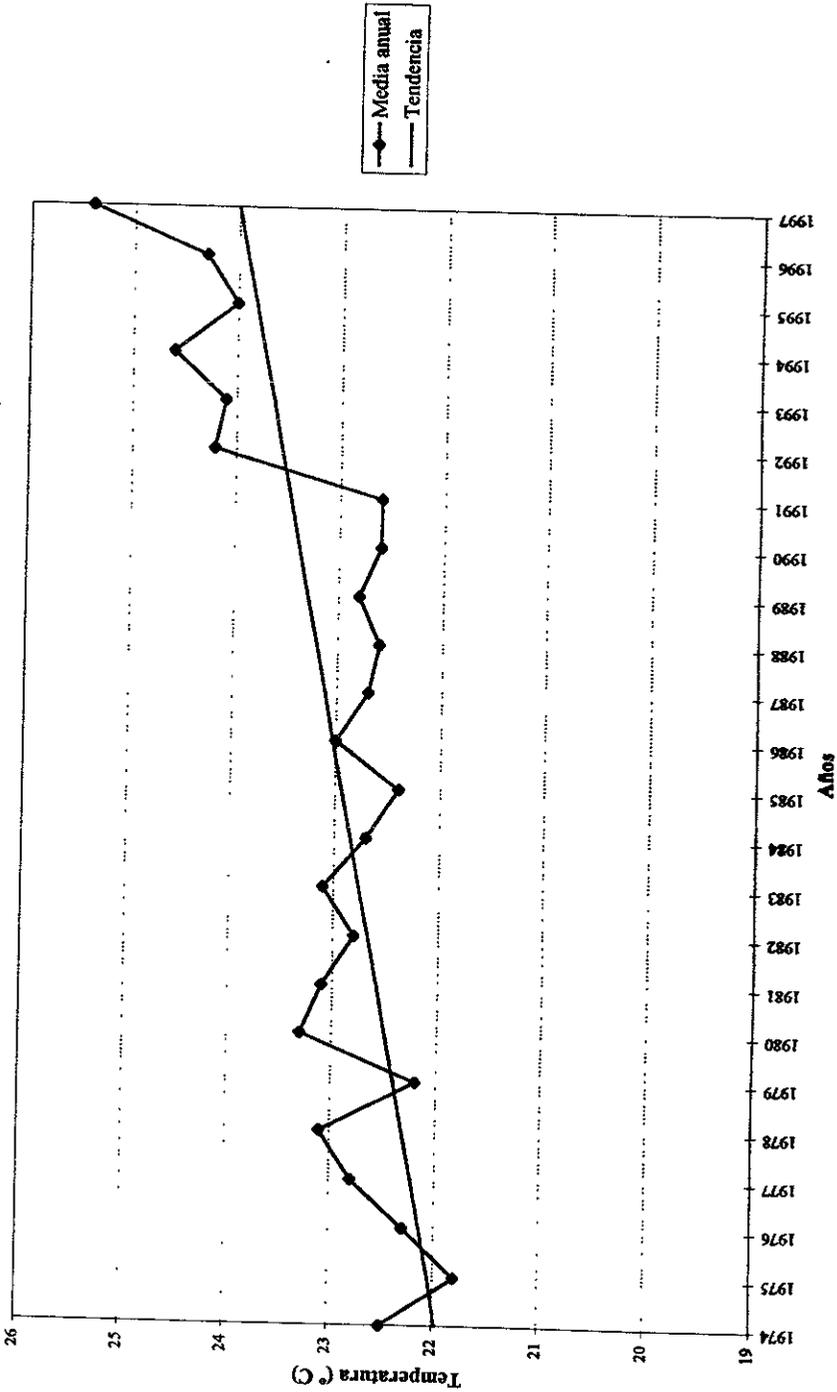
La temperatura media anual de la estación de San Pedro se puede considerar, desde 1952 a la fecha como estable (Gráfica 37). Comparando la temperatura media anual de La Paz con la de San Pedro (Gráfica 38) se observa que hay una diferencia positiva (Tabla 8), lo que indica que el crecimiento de la ciudad de La Paz ha incrementado su temperatura media anual.

En las comparaciones con las estaciones de El Cajoncito y Bonfil no existe una evidencia muy clara al respecto. Por un lado, la tendencia anual de la temperatura de El Cajoncito muestra un ligero descenso (Gráfica 39), por lo que la diferencia entre la temperatura del Observatorio y esta estación muestra un aumento (Gráfica 40 y Tabla 8). Por el otro lado, la tendencia anual de la temperatura de Bonfil va en aumento (Gráfica 41), por lo que la diferencia de temperatura entre el Observatorio y Bonfil presenta un descenso (Gráfica 42 y Tabla 8).

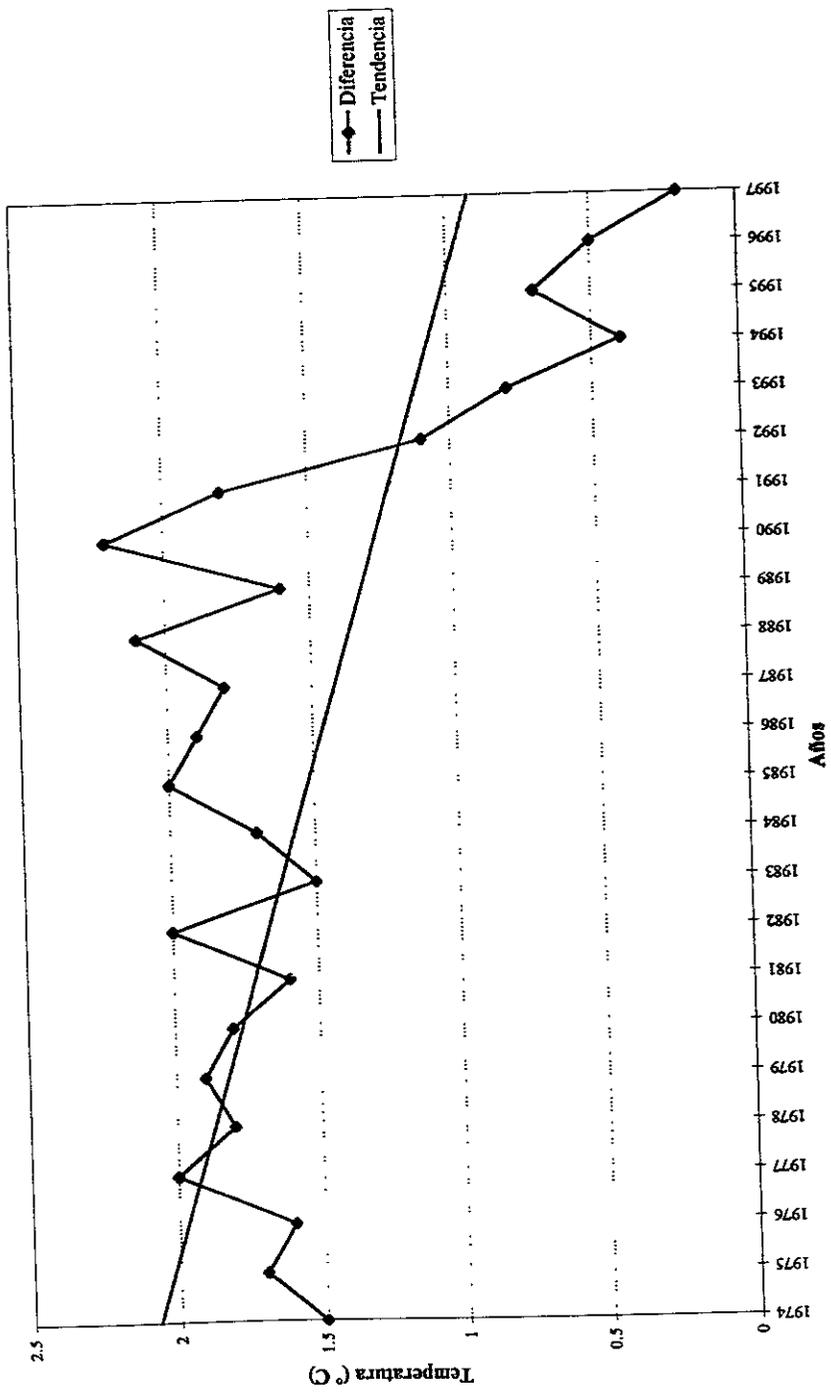
Tabla 8. Tendencias de las diferencias de temperatura entre el Observatorio de La Paz y las estaciones climatológicas.		
Estación	Número de años	Diferencia de temperatura (por año)
Observatorio-El Cajoncito	33	+0.05
Observatorio-San Pedro	46	+0.03
Observatorio-Bonfil	20	-0.02
Observatorio-Estación La Paz	24	-0.05

La urbanización reduce la oscilación diaria de la temperatura, de ahí que la temperatura mínima que se registra en las zonas urbanas es generalmente mayor a la de las rurales. Se llevó a cabo una comparación de la temperatura mínima mensual, entre la ciudad

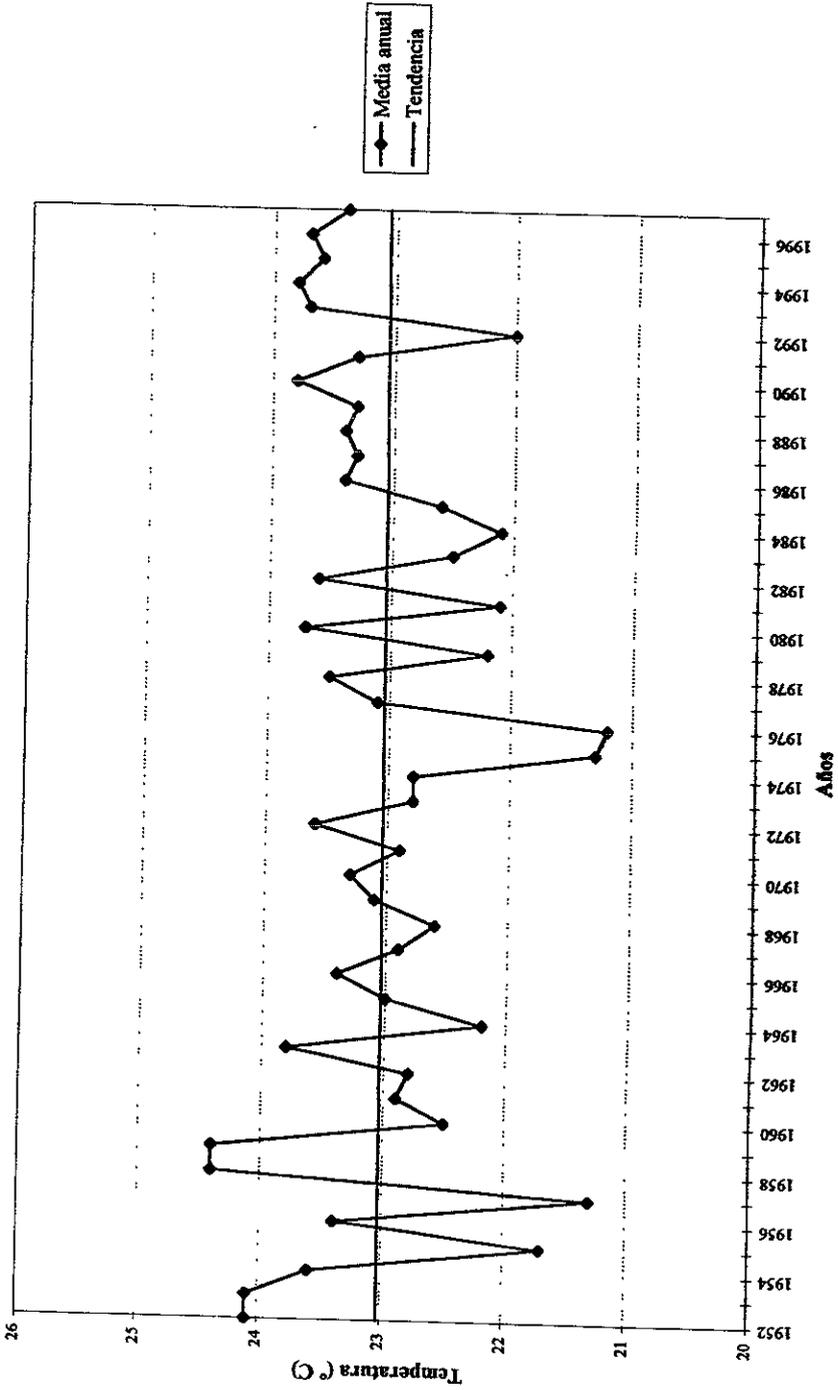
GRAFICA 35.
 TEMPERATURA MEDIA Y TENDENCIA ANUAL,
 ESTACION CLIMATOLOGICA DE LA PAZ, B.C.S. (1974-1997).



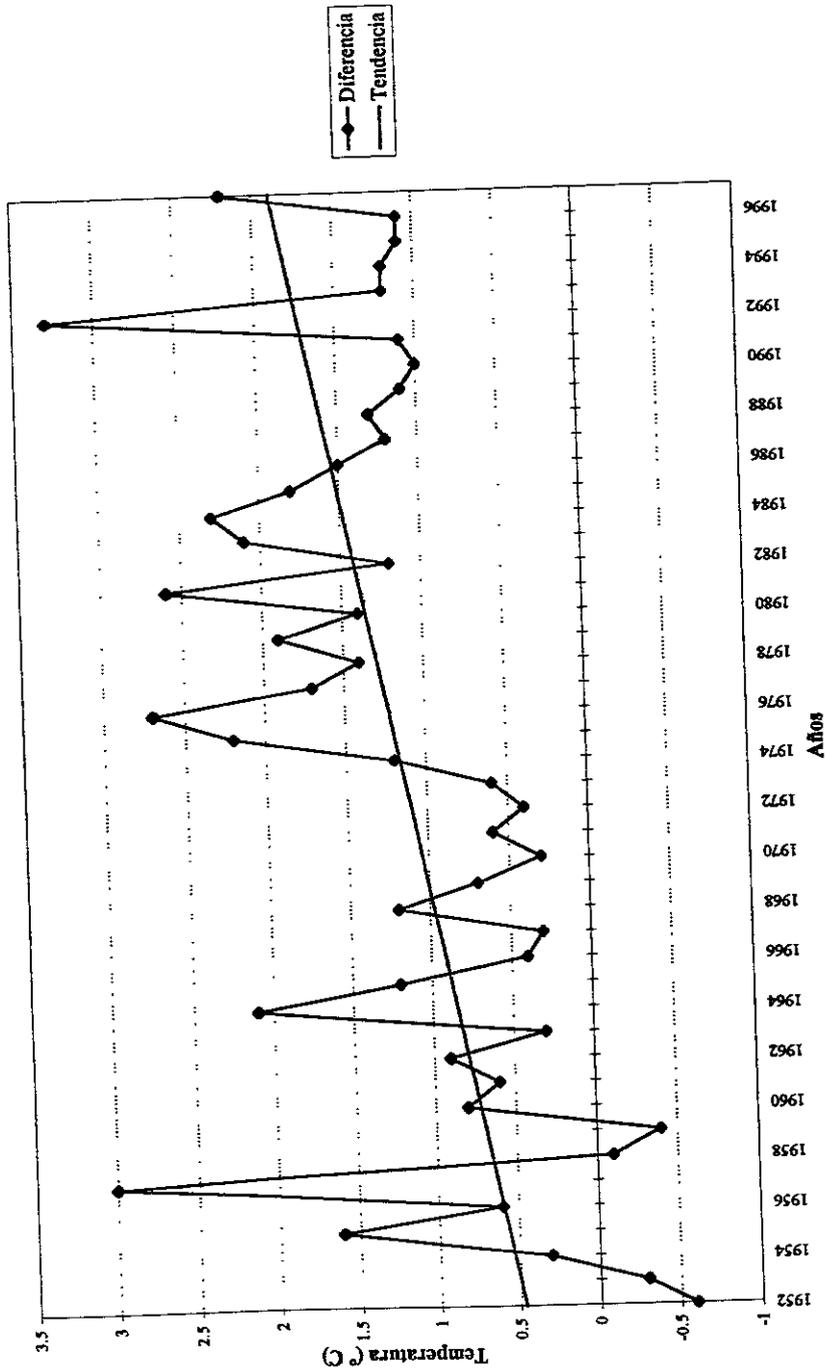
GRAFICA 36.
 DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE EL
 OBSERVATORIO Y LA ESTACION DE LA PAZ (1974-1997).



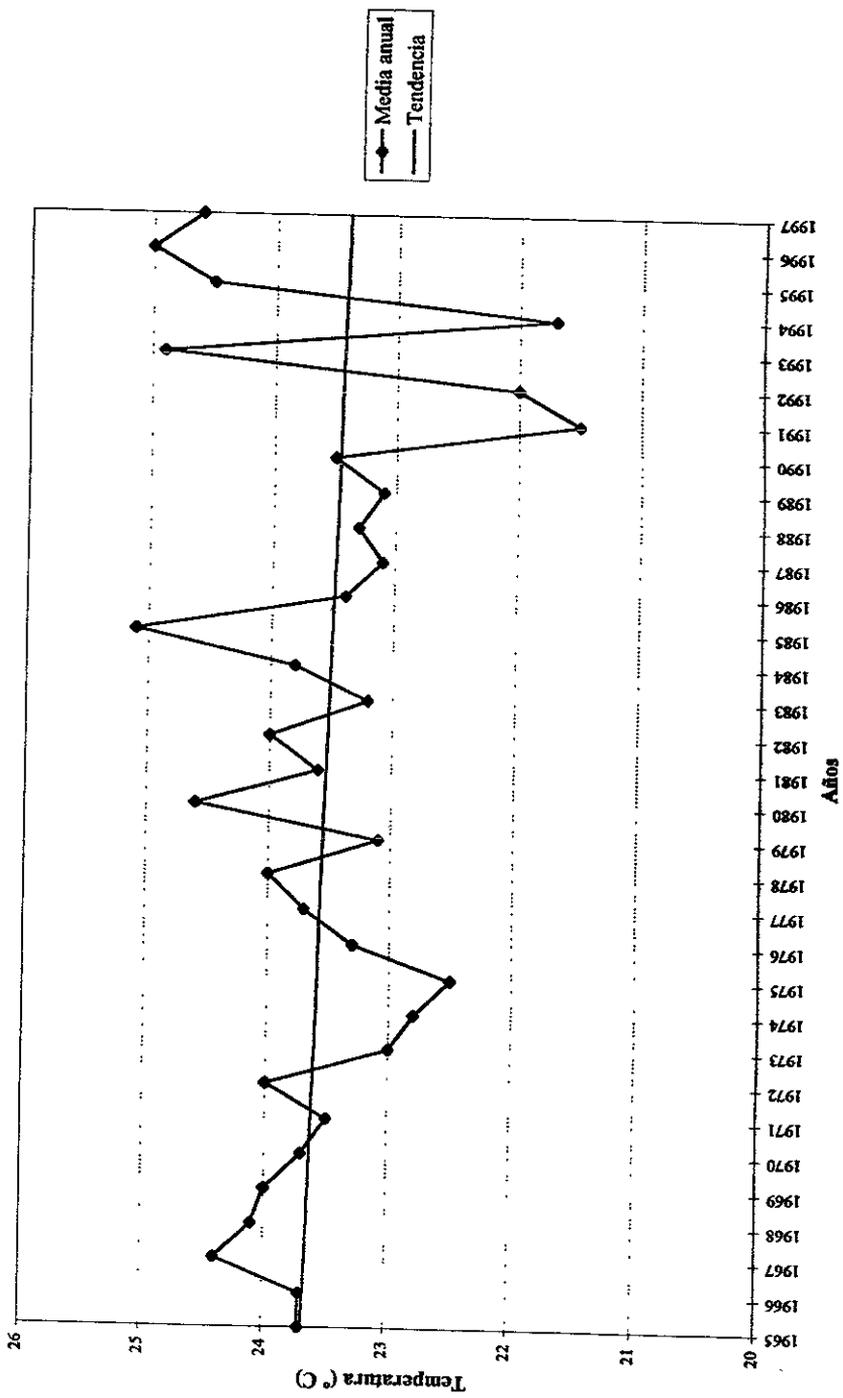
GRAFICA 37.
 TEMPERATURA MEDIA Y TENDENCIA ANUAL.
 SAN PEDRO, B.C.S. (1952-1997).



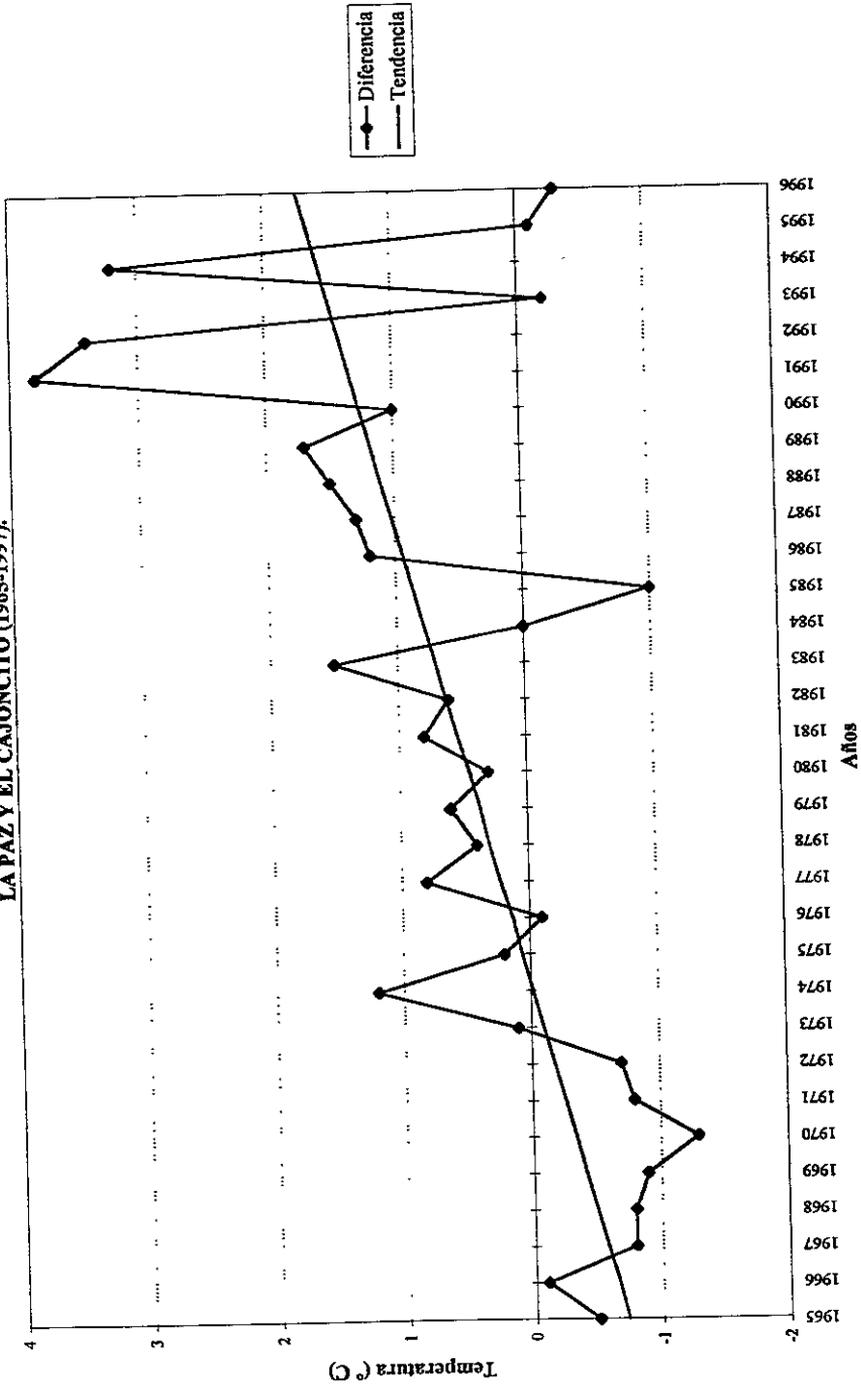
GRAFICA 38.
 DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE LA PAZ Y
 SAN PEDRO Y TENDENCIA ANUAL. (1940-1997).



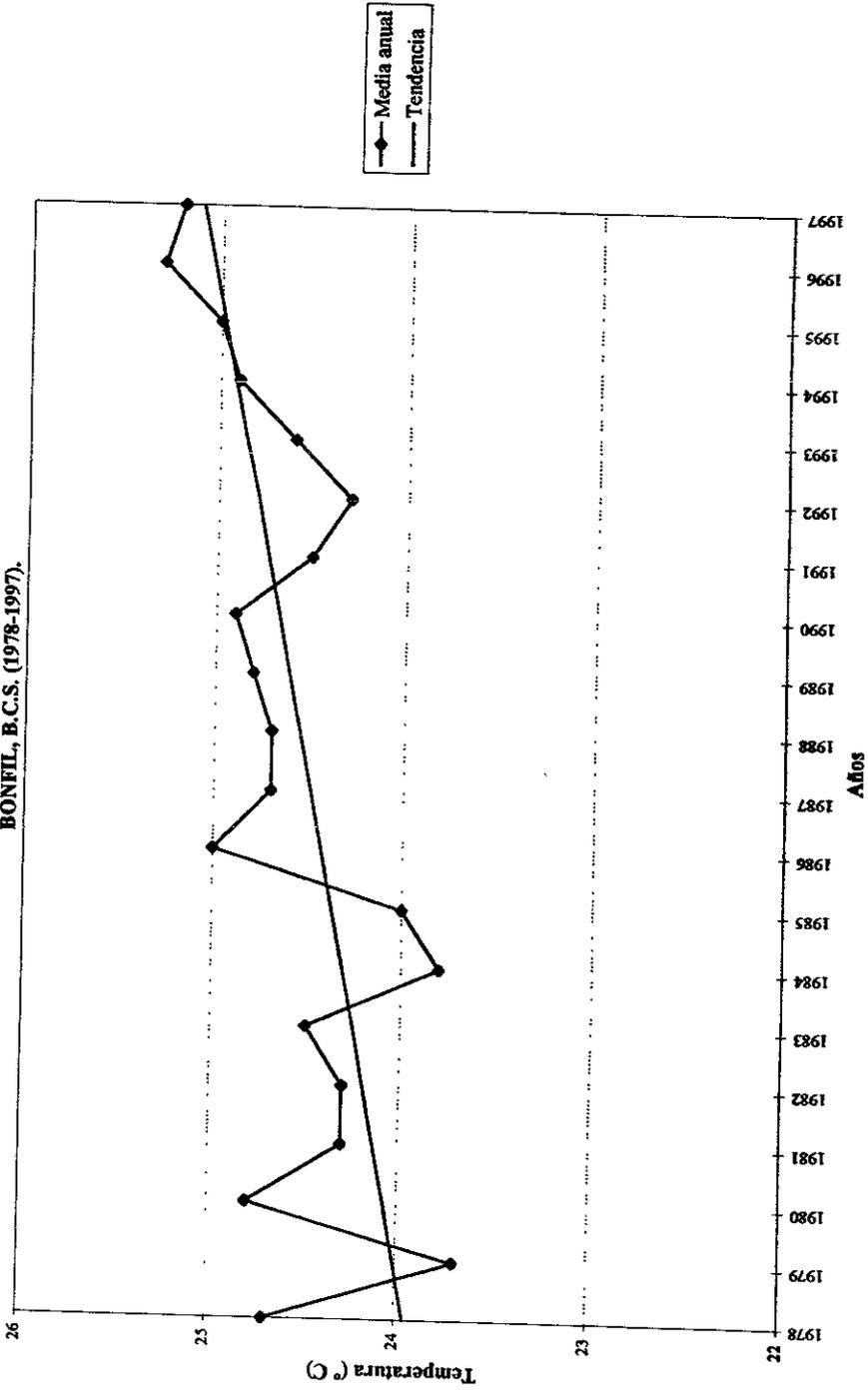
GRAFICA 39.
 TEMPERATURA MEDIA Y TENDENCIA ANUAL.
 EL CAJONCITO, B.C.S. (1965-1997).



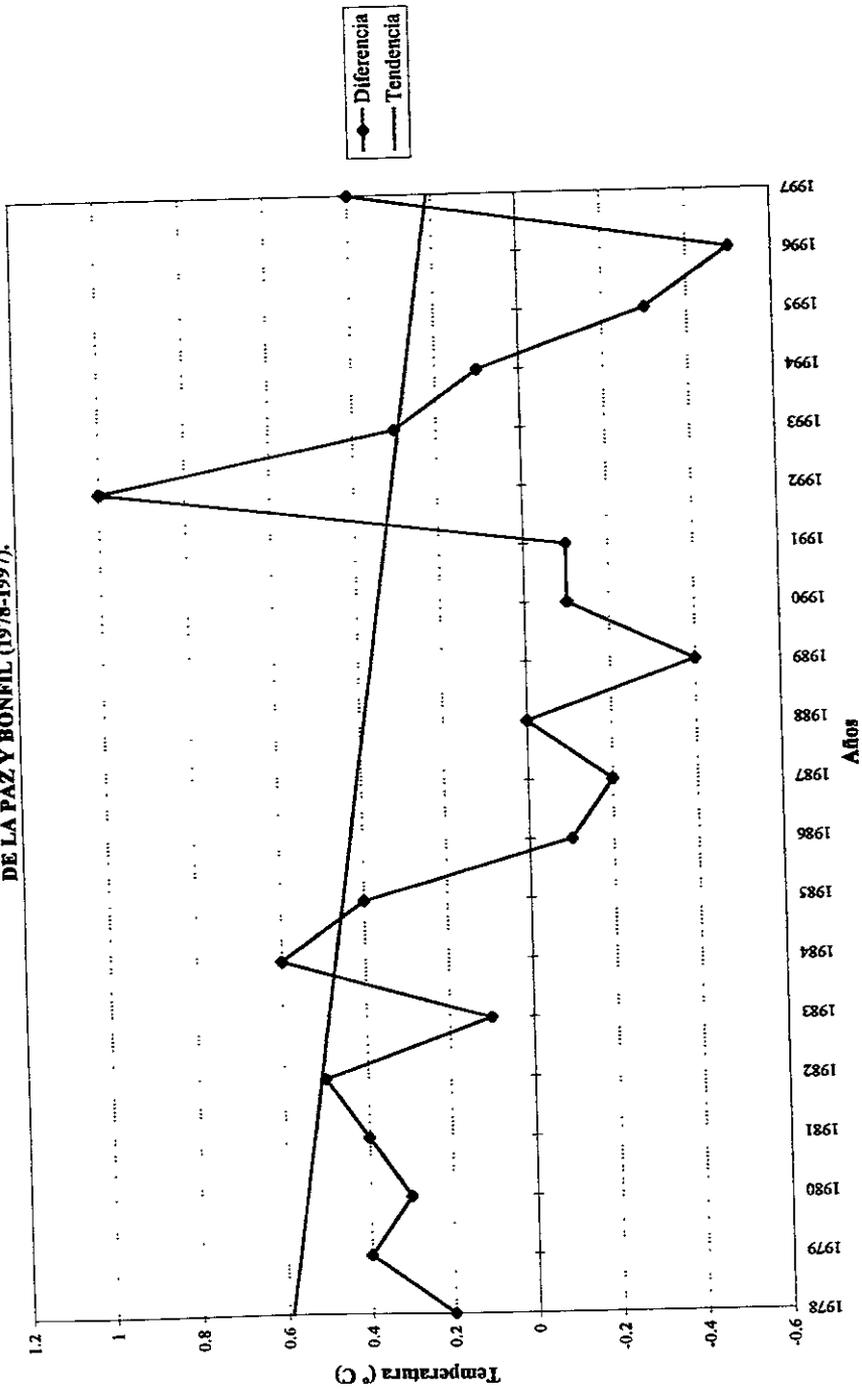
GRAFICA 40.
 DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE
 LA PAZ Y EL CAJONCITO (1965-1997).



GRAFICA 41.
 TEMPERATURA MEDIA Y TENDENCIA ANUAL.
 BONFIL, B.C.S. (1978-1997).



GRAFICA 42.
DIFERENCIA ENTRE LA TEMPERATURA
DE LA PAZ Y BONFIL (1978-1997).



de La Paz y el campo; para ello se escogió la estación climatológica de San Pedro porque su relación con la tendencia de La Paz es más evidente que con las demás estaciones. El resultado obtenido (Gráfica 43) fue que durante todo el año, la diferencia entre ambas estaciones fue positiva, o sea que el campo es más fresco en la madrugada que la ciudad. La diferencia media fue de 2.9° C, pero se observa que ésta no es constante a lo largo del año, pues los meses cálidos la diferencia es mayor que en los frescos.

3.2.4 Humedad y precipitación.

En comparación con el comportamiento de la temperatura y el viento, la humedad es un parámetro más difícil de relacionar con el crecimiento de las ciudades. Sin embargo, las evidencias muestran que la humedad relativa en las zonas urbanas es menor que en las rurales (Landsberg, 1981).

Ese autor menciona que el cambio tan radical en la superficie de las zonas urbanas es uno de los principales factores que modifica el contenido de humedad en el aire. En las ciudades abundan superficies impermeables como los techos de las construcciones y el pavimento de las calles y banquetas, que provocan un rápido escurrimiento de la lluvia. Además, la expansión de la mancha urbana modifica la cubierta vegetal natural, y la vegetación existente es generalmente más reducida lo que provoca un decremento en la evapotranspiración. Sin embargo, en las ciudades tienen lugar muchos procesos de combustión que, además de contaminar el ambiente, emiten vapor de agua.

La formación de nubes en las zonas urbanas se ve influenciada por la convección y la enorme producción de núcleos higroscópicos. El primer efecto es más probable que favorezca la formación de nubes en verano, y el segundo es más apto para producir una condensación temprana en las capas con inversión térmica en el invierno.

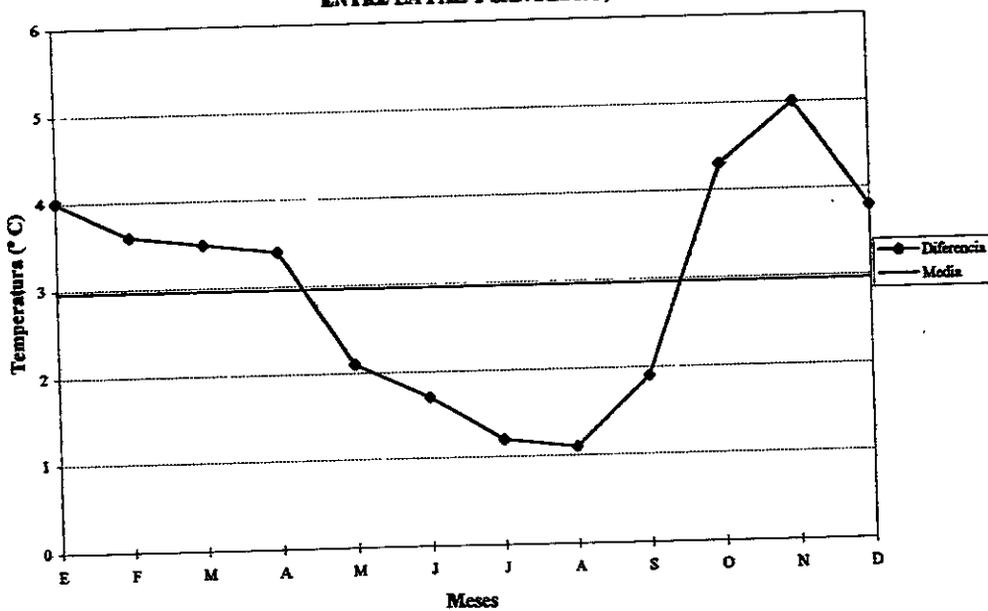
Landsberg (1981), señala que de todos los elementos meteorológicos del medio urbano, la precipitación es la que todavía presenta mayor confrontación. Dentro de los principales problemas para ello se encuentran la topografía, pues la lluvia depende en gran medida de la altitud; y la presencia de cuerpos de agua, que pueden estabilizar las masas de aire en verano y proporcionar humedad en el invierno. Los diferentes estudios dan evidencia de un aumento en la lluvia en las áreas urbanas en relación a las rurales.

Existen varios factores que pueden hacer posible un aumento en la lluvia en las ciudades. Sin embargo, estos se mezclan y sus efectos no han podido todavía ser desenmarañados. Landsberg (1981) menciona que existen tres causas principales que modifican y aumentan la precipitación, la primera y más obvia es la isla de calor, pues genera un movimiento convectivo por encima de las ciudades que, junto con otras condiciones meteorológicas, es esencial en la formación de la precipitación.

La segunda causa que aumenta la lluvia es el efecto de una barrera. La estructura rugosa de la ciudad impide el rápido avance de los sistemas meteorológicos. Si existen procesos para producir lluvia en un lugar, estos sistemas pueden quedarse más tiempo sobre la zona urbana y por lo tanto recibir una mayor cantidad de lluvia que la rural, por donde pasan rápidamente.

El tercer factor que afecta a la lluvia es la contaminación. Las partículas en el aire contribuyen con la formación de nubes y en el cambio del tamaño de las gotas, por lo que pueden promover o inhibir la lluvia.

GRAFICA 43.
DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA MINIMA
ENTRE LA PAZ Y SAN PEDRO, 1995.



Al respecto, Oke (1987) señala que sí las zonas urbanas favorecen la precipitación, ésta es más probable que ocurra en la "pluma" urbana de sotavento de la ciudad más que en el centro de la misma, pues se necesita que las partículas sean elevadas a suficiente altitud para que se alcancen a enfriar y condensar (Figura 14b).

En todos los estudios de precipitación se debe de tener en cuenta la alta variabilidad de la lluvia. Landsberg (1981) considera que el análisis de largas series de tiempo, que es muy útil para determinar la tendencia de la temperatura en las ciudades, no es eficaz en el de la lluvia, pues el paso de un solo sistema como una tormenta tropical puede afectar las estadísticas por mucho tiempo.

Un método de mayor utilidad es la comparación de la lluvia entre una estación urbana y una rural, siempre que la topografía del lugar no sea complicada. Sin embargo, los resultados pueden mostrar ciertas dificultades.

3.2.4.1 Comparación de la lluvia de la ciudad de La Paz con algunas estaciones rurales.

En la Tabla 9, se pueden apreciar las diferencias de la lluvia anual entre la ciudad de La Paz (Observatorio) y las Estaciones Climatológicas cercanas (Mapa 7), y se observa en general que la ciudad recibe menos cantidad de precipitación que las áreas rurales, con excepción de la estación de Bonfil.

Localidad	Número de años	Precipitación (mm)		Diferencia
		Urbana	Rural	
Observatorio-San Pedro	46	166.5	313.5	-147.0
Observatorio- El Cajoncito	33	178.7	209.0	-30.3
Observatorio-Estación La Paz	24	174.7	183.8	-9.1
Observatorio-Bonfil	20	181.0	149.9	31.1

Los máximos de lluvia se presentan de sur a norte, y de este a oeste. Se ha visto que las mayores diferencias de lluvia entre una estación climatológica y otra son en el verano, cuando se presentan las lluvias convectivas que tienen su origen en las surgencias de humedad que vienen del sursureste, por el Golfo de California.

Desde mediodía, las nubes convectivas de verano comienzan a acercarse al sur de La Paz; a esa hora ya se encuentra soplando la brisa de mar y el viento dominante es del noroeste, razón por la cual estas nubes cargadas de agua no cruzan generalmente la ciudad, sino que se alinean peculiarmente alrededor de la costa, tomando la forma de la ensenada y la bahía de La Paz (Figura 15). Por esta razón, cae una mayor cantidad de lluvia en el sur de la ciudad y en las montañas que se ubican al oriente de la misma.

Sin embargo, se considera que los factores topográficos y la presencia de la ensenada y la bahía de La Paz influyen en mayor medida en la distribución de la lluvia en la zona de La Paz, y que resulta muy difícil distinguir, en este caso, el efecto de la ciudad en la precipitación.

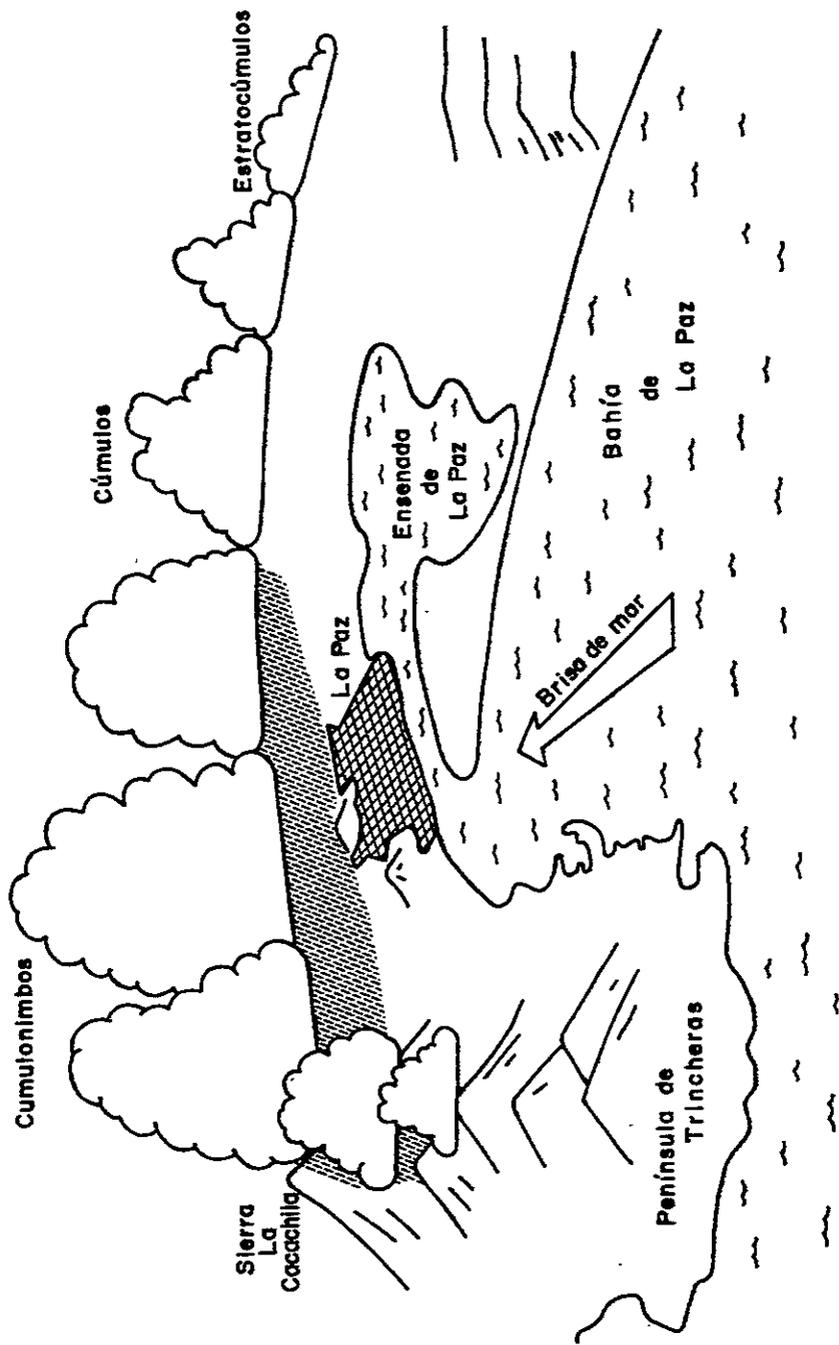


FIGURA 15. INFLUENCIA DEL MAR Y DEL RELIEVE EN LA NUBOSIDAD Y LA PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DE LA PAZ.

4. BIOCLIMATOLOGIA.

4.1 Consideraciones Generales.

4.1.1 Antecedentes.

El ser humano, al igual que las plantas y los animales, se encuentra en un medio que influye directamente en su vida. Uno de los principales componentes de ese entorno lo constituye el clima. La interacción que hay entre el medio climático y los seres vivos es estudiada por la bioclimatología que, en ocasiones, se considera como parte de la biometeorología.

La relación entre el medio ambiente y el ser humano se ha considerado importante desde tiempos remotos. Algunos filósofos griegos estudiaron la relación entre los diferentes grupos humanos y el clima. Hipócrates (~460-377 a.C.), en su obra "Aforismos", hace mención de los efectos del tiempo atmosférico y de las estaciones del año en la salud humana (Landsberg, 1984).

Debido a la influencia de la iglesia católica en el pensamiento europeo de la Edad Media, los estudios que relacionaron el medio físico con el ser humano fueron pocos, ya que se tenía una firme creencia en la Biblia y en la creación divina, de manera que las diferencias entre el clima y los grupos humanos se consideraban como obra de Dios (Oliver, 1981).

Las vastas exploraciones y los grandes descubrimientos que tuvieron lugar desde el Renacimiento originaron la renovación, en el mundo occidental, del interés por el conocimiento científico y se llevaron a cabo, entre otros trabajos, algunas descripciones climáticas del Nuevo Mundo. Hay que destacar el trabajo de von Humboldt, que fue el primero en realizar un transecto barométrico para establecer el perfil de una cordillera (los Andes) y en trazar sus isoterma; relacionó la vegetación con su altura y clima. Como pionero de la biogeografía, von Humboldt aportó una visión más comprensible de la distribución de la vida en la Tierra. Sin embargo, no es hasta el siglo XIX, con las teorías y la obra de Darwin cuando surge una corriente "evolucionista" que permitió, por un lado, establecer esa visión más comprensible de la vida y; por el otro, prescindir de todo principio sobrenatural para explicar, entre otros aspectos, las ideas del cambio a través del tiempo, la interrelación entre todos los seres vivos y su ambiente, así como la selección natural y la adaptación (Stoddart, 1987).

La teoría de la evolución influyó en algunos geógrafos, como en Ratzel que en su primer volumen de "Antropogeografía" postuló el determinismo, en el cual aplicaba las leyes naturales para explicar el desarrollo cultural de los diferentes grupos humanos. Huntington, uno de los seguidores de esa filosofía, relacionó los problemas de la selección natural y la influencia del medio con la población humana a escala mundial (Stoddart, 1987). Dentro de sus principales obras destacan: "Principios de la Civilización", en donde describe el papel del clima como determinante en ciertos aspectos humanos (la religión, las razas, el desarrollo y la caída de las civilizaciones) y "Civilización y Clima" delimita áreas en donde el clima condiciona la salud física y mental (Oliver, 1981).

Sin embargo, Huntington no alcanzó una completa aceptación académica, pues las preguntas que se hacía no podían tener una respuesta significativa en términos geográficos (Stoddart, 1987). De ahí que surja, con Vidal de la Blache, la corriente filosófica del "posibilismo" que contrastaba fuertemente con el determinismo. Esta nueva corriente se

oponía a la idea de que el ambiente físico determinara estrictamente las actividades humanas y consideraba que los seres humanos podían moldear su entorno.

El avance científico y tecnológico que ha habido en este siglo, sobre todo en las últimas cuatro décadas, ha sido tan grande que se le ha llamado, en ocasiones, la "revolución cuantitativa". Este desarrollo también ha sido de gran apoyo en los métodos y en las herramientas de la geografía. Aún cuando existen todavía algunos desacuerdos, se ha roto con el antiguo paradigma del modo de estudio de la geografía que era más bien descriptivo, para pasar a uno nuevo de análisis y cuantificación.

Se han utilizado, conjuntamente, otros métodos que se han aplicado a nuevas áreas de la geografía. Además, se han ampliado los esfuerzos para encontrar aplicaciones prácticas a los estudios geográficos, de manera que estos beneficien a la sociedad.

4.1.2 Campo de estudio.

La biometeorología se divide según el tipo de organismos que estudia: plantas, animales o seres humanos. La atmósfera ejerce cierta tensión en los seres vivos, de ahí a que éstos respondan con estrés. La biometeorología estudia, pues, aquellos aspectos de la atmósfera que provocan tensión en los seres vivos, así como también las manifestaciones de estrés que son una respuesta a la tensión provocada por la atmósfera (Driscoll, 1991).

La bioclimatología humana nos permite establecer las relaciones que hay entre la atmósfera y el ser humano. Según cita Oliver (1981), Tromp (1963) considera que la biometeorología abarca diferentes áreas de investigación: la biometeorología fisiológica, que comprende los efectos directos del tiempo atmosférico y del clima sobre el organismo, es decir, las respuestas fisiológicas a las condiciones tanto aceptables como a las extremas; la biometeorología social, que relaciona los efectos del tiempo y del clima con las actividades sociales de las personas, desde los efectos psicológicos de un individuo hasta las respuestas y percepciones de un grupo; y por último, la biometeorología patológica, que estudia la relación entre las enfermedades y el clima, y en la cual se considera el papel del clima tanto en la enfermedad como en la terapia. Además de estas tres grandes ramas, Tromp distingue, también, otras áreas de estudio más especializadas como son la biometeorología náutica y la urbana.

Jáuregui (a) considera que la bioclimatología humana en las ciudades estudia los diferentes aspectos del clima urbano y su relación con la comodidad/incomodidad y la salud de las personas. También menciona que los principales parámetros que afectan directamente al ser humano en las áreas urbanas son, por un lado, la temperatura, la humedad, la radiación solar y el viento; y por el otro, la calidad del aire.

El término "salud" debería entenderse en un sentido más amplio, no sólo desde un punto de vista físico, pues la Organización Mundial de la Salud lo considera como "...un estado de completo bienestar físico, mental y social..." (WMO/WHO/UNEP, 1996).

4.1.3 El clima y el ser humano.

El tiempo y el clima influyen en el ser humano, forman una parte integral de su vida diaria y su efecto se deja sentir en muchas y diferentes maneras. Afectan directamente al organismo del individuo y sus funciones; pueden promover las enfermedades, pero también favorecer la recuperación de la salud; determinan su confort; e inclusive pueden beneficiar la recreación. El clima afecta indirectamente, también, la salud y la vida de las personas a

través de sus efectos en los ecosistemas, el ciclo hidrológico (abastecimiento de agua), la agricultura, la ganadería y los agentes portadores de enfermedades (WHO/WMO/UNEP, 1996).

Tromp (1963) considera que, la biometeorología ha demostrado que los procesos fisiológicos en el cuerpo humano cambian continuamente debido a los cambios en el tiempo atmosférico y el clima. Como resultado, se tiene que la resistencia patológica general del cuerpo humano varía de un día a otro, a lo largo de un año y de un año a otro.

Los diversos grupos étnicos han desarrollado, a través de miles de años, diferencias fisiológicas y de comportamiento como resultado de su exposición a los diferentes climas del mundo. Algunas regiones están sujetas a condiciones extremas o rigurosas, y solamente el desarrollo de técnicas en la construcción, de ropa adecuada, el almacenamiento de alimentos, la calefacción, el aire acondicionado han permitido la supervivencia y la capacidad para desarrollar de manera eficiente ciertas actividades (Landsberg, 1984).

El mismo Landsberg menciona que los elementos del tiempo atmosférico pueden actuar de manera independiente o, bien, en conjunto sobre los seres humanos y provocar diferentes reacciones de adaptación individual. Estas se logran por medio de una sutil regulación física que, por lo general, pasa desapercibida.

Las fluctuaciones del tiempo atmosférico a corto plazo, como son las ondas frías o de calor, pueden causar serios efectos en la salud de las personas. Esas variaciones están asociadas frecuentemente a un aumento en las tasas de morbilidad y mortalidad. Pero, con base en estudios realizados, la Organización Meteorológica Mundial (WMO/WHO/UNEP, 1996), señala que la salud humana se ve afectada, en primera instancia, por el clima a largo plazo; seguida de las variaciones estacionales, que tienen un mayor impacto que la variación diaria del tiempo.

La capacidad de adaptación del organismo es muy variable y depende de diferentes factores como son la edad, el sexo, la salud, la alimentación, el estado de ánimo y de ciertos ajustes culturales o sociales. Por ejemplo, las personas que viven en lugares cálidos, como La Paz, sobrellevan el calor excesivo mediante la aclimatación fisiológica, algunas adaptaciones en su estilo de vida y la adopción de cierta actitud mental. Esto explica el porqué las tasas de mortalidad, relacionadas a las ondas de calor, se mantienen estables en los climas más cálidos; mientras que son más altas en las regiones templadas, en donde el "rango de tolerancia" al calor es menor (WMO/WHO/UNEP, 1996).

4.2 Factores bioclimáticos.

Dentro de los factores que afectan directamente al ser humano están la radiación solar y la terrestre, la temperatura del aire, el contenido de vapor de agua, la intensidad del viento, la composición química de la atmósfera; y, de manera indirecta, la precipitación y los fenómenos eléctricos. Además, existen ciertos fenómenos meteorológicos como las tormentas severas, los tornados y los ciclones tropicales que pueden originar inundaciones, descargas eléctricas, vientos muy intensos, marejadas a lo largo de las costas, y causar daños materiales, lesiones o la muerte.

4.2.1 Factores radiativos.

Los seres humanos estamos inmersos en un medio en donde la energía radiante proviene tanto del espacio como de nuestro entorno. El espectro electromagnético de la

radiación abarca una gama muy amplia de longitudes de onda. Muchas de éstas, como los rayos X, los rayos gamma, los cósmicos, tienen ciertos efectos en los seres vivos; pero de manera más importante, desde un punto de vista climático, están los rayos ultravioleta, los visibles y los infrarrojos de la radiación solar.

4.2.1.1 Rayos ultravioleta.

La longitud de onda de los rayos ultravioleta se encuentra entre las 0.2 y 0.4 μm (200-400 nm) y convencionalmente se subdivide en UV-C (100-280 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-A (315-400 nm). La capa de ozono estratosférica, formada por reacciones fotoquímicas, es de gran importancia biológica, pues absorbe toda la radiación ultravioleta de la más alta energía, es decir, la de longitud de onda más corta, los UV-C; aproximadamente tres cuartas partes de la siguiente banda, los UV-B; y solamente una muy pequeña cantidad de la radiación de menor energía, los UV-A (WHO/WMO/UNEP, 1996).

La Organización Mundial de la Salud (WHO/WMO/UNEP, 1996) menciona también que, el restante de los rayos ultravioleta de onda media (UV-B) y larga (UV-A) es absorbido en la troposfera por las nubes, el polvo, los gases y las partículas contaminantes. La proporción total de los rayos ultravioleta absorbidos por la atmósfera está en función del tiempo que le toma a la radiación llegar a la superficie terrestre. La intensidad de la radiación ultravioleta a nivel de la superficie varía significativamente con el ángulo del Sol, y por lo tanto, con la hora del día, la latitud y la estación del año. La radiación ultravioleta alcanza sus valores más altos a mediodía en las latitudes bajas, sobre todo en los días despejados del verano.

La incidencia de radiación ultravioleta, igual que los otros flujos de radiación solar, es alta en La Paz porque, al localizarse cerca del Trópico de Cáncer, la altura del Sol sobre el horizonte es elevada; y además, la frecuencia de días nublados es muy baja. El flujo de la radiación ultravioleta puede aumentar como consecuencia de las diferentes superficies reflectivas; por ejemplo, las paredes y la arena de color claro reflejan un alto porcentaje de radiación, de ahí que los bañistas en las playas soleadas de La Paz se quemen o bronceen rápidamente. Sin embargo, en La Paz, existen dos factores que podrían reducir la incidencia de los rayos ultravioleta: por un lado, al localizarse al nivel del mar, los rayos ultravioleta tienen que atravesar una mayor cantidad de atmósfera; y por el otro, la contaminación de la zona urbana, principalmente el polvo, debilita esa radiación.

Efectos de la radiación ultravioleta en el ser humano.

La radiación ultravioleta tiene efectos biológicos tanto benéficos como dañinos. La exposición directa del ser humano a los rayos ultravioleta B, producen la ruptura del anillo B del 7-dehidrocolesterol que se encuentra en la piel, formando la previtamina D₃. Por efecto de la temperatura corporal, esta previtamina se isomeriza dando lugar a la vitamina D₃ o colecalciferol (Flores *et al.*, 1990). Esta vitamina es esencial para mantener estables los niveles de calcio en la sangre, favoreciendo el crecimiento y mantenimiento saludables de los huesos y previniendo la osteomalacia y la osteoporosis en los adultos, así como las convulsiones (Merck, 1977). Estos rayos también son germicidas.

Sin embargo, una larga exposición al Sol puede causar, además de dolorosas quemaduras en la piel, lesiones en el sistema inmunológico y cáncer en la piel debido a que los rayos ultravioleta, principalmente los B y C, pueden dañar las moléculas del DNA mediante la generación de destructivos radicales libres (WHO/WMO/UNEP, 1996).

La incidencia de cáncer en la piel, principalmente de tipo carcinoma, es mayor en las personas que trabajan o realizan actividades al aire libre, como los campesinos, pescadores, albañiles, deportistas y bañistas. La incidencia de cáncer también está relacionada con la cantidad de melanina que tiene la piel, los grupos étnicos de piel clara son más susceptibles que los grupos de piel oscura (Merck, 1977). Landsberg (1984) menciona que existen estudios que han encontrado, además, una fuerte correlación entre el tipo de cáncer de melanoma maligno con la radiación ultravioleta.

Los rayos ultravioleta A, tienen también algunos efectos biológicos. Las longitudes de onda más largas de los rayos ultravioleta penetran más profundamente en la piel humana, por eso están más asociados al daño y envejecimiento de la piel (WHO/WMO/UNEP, 1996). Landsberg (1984) señala que este tipo de rayos activan la melanina en la piel y provocan el bronceado. Las personas que se queman con el Sol y tienen dificultad en broncearse son las que tienen el mayor riesgo de desarrollar cáncer en la piel. Este autor menciona que se ha sugerido que la pigmentación de la piel humana se desarrolló genéticamente como protección en contra de los rayos ultravioleta y que los grupos étnicos que viven en regiones predominantemente nubladas perdieron esta adaptación.

Como los rayos UV-A tienen una mayor capacidad de penetración, se cree que pueden ocasionar cataratas en el cristalino del ojo y la degeneración de la retina (WHO/WMO/UNEP, 1996).

Disminución de la capa de ozono.

La reducción de la capa de ozono estratosférico, provocada por el ser humano, es mayor en las latitudes altas y predominantemente en la franja que se extiende desde el Polo Sur hasta la latitud de 30° S. El adelgazamiento en esa capa ha ocasionado que una mayor cantidad de radiación ultravioleta llegue a la superficie terrestre, sobre todo en las partes meridionales de África, Australia y Suramérica; y en las latitudes medias (30-60° N) de Europa, Asia y América del Norte. Esta reducción provoca que en esas zonas haya un mayor riesgo de desarrollar cáncer en la piel (WHO/WMO/UNEP, 1996). En La Paz, por estar localizada en una baja latitud del hemisferio norte no es tan alto ese riesgo. Sin embargo, hay predicciones de que si continúa la disminución del ozono a los niveles que hubo de 1979 a 1992, la incidencia de carcinoma aumentará en las próximas décadas en 1-2% para latitudes bajas de 5°, en 3-5% para latitudes entre 15° y 25°, como el caso de la ciudad de La Paz; en 8-12% en latitudes entre 35° y 45°, y para las latitudes entre 55° y 65°, la incidencia será de 13-15% en el hemisferio norte y, la más alta, de 20-30% en el hemisferio sur (WHO/WMO/UNEP, 1996).

4.2.1.2 Rayos visibles e infrarrojos.

La mayor parte de la exposición del ser humano a la radiación solar es al espectro visible, que comprende las longitudes de onda entre 0.4 y 0.7 μm ; y al infrarrojo, con longitudes entre 0.7 y 5 μm .

El espectro visible afecta al sentido de la vista y depende en gran medida de la nubosidad y la duración del día. En días nublados, a nivel del mar y en verano, sólo nos llega una cuarta parte de la iluminación en comparación con los días despejados. En invierno, dependiendo de la latitud, la proporción también disminuye. La luz tiene ciertos efectos en el sistema nervioso, puede estimular, tanto en los seres humanos como en los animales, la segregación de ciertas hormonas. Por otro lado, los cambios en la iluminación pueden originar algunas reacciones psicológicas, como por ejemplo, la falta de luz puede ser causa de depresiones. Al respecto, algunos psicólogos consideran que los frecuentes días nublados de invierno en el norte de Europa, son un factor que contribuye al alcoholismo y a una alta frecuencia de suicidios (Landsberg, 1984).

Este mismo autor menciona que han encontrado que la luz brillante y el deslumbramiento tiene ciertos efectos en muchas personas que padecen migraña. En individuos sensitivos, provoca la vasoconstricción mediante una reacción química fototrópica que origina esos dolores de cabeza.

La radiación infrarroja no tiene efectos dañinos sobre la piel, sólo puede provocar lo que se conoce como eritema, una congestión o enrojecimiento en la piel, debido a que la dilatación de los vasos sanguíneos periféricos incrementan el flujo de sangre hacia la piel. Sin embargo, Tromp (1963) menciona que este tipo de radiación es absorbida por la conjuntiva y la córnea de los ojos, lo que puede ocasionar una dolorosa inflamación en ellos y en ocasiones originar cataratas, pues los rayos infrarrojos penetran la retina. Como este tipo de radiación es calorífica y está relacionada con la temperatura ambiente, se va a tratar más adelante.

4.2.1.3 Balance energético humano.

Radiación neta.

Landsberg (1984) menciona que el principal efecto de la combinación de los flujos radiativos es su influencia en el balance humano de energía. Estos flujos son esenciales para el equilibrio en la ganancia y la pérdida de energía con el entorno. La ganancia de energía está comprendida por la radiación directa que llega del Sol, la radiación difusa y la radiación reflejada por las nubes, la superficie terrestre y los diferentes objetos como las paredes y los árboles. El cuerpo humano también pierde energía por medio de la radiación de onda larga que es reflejada a la atmósfera, suelo y objetos que le rodean. Landsberg expresa, matemáticamente, ese balance de la siguiente manera¹⁰:

¹⁰ Como las fórmulas se han tomado de diferentes autores, la que suscribe consideró importante homogeneizar las iniciales, pero respetando la fórmula de cada autor.

$$Q_N = Q_s + Q_{sc} + Q_{rc} + Q_{LG} + Q_{LA} + Q_{LO} - Q_{rB} - Q_B \quad (1)$$

en donde:

- Q_N = radiación neta,
- Q_s = radiación directa del Sol,
- Q_{sc} = radiación de onda corta dispersada por el cielo y las partículas,
- Q_{rc} = radiación de onda corta reflejada por las nubes,
- Q_{rB} = radiación de onda corta reflejada por el suelo,
- Q_{LG} = radiación de onda larga emitida por el suelo,
- Q_{LA} = radiación de onda larga reirradiada por la atmósfera,
- Q_{LO} = radiación de onda larga emitida por los objetos del medio,
- Q_{rB} = radiación de onda corta reflejada del cuerpo (o ropa),
- Q_B = radiación de onda larga emitida por el cuerpo (o ropa).

La energía reflejada depende del albedo de las diferentes superficies, incluyendo la del cuerpo. Este autor señala que el albedo de la piel es cerca de 1-2% en la radiación ultravioleta, y en promedio de 5% en la infrarroja. En el espectro visible hay una amplia variación, dependiendo de la pigmentación de la piel; la piel clara refleja aproximadamente el 30 al 40% de la luz, mientras que la oscura solo el 15 al 20%.

Las zonas desérticas, como La Paz, tienen las ganancias más altas de radiación directa, pero su alto albedo refleja una gran cantidad de energía al espacio. La combinación de estos dos flujos de energía de onda corta resulta una carga considerable para los seres humanos durante el día.

La vestimenta que refleja cierta radiación del cuerpo es de gran utilidad. El albedo de la ropa depende de su color y material, y puede reducir la carga de calor de un día con intensa radiación solar. Más adelante se darán algunas recomendaciones al respecto.

4.2.1.4 Intercambio térmico del ser humano con su entorno.

El buen funcionamiento de un organismo depende no sólo de las condiciones internas del mismo, sino también de las condiciones del medio que le rodea. Los organismos homeotermos, como el ser humano, tienen la capacidad de mantener constante la temperatura interna del cuerpo, aún cuando exista una gran oscilación térmica en el exterior. La salud del cuerpo humano está relacionada con la precisión en que se regulan las diferentes propiedades físicas y químicas internas del organismo, es decir la homeostasis.

Las propiedades del medio interno y la naturaleza de los controles homeostáticos (los sistemas nerviosos y endocrinos) entran más en el campo de la investigación médica y no tanto en la meteorológica. Pero las respuestas homeostáticas a las variaciones atmosféricas son las que nos conciernen aquí (Oliver, 1981).

Termorregulación.

Uno de los aspectos más importantes en el organismo humano es la termorregulación. Para su correcto funcionamiento, el cuerpo necesita mantener una temperatura rectal constante alrededor de 37°C.

Para mantener la temperatura interna del cuerpo humano se requiere de un equilibrio entre la ganancia y la pérdida de calor. En el metabolismo del cuerpo existe una relación entre la ingestión de alimentos con la producción de energía; los rangos varían de acuerdo al estado físico del cuerpo, ya sea que esté dormido, descansando, trabajando o haciendo ejercicio. Dependiendo de la actividad realizada va a ser la producción metabólica del calor.

Landsberg (1984) menciona que el calor producido por una persona despierta y en reposo, es igual a 50 k-cal/hr/m² (581.5 Wh/m²). A este valor se le ha denominado unidad metabólica o MET. Los valores relativos a esta unidad, para diferentes actividades se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Proporción metabólica de varias actividades en el ser humano (Landsberg, 1984).	
Actividad	Número de unidades
Dormido.	0.8
Despierto, en reposo.	1.0
De pie.	1.5
Trabajo ligero de oficina, manejando.	1.6
De pie, trabajo ligero.	2.0
Trabajo moderado, caminando a 4 km/h.	3.0
Trabajo fuerte, caminando a 5.5 km/h.	4.0
Trabajo fuerte sostenido, caminando a 5.5 km/h con una carga de 20 kg.	6.0
Actividad muy fuerte, escalar montañas, competencia atlética.	10.0

Balance térmico del cuerpo humano.

Los elementos externos que influyen en el estado térmico de los humanos son la temperatura del aire, la humedad, la intensidad del viento; los flujos de radiación de onda corta y larga. A éstos, se le agregan la proporción metabólica del ser humano, las propiedades aislantes de la vestimenta y, en las ciudades es importante tomar en cuenta las características de las construcciones que, también, tienen cierto efecto en el balance térmico.

Además de la producción de calor mediante los procesos basales, el cuerpo puede ganar calor del medio externo cuando éste tiene una temperatura superior a la de la piel. Esto lo hace por medio de la absorción de la radiación de onda corta o larga, la convección y la conducción del aire o por contacto físico con su entorno inmediato. Tromp (1963) señala que, la pérdida de calor ocurre principalmente a través de la radiación (60% del total) y la evaporación (25% del total); y en menor medida, por medio de la convección (aproximadamente el 15% del total) y la conducción (Tabla 11).

Tabla 11 . Balance térmico del cuerpo humano.	
Ganancia de calor	Pérdida de calor
1. Calor producido por: a) Procesos basales del cuerpo (digestión, respiración, flujo sanguíneo). b) Actividad. c) Tensión muscular y escalofríos.	1. Energía radiada del cuerpo: a) Hacia la atmósfera. b) Hacia un medio más frío.
2. Energía producida por cuerpos radiantes. a) Sol (directa, reflejada). b) De cuerpos radiantes. c) Otros cuerpos más calientes.	2. Pérdida de energía a través de la evaporación: a) Del tracto respiratorio. b) A través de la piel (sudor, aplicación de agua).
3. Conducción del calor. a) Del aire con mayor temperatura que el cuerpo. b) Por el contacto físico con la ropa, suelo o muebles más calientes.	3. Conducción de energía del cuerpo a) Hacia el aire con menor temperatura que el cuerpo. b) Por contacto con otros objetos más fríos.
4. Convección del calor.	4. Convección del calor.

Fuente: Oliver (1981) y Sánchez (1984).

Según Sánchez (1984), el balance térmico entre el cuerpo humano y su entorno se puede expresar de la siguiente forma¹¹:

$$Q_M \pm Q_d \pm Q_v \pm Q_N - Q_e = 0 \quad (2)$$

en donde:

- Q_M = calor que produce el metabolismo humano,
- Q_d = calor que gana o pierde por conducción,
- Q_v = calor que gana o pierde por convección,
- Q_N = radiación neta,
- Q_e = calor que siempre pierde el cuerpo por evaporación.

La Figura 16 representa la relación entre la temperatura interna del cuerpo (T_b) y los componentes del balance térmico de un organismo homeotermo con las variaciones de la temperatura ambiente. La cantidad Q_M depende del nivel de actividad que tenga una persona. Cuando el cuerpo pierde más calor del que gana se rompe el equilibrio (zona de termorregulación, BE), su temperatura comienza a disminuir, por lo que se dispara un mecanismo que reduce la pérdida de calor, tratando de evitar la hipotermia (AB). Por el contrario, cuando el cuerpo gana más calor del que pierde, ese mecanismo actúa aumentando la pérdida de calor y su temperatura disminuye, evitando la hipertermia (EF) (Oke, 1987).

¹¹ Igual que en la fórmula (1).

4.2.2 Respuestas al medio externo.

El ser humano, al igual que los animales, logra la termorregulación por medio de respuestas fisiológicas (involuntarias) o de comportamiento (voluntarias) al medio térmico exterior. Oke (1987) señala las respuestas fisiológicas que los organismos homeotermos han desarrollado al medio adverso, incluyen cambios en el metabolismo, la dilatación y contracción de los vasos sanguíneos, el aumento o descenso del pulso, el sudor y el jadeo (hiperventilación), la erección de una capa aislante de vellos, lana o plumas. Y dentro de las respuestas de comportamiento se encuentran:

El movimiento. Los animales y los seres humanos, a diferencia de las plantas, tienen la capacidad de desplazarse hacia zonas donde las condiciones sean menos adversas. A dicho sitio se le denomina *termopreferendum*. Este sería, por ejemplo, una zona sombreada o ventilada, si es que la carga de calor es alta.

La postura. Un animal puede controlar, mediante su orientación o cambio de postura, el tamaño y la naturaleza de las superficies involucradas en el intercambio de calor. Por ejemplo, bajo condiciones de ventisca, un animal puede acomodarse de cierta forma que evite la pérdida de calor, y minimizarla también al bajar sus orejas y cerrar su nariz.

La ingestión. El tomar líquidos calientes o fríos puede afectar el contenido de calor del cuerpo. La ingestión de agua fresca puede provocar la pérdida de calor del cuerpo a medida que éste calienta el agua a la temperatura del organismo.

La construcción de un refugio. Algunos animales construyen refugios especiales en el suelo o en los árboles para protegerse del medio.

Oke (1987) considera que, tal vez, las principales diferencias fisiológicas entre el ser humano y los animales están relacionadas a la postura erecta y la carencia de una significativa cubierta aislante en el primero; y a que el organismo humano utiliza el sudor como medio de enfriamiento. En relación a las respuestas del comportamiento, lo más notable de las personas es que tienen una forma más elaborada para aislarse de su entorno, mediante la ropa y las construcciones.

Postura erecta.

La postura erecta de los seres humanos ayuda a minimizar la ganancia de calor. Esto es debido a que a la hora en que la radiación solar es más intensa, el cuerpo humano presenta una área más pequeña en comparación con los animales de cuatro patas, que exponen su área máxima a mediodía. La ventaja de una postura erecta, en este sentido, es más clara en los trópicos, pues el Sol se encuentra alto sobre el horizonte durante una gran parte del día, y muy cerca del cenit a mediodía. Por otro lado, pudiera parecer paradójico que las personas de piel oscura poblaran los trópicos, ya que el albedo de la piel negra es cerca del 18% y el de la piel blanca es del 35%. El punto crucial no es el albedo, sino la profundidad a la que penetran los rayos. En la piel negra, la radiación de onda corta entra hasta unos 0.4 mm (no sobrepasa la epidermis) y en la piel blanca, llega hasta los 2 mm (bien adentro de la dermis). Aunque la piel oscura absorbe mejor, el calor se queda cerca de la superficie de la piel; mientras que en la piel clara, el calor es llevado a la sangre, contribuyendo al problema de almacenamiento de calor en el cuerpo (Oke, 1987).

Aislamiento térmico de la ropa.

El principal objetivo de la ropa en la termorregulación es su propiedad aislante. En los climas fríos evita que el cuerpo pierda calor, y en los cálidos impide que la ganancia sea excesiva. El grado de aislamiento de la ropa depende de su estructura, del grosor y de la cantidad de aire que encierra (Tabla 12). La calidad del aislamiento obedece también a la cantidad de humedad que contiene la tela y a la velocidad del viento. Si la vestimenta se moja, la resistencia térmica del cuerpo disminuye.

En los climas cálidos y secos como en La Paz, la ropa es importante para proteger al cuerpo de la radiación solar. Además, el uso de colores claros favorece la reflexión de la radiación, reduciendo la cantidad de calor absorbida, por lo que es conveniente evitar los colores oscuros. El material debe tener una trama cerrada para evitar que la radiación penetre a la piel, y debe ser lo suficientemente grueso para aislar al cuerpo de las ganancias conductivas. Se recomienda el uso de ropa holgada con el fin de que haya suficiente circulación para transpirar (Tabla 12).

Sin embargo, cuando la humedad es también alta, como en los meses de agosto y septiembre, se recomienda usar ropa ligera, ajustada y de trama abierta, y con un mínimo de capas (Tabla 12).

Tabla 12. Ropa recomendada en los climas cálidos.	
Seco	Húmedo
Trama cerrada	Trama abierta
Grosor moderado	Muy delgada
Ropa holgada	Ropa ajustada
Aconsejable uso de ropa interior	Mínima cobertura
Cubrir cuerpo y cabeza	Mínimo uso de ropa interior
Color claro	

Fuente: (Modificada de Oke, 1987).

A continuación se describen las respuestas del ser humano a los medios extremos, es decir a condiciones de frío y de calor. Como en La Paz predominan las condiciones de calor, se expone más ampliamente esa situación. Pero se consideró importante mencionar las respuestas a un medio frío porque, si bien, los inviernos en La Paz son frescos, la velocidad del viento, sobre todo en las noches, puede intensificar la sensación de frío, así como sus efectos.

4.2.2.1 Respuestas a un medio frío.

Cuando la temperatura disminuye por debajo de un rango confortable (C , en la figura 16), el organismo aumenta la producción de calor metabólico (Q_M) al activar una serie de mecanismos que regulan su temperatura (Tabla 13).

Tabla 13. Resumen de respuestas del ser humano al medio externo.

Al frío	Al calor
<p>Fisiológicas.</p> <p>* Aislamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interno: constricción de los vasos sanguíneos, concentración de la sangre. - Externo: aumento del aislamiento por las capas externas de la piel (piloerección). <p>* Metabolismo: aumento de la producción de calor (aumento del tono muscular y escalofríos).</p>	<p>Fisiológicas.</p> <p>* Aislamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interno: dilatación de los vasos sanguíneos, cambios en el ritmo cardiaco, dilución de la sangre. - Externo: disminución del aislamiento, decremento del tono muscular y relajación de los músculos pilomotores. <p>* Evaporación: aumento de pérdida de agua (transpiración, hiperventilación).</p>
<p>Comportamiento.</p> <p>* Postura: flexión del cuerpo para reducir el área expuesta.</p> <p>* Actividad: tendencia a aumentar la actividad.</p> <p>* Refugio: inclinación a arrojarse o guarecerse.</p> <p>* Migración.</p> <p>* Ingestión de alimentos y bebidas calientes.</p>	<p>Comportamiento.</p> <p>* Postura: extensión del cuerpo para aumentar el área expuesta.</p> <p>* Actividad: tendencia a reducir la actividad.</p> <p>* Refugio: protección en lugares sombreados.</p> <p>* Ingestión de bebidas frías.</p> <p>* Ventilación.</p> <p>* Migración.</p>

Modificado de Oliver (1981) y Oke (1984).

Los organismos homeotermos son capaces de aumentar el aislamiento a su ambiente por medio de tres capas aislantes: la primera es el tejido adiposo y la piel, que constituyen un aislante interno; la segunda está formada por un manto de aire que se queda atrapado dentro de los vellos, pelos o plumas, y conforman un aislante externo; y la tercera es una capa de aire laminar que rodea a todos los cuerpos (Oke, 1987). El autor menciona que la resistencia de la primera capa se ve incrementada por la constricción de los pequeños vasos sanguíneos de la piel, pues al retirarse la sangre hacia el interior, se reduce la pérdida de calor. También se origina un proceso de piloerección que engruesa la cubierta de la piel, originando un aumento en la resistencia térmica de la segunda capa, porque queda atrapada una capa de aire con poca conducción. La tercera capa depende de los cambios que hay en la cubierta externa del organismo y, además, disminuye cuando se intensifica el viento.

En los seres humanos, como resultado de estos mecanismos, la piel palidece y en las áreas expuestas aparece, comúnmente, lo que llamamos la "piel de gallina", que está asociada a la erección de los vellos de la piel. Este es un intento de aumentar el aislamiento, de la misma manera que lo hacen los animales y las aves cuando esponjan su pelambre o plumaje. Pero, debido a la escasez de vello que cubre la piel del ser humano, es poco probable que sea un mecanismo efectivo, aunque puede ayudar a que se incremente el grosor de la capa límite laminar. Otra respuesta a las condiciones frías son los escalofríos, su función es aumentar el ritmo metabólico. Tampoco es un proceso muy eficiente dado que, por un lado al aumentar el ritmo metabólico, lleva más sangre a las capas más superficiales

del cuerpo y, por el otro lado, aumenta la pérdida de calor del cuerpo por medio de la radiación y la convección hacia el medio externo (Oke, 1987).

Dentro de las respuestas en el comportamiento, las personas tienden a arroparse, acurrucarse o realizar una mayor actividad cuando la temperatura de la piel se acerca a 19°C. Las condiciones atmosféricas más frías para los humanos, son las asociadas a bajas temperaturas con fuertes vientos. La proporción de pérdida de calor por radiación y en especial por convección, se vuelve extremadamente alta. El término *wind-chill*¹² es usado para expresar el efecto de enfriamiento; y la temperatura equivalente del *wind-chill* da una impresión de qué tan fría se siente la piel expuesta a dicha combinación de viento/temperatura.

4.2.2.2 Respuestas a un medio cálido.

La temperatura interna de la mayoría de los mamíferos oscila entre los 35° y 40°C, valores que se encuentran cerca del límite superior de las temperaturas máximas en la troposfera. Los mecanismos fisiológicos de los animales y del ser humano están bien adaptados para conservar el calor, pero cuando la temperatura ambiente sube considerablemente, su habilidad para disiparlo no está tan desarrollada (Oke, 1987). Esto es de gran importancia cuando uno se da cuenta de que la temperatura de una incipiente hipertermia, para muchas especies, se encuentra cerca de 5°C por encima de T_b (Figura 16).

Una de las reacciones iniciales para reducir la temperatura es disminuir todo el aislamiento externo del cuerpo. En un principio, los vasos sanguíneos se dilatan, decrece la resistencia térmica de la piel; y debido al aumento en la circulación de la sangre, se refuerza el flujo de calor hacia el exterior (Tabla 13). Además, los músculos pilomotores se relajan y la profundidad de la cubierta se vuelve menor.

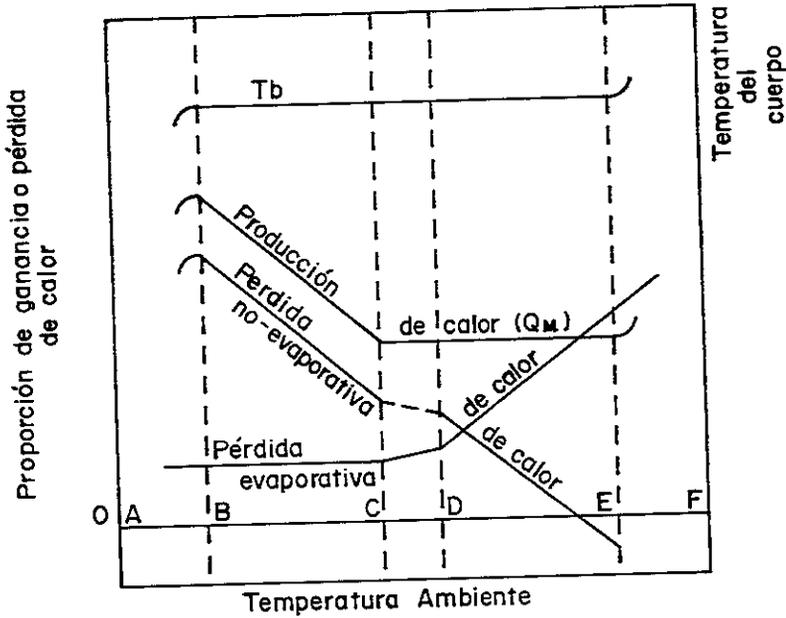
Las pérdidas no evaporativas (Figura 16) producen muy poco alivio porque, conforme la temperatura ambiente aumenta, el gradiente térmico cuerpo-aire disminuye. A unos 35° C, la pérdida por convección se vuelve cero y las pérdidas por radiación se tornan pequeñas, a menos de que haya algún lugar fresco en el medio que actúe como sumidero radiativo de onda larga. Por encima de los 35° C, el problema se acentúa porque la convección del calor sensible se vuelve una carga adicional de calor para el cuerpo.

A medida que la temperatura ambiente aumenta, el enfriamiento evaporativo por el sudor (D, en la Figura 16) se vuelve más importante en la termorregulación. Por debajo de los 25° C, el enfriamiento evaporativo es causado por las pérdidas de agua a través de los pulmones y por la difusión a través de la piel (transpiración insensible). En cambio, por encima de los 28° C tiene lugar la verdadera transpiración, donde el agua es exudada por la piel a través de diferentes glándulas distribuidas en todo el cuerpo (Tromp, 1963). El sudor se evapora y al cambiar de estado físico utiliza calor, refrescando al cuerpo.

La proporción del enfriamiento por evaporación depende, entre otros factores, de la temperatura, humedad del aire y la velocidad y naturaleza del viento. En un lugar cálido, seco y ventoso, la pérdida de calor evaporativo fácilmente le quita calor latente al cuerpo. Pero en una atmósfera cálida, húmeda y con poca ventilación, aún ese canal de pérdida de calor se ve reducido. La situación puede agravarse debido a que el sudor contiene sales que

¹² Este término es muy usado a nivel mundial, sobre todo en países en donde se registran muy bajas temperaturas. Jáuregui (comunicación personal, 1997), le denomina "rapidez de enfriamiento".

FIGURA 16. REGULACION TERMICA EN LOS ORGANISMOS HOMEOTERMOS.



Fuente: Oke, 1987 (Mount, 1974)

Terminología :

- AB - zona de hipotermia
- BE - zona de termoregulación
- CD - zona del menor esfuerzo en termorregulación
- CE - zona de mínimo metabolismo
- EF - zona de hipertermia
- B - temperatura de máximo esfuerzo metabólico e hipotermia incipiente
- C - temperatura crítica
- D - temperatura de un marcado aumento en la pérdida evaporativa
- E - temperatura de hipotermia incipiente
- Tb - temperatura interna del cuerpo

reducen la evaporación; lo que limita la transpiración, a menos de que la acumulación de sales sea removida por las gotas de sudor o por un pañuelo.

Balance de agua en el cuerpo.

El sudor da un alivio a la carga de calor, pero en un ambiente muy cálido y seco como La Paz, una excesiva transpiración puede provocar problemas en el balance de agua del cuerpo y la pérdida de sales que, en ocasiones, pueden acarrear serias complicaciones.

Oke (1987) describe el balance de agua volumétrico de un animal como:

$$B = U + E + \Delta S$$

en donde:

- B = ingestión neta de agua (a través de la comida y bebida, aunque algunos animales absorben agua por su cubierta exterior),
- U = pérdida de agua por medio de la orina y excremento,
- ΔS = cambio neto en el almacenamiento de agua en el cuerpo.
- E = pérdida por evaporación

El agua no sólo se necesita como medio para que ocurran las actividades químicas del cuerpo, sino también para la excreción. El agua que hay en el cuerpo se pierde a través de la orina, el excremento, la transpiración y la respiración.

La excreción del agua a través de la piel, los pulmones y los riñones nunca se detiene. Cuando hay una pérdida inevitable sin que se reponga el agua, ocurre la deshidratación. Tromp (1963) menciona que, a una temperatura de 40° C con una fuerte insolación se transpiran de 1.5 a 2 litros por hora; y una rápida pérdida de 6 a 8 litros de fluido, a través del sudor (15% del peso del cuerpo), parece ser suficiente para matar a un ser humano que esté expuesto al Sol y no ingiera agua. Esto se debe a que, a medida que la pérdida de agua aumenta, el volumen del plasma disminuye por lo que la sangre se vuelve concentrada y la circulación inadecuada, hasta que en el último de los casos puede ocurrir una falla circulatoria.

Complicaciones por una sobrecarga de calor.

Cuando se alteran los mecanismos que hacen posible la conservación de la homeotermia se pueden producir algunas enfermedades o hasta la muerte. Esto sucede cuando la producción de calor por el cuerpo se suma a una alta temperatura y humedad en el ambiente, rebasando la capacidad del organismo para eliminar ese exceso; y se observa en casos de una actividad física extremada y persistente, bajo el calor. Las enfermedades relacionadas al exceso de temperatura incluyen los calambres por calor, la extenuación por calor y la sobrecarga crítica de calor (Magallón, 1984-a).

Petersdorf (1994) menciona que los calambres son la complicación más benigna de una sobrecarga de calor, tienen lugar cuando los músculos han sido sometidos a un intenso ejercicio, y se caracterizan por ser intermitentes y de corta duración. Los calambres se presentan principalmente en las piernas y el abdomen, y son resultado de la pérdida de sales en el organismo por causa de la deshidratación (Merck, 1977). Los calambres se vuelven menos frecuentes cuando las personas se aclimatan al calor.

La extenuación por calor es, probablemente, la complicación más común de una sobrecarga de calor. Se puede presentar por la pérdida de agua o, bien, por la de sales,

mismas que provocan una falla en el sistema cardiovascular. La pérdida de agua es común en personas de edad avanzada que están en tratamiento a base de diuréticos o en personas que toman poca agua en ambientes cálidos, por lo que es común que la temperatura corporal se incremente; mientras que la pérdida de sales ocurre cuando hay una ingestión inadecuada de sales, y en lugar de presentarse la hipertermia, tiene lugar la hiponatremia y la hipocloremia. Sin embargo, ambas formas de extenuación por calor provocan debilidad, ansiedad, cansancio, sed, vértigo, dolor de cabeza, anorexia, náusea o vómito, y pueden llevar al desmayo o a un colapso (Petersdorf, 1994). Es más probable que, esta extenuación se presente después de varios días de calor que cuando apenas está empezando una onda de calor. Además, la probabilidad aumenta con la ingestión de bebidas alcohólicas, la deshidratación, la excesiva transpiración, el vómito y la diarrea (Merck, 1977).

La sobrecarga crítica de calor, a la que comúnmente se le denomina golpe de calor, se presenta debido a una prolongada exposición a altas temperaturas, combinada a una intensa radiación solar o a una deficiente ventilación; y en ocasiones, a una fuerte actividad física. Como consecuencia se tiene una alteración profunda en los mecanismos de la termorregulación, por lo que la temperatura del cuerpo se eleva considerablemente (hiperpirexia). Los síntomas iniciales son dolor de cabeza, náusea, vómito, calambres, confusión, incoherencia en el habla o desmayo. Además, se pueden presentar convulsiones, colapso, coma o la muerte. La probabilidad de un golpe de calor aumenta en el segundo día y en los subsecuentes de una onda de calor. Otros factores que incrementan el riesgo son la falta de aclimatación, la vejez, una vivienda poco adecuada, la deshidratación, la supresión de la transpiración o alguna enfermedad previa (Merck, 1977).

Landsberg (1984) considera que los retos que implica un clima frío pueden ser superados mediante el uso de ropa apropiada, la calefacción en los edificios y una dieta alimenticia adecuada. Peor, los problemas de los climas y de las estaciones cálidas son más difíciles de superar. Aún cuando, los seres humanos son producto de los trópicos, a veces existen condiciones atmosféricas severas, las cuales no pueden fisiológicamente sobrellevar. Bajo condiciones al aire libre, existe una mejor defensa artificial en contra del frío que del calor. No hay nada que nos proteja de las altas temperaturas o, de lo que es peor, de la combinación de una alta temperatura y humedad. Existe cierta protección contra la intensa radiación solar de onda corta y de la radiación difusa mediante la reflexión de la ropa o la sombra que producen los parasoles.

4.2.3 Contaminación del aire.

Wark y Warner (1990) mencionan que la contaminación del aire es "la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes en cantidades y duración tales que sean o tiendan a ser perjudiciales a la salud o al bienestar humanos, la vida de los animales o de las plantas, o que interfiera con el goce de la vida o la propiedad."

Los contaminantes del aire en La Paz provienen, como se mencionó anteriormente, del polvo que levantan los automóviles al transitar por la ciudad, la combustión de la gasolina en los vehículos de motor, la planta termoeléctrica, el Relleno Sanitario y la Planta de Aguas Residuales.

4.2.3.1 Efectos de las partículas.

Las partículas, además de reducir la incidencia de la radiación solar y la visibilidad, pueden causar grandes daños materiales que implican cierto costo para las personas. Por un lado, ensucian las superficies pintadas, la ropa y las cortinas; y por el otro, pueden provocar daños químicos, mediante la corrosión de las superficies metálicas, sobre todo con la presencia de partículas higroscópicas en la atmósfera.

Las partículas en el aire representan un peligro para la salud de las personas, principalmente cuando el tiempo de exposición es largo. Los aerosoles, en especial los muy pequeños, pueden penetrar profundamente en las vías respiratorias y, además, pueden transportar otros contaminantes. Cuando se encuentran dentro de los pulmones, los contaminantes combinados pueden provocar daños más graves que cuando actúan solos. Ciertas enfermedades, como el asma y el enfisema pulmonar se exacerban por la combinación de ciertos contaminantes (W.M.O., 1970). Se ha observado que cuando aumenta la concentración de partículas en el aire hay un incremento en la morbilidad, la ausencia en el trabajo y escuelas, así como en la mortalidad, sobre todo de las personas de edad avanzada que ya presentaban enfermedades respiratorias y cardíacas (Wark y Warner, 1990).

4.2.3.2 Efectos del monóxido de carbono.

El monóxido de carbono (CO), que proviene principalmente de la combustión en los vehículos de motor, no parece tener efectos perjudiciales sobre los materiales ni las plantas. Pero en las personas y animales, inactiva la hemoglobina por lo que reduce la capacidad que tiene la sangre para transportar oxígeno (W.M.O., 1970). Se ha observado que la exposición a bajas concentraciones de CO tiene efectos en el sistema nervioso central y puede causar problemas en el discernimiento, la agudeza visual y el sistema motor; mientras que a una alta concentración, puede provocar dolor de cabeza, mareo, cansancio, somnolencia, coma, fallas respiratorias y hasta la muerte. Afortunadamente, este contaminante no es acumulativo porque una vez que cesa la exposición, el CO que se combinó con la hemoglobina es liberado. (Wark y Warner, 1990).

Sin embargo, la combustión de gasolina con plomo es la principal fuente de plomo en la atmósfera. En la actualidad, las gasolinas que venden ya no contienen ese metal, pero el problema radica en que el organismo absorbe una gran cantidad del plomo respirado o ingerido y lo acumula en el organismo. Sus principales efectos en las personas son la torpeza, la irritabilidad, el dolor de cabeza y el saturnismo.

4.2.3.3 Efectos de los compuestos que contienen azufre.

Los compuestos de azufre, como se mencionó en el capítulo anterior, provienen de las emisiones de la planta termoeléctrica de Punta Prieta y son los que provocan los daños más importantes en los materiales. Los óxidos de azufre aceleran la corrosión del metal al formar ácido sulfúrico (SO₃) en la atmósfera o sobre la superficie del metal, sobre todo cuando la humedad relativa es alta. Este ácido también ataca diversos materiales de construcción como la caliza o el mármol; así como los textiles de nylon, especialmente las medias (Wark y Warner, 1990).

Las bajas concentraciones de los óxidos de azufre provocan lesiones crónicas en las plantas. Pero cuando las concentraciones son mayores, sobre todo en combinación con otras

partículas y una alta humedad relativa, varias especies de animales, incluyendo el ser humano, reaccionan al bióxido de azufre (SO_2) con la broncoconstricción; de ahí que se intensifiquen las enfermedades respiratorias y aumentan las tasas de morbilidad y mortalidad. Los grupos de edad más susceptibles son los niños y las personas de edad más avanzada, así como también los enfermos. Además, la presencia de otras partículas con estos contaminantes, parece aumentar el riesgo del cáncer de pulmón (W.M.O., 1970).

La lluvia ácida tiene efectos muy serios sobre los suelos, las plantas, las fuentes de agua y los animales. Por un lado, provoca la desmineralización del suelo, lo que puede llegar a repercutir en la productividad de las plantas y cultivos; además, ocasiona la acidificación de las fuentes de agua, misma que puede tener efectos negativos sobre las diferentes especies de flora y fauna que habitan en ellas.

4.2.3.4 Efectos de los compuestos que contienen nitrógeno.

El óxido nítrico (NO) y el bióxido de nitrógeno (NO_2) son los principales contaminantes de este grupo. Estos son emitidos al aire por la combustión de los automóviles y no causan daños directos a los materiales, pero el NO_2 puede reaccionar con la humedad presente en la atmósfera y formar ácido nítrico que puede corroer las superficies metálicas. Además, reduce la visibilidad pues los óxidos de nitrógeno reaccionan con la luz solar y forman el neblumo fotoquímico. Por lo general, estos contaminantes afectan el crecimiento de las plantas y pueden incrementar las enfermedades respiratorias, sobre todo en niños muy pequeños.

4.2.3.5 Efectos de los hidrocarburos.

Los hidrocarburos provienen de las emisiones de los automóviles y de la planta termoeléctrica. Estos no provocan corrosión en los materiales. Pero el hollín procedente de los hidrocarburos no quemados, ensucian las superficies. De todos los hidrocarburos, sólo el etileno tiene efectos adversos en las plantas, inhibe su crecimiento. No se ha demostrado que tengan efectos nocivos directos en la salud de las personas, pero ciertas formas de cáncer parecen ser causadas por la exposición a hidrocarburos aromáticos que están presentes en el hollín y los alquitranes (Wark y Warner, 1990).

4.2.3.6 Efectos de los oxidantes fotoquímicos.

Estos autores mencionan que dentro de los oxidantes fotoquímicos más perjudiciales, se encuentran el ozono (O_3) y el nitrato de peroxiacetilo (NPA). Los aerosoles, formados durante las reacciones químicas que originan el neblumo, reducen la visibilidad y le dan a la atmósfera un matiz parduzco. El ozono ataca el hule sintético, por lo que reduce la duración de las llantas y de los aislantes y, además, ataca la celulosa de los textiles, reduciendo su resistencia. Los oxidantes decoloran las telas y afectan la estructura de la células de las plantas. En las personas, causan severa irritación en los ojos, nariz y garganta, producen constricción del pecho y a mayores concentraciones, una fuerte tos e incapacidad de meditación.

4.3 Confort humano.

4.3.1 Confort humano.

La Organización Meteorológica Mundial (WMO/WHO/UNEP, 1996) consideran que en el contexto del balance energético, el ser humano se siente cómodo cuando la carga de calor y la proporción de disipación son iguales, es decir, cuando se alcanza un equilibrio térmico sin que se active ningún mecanismo de termorregulación. Como el uso de estos mecanismos requiere de energía, se puede decir, por lo tanto, que el confort está acompañado de un mínimo uso de energía (CE en la Figura 16).

La incomodidad se presenta cuando la carga de calor excede la proporción de disipación, es decir en un medio hipertérmico; y cuando la proporción de disipación excede la carga de calor, o sea un medio hipotérmico. Para mantener el equilibrio térmico en ambientes hipertérmicos e hipotérmicos se necesita de la transpiración y los escalofríos, respectivamente. Sin embargo, estos mecanismos solo pueden ser efectivos por un corto periodo de tiempo.

Givoni (1984) señala que las principales causas que producen incomodidad en los climas cálidos son la sensación subjetiva de calor excesivo y la incomodidad de tener la piel húmeda. Según las condiciones atmosféricas, estas causas de incomodidad se pueden experimentar al mismo tiempo, o bien de manera aislada.

Sensación subjetiva de incomodidad por el calor.

Según Givoni (1984), la sensación de malestar debida al calor se experimenta cuando la temperatura media de la piel supera el nivel de confort. En una actividad sedentaria, este nivel se sitúa entre los 32° y 33° C. La temperatura de confort de la piel es más baja cuando aumenta el ritmo metabólico, o sea, cuando se realiza una actividad física. Este autor menciona que las principales condiciones del entorno que producen la sensación de calor son el aire, las temperaturas radiantes y la intensidad del viento sobre el cuerpo. El efecto del viento depende de la temperatura ambiente: a una temperatura por debajo de 33° C, en una actividad sedentaria, un aumento en la velocidad del viento disminuye la sensación de calor pues se presenta una mayor pérdida de calor convectivo del cuerpo. Pero, a temperaturas por encima de 33° C, la velocidad del viento no influye significativamente en la sensación subjetiva de calor.

Transpiración sensible.

El confort térmico está asociado a la humedad de la piel. Esta humedad depende del balance entre la secreción del sudor y la evaporación. En condiciones "neutrales" de humedad cutánea, el sudor se evapora a medida que aflora de los poros, pero cuando aumenta la secreción del sudor o disminuye la capacidad de evaporación del medio, el sudor se extiende sobre una zona mas extensa de la piel. De esa manera no se enfría la piel por evaporación, por lo que se tiene una sensación de incomodidad por la humedad excesiva en la piel.

Relación entre la sensación de calor y la transpiración sensible.

En un clima desértico como el de La Paz, la humedad relativa es muy baja por lo que la incomodidad que se presenta, en algunos meses del verano, se debe a la sensación del calor excesivo. La piel está muy seca aún cuando la transpiración es elevada. La evaporación excede la velocidad de secreción del sudor, de tal modo que el sudor se evapora en cuanto sale de los poros de la piel. La sequedad que se origina en la piel puede, a su vez, ser causa de incomodidad o irritación.

Los meses de agosto y septiembre en La Paz son además de cálidos, húmedos. En éstos, la incomodidad se produce especialmente por la humedad excesiva en la piel, sobre todo cuando no sopla el viento. La piel se humedece porque el potencial de evaporación del aire húmedo en reposo es muy bajo, de ahí que no se sienta un alivio por la pérdida evaporativa de calor.

4.3.1.1 Índices bioclimáticos.

Como se mencionó anteriormente, los principales factores que influyen en la sensación de comodidad del ser humano son la radiación, la temperatura, la humedad relativa y la intensidad del viento. Algunos científicos han propuesto, con base en la sensación fisiológica de un gran número de personas, diferentes índices bioclimáticos que utilizan dos o más de estos parámetros climatológicos. Además, existen algunos modelos que tratan de cuantificar el balance energético del ser humano, éstos proporcionan una herramienta muy valiosa en el estudio bioclimático y añaden considerable información comprensible que no proporcionan los índices de confort (WMO/WHO/UNEP, 1996).

El principal objetivo de los índices bioclimáticos o biometeorológicos es establecer el grado de confort de los diferentes ambientes climáticos. Generalmente, sirven para predecir las diversas respuestas a la sensación de calor y para estimar la tensión impuesta por la combinación de las variables meteorológicas (Oliver, 1981). Además de utilizar fórmulas, algunos de estos índices se auxilian, para su mejor comprensión, de diagramas de confort climático (Márquez de la Mora, 1984).

Temperatura Efectiva.

Uno de los índices más utilizados para evaluar el efecto del clima en el ser humano, es el de la "temperatura efectiva". Este concepto fue introducido por Houghton y Yagloglou en 1923. La temperatura efectiva se define como la sensación que se experimenta para una temperatura y humedad dadas, siendo el grado de comodidad igual al experimentado para una temperatura inferior con ambiente saturado. Se obtiene a partir de comparaciones subjetivas, y está determinada para personas vestidas que no realizan ninguna actividad física y que están expuestas a un movimiento mínimo del aire (Gregorczyk y Cena, 1967).

El concepto de temperatura efectiva ha sido ampliamente usado en la biometeorología como un índice para establecer el efecto del calor sobre el cuerpo humano. Aunque no toma en cuenta la radiación solar y la intensidad del viento, da una primera aproximación de las condiciones de comodidad que prevalecen en un lugar determinado. Además, tiene la ventaja de ser muy sencillo y de usar datos que son accesibles (Jáuregui, 1991).

Según citan Gregorczyk y Cena (1967), Missenard, definió en 1933 a la temperatura efectiva con la siguiente fórmula.

$$ET = T - 0.4 (T - 10) (1 - RH/100)$$

en donde:

- ET = Temperatura efectiva,
- T = Temperatura ambiente,
- RH = Humedad Relativa.

El índice de temperatura efectiva supone condiciones de sombra y mínimo movimiento del aire. Al aplicarlo, se deben tomar en cuenta las variaciones que hay entre las personas como resultado de las diferentes condiciones culturales, étnicas o de salud. En los países de las latitudes medias se ha establecido, como el umbral para un ambiente bochornoso, una temperatura efectiva de 24° C. Pero, se considera que ese valor debe ser más alto en las zonas tropicales y subtropicales, debido a la aclimatación que tienen al calor las personas que habitan ahí (Jáuregui, 1991).

En la Tabla 14, se aprecia la escala de la temperatura efectiva y su relación con las complicaciones que se pueden presentar al exponerse mucho tiempo al calor o al realizar una actividad física pesada (Anexo 30).

Tabla 14. Escala de la Temperatura Efectiva y Complicaciones por una sobrecarga de calor.		
Temperatura Efectiva (°C).	Condición de tolerancia.	Peligros por una exposición prolongada y/o actividad física.
32-34	Límite superior de la tolerancia a ambientes calurosos.	Peligro Extremo Probabilidad muy alta de golpe de calor o insolación.
30-32	Calor extremo (límite superior para la buena salud).	Peligro Probabilidad de insolación, calambres y/o extenuación por calor.
26-30	Caluroso seco o húmedo (bochornoso).	Precaución Extrema Posibilidad de insolación, calambres y/o extenuación por calor.
24-26	Umbral superior a ambiente confortable.	Precaución Posible cansancio.
20-24	Zona Neutra: ideal (20-22), tibio (confortable, 20-24).	No hay.
16-22	Fresco: confortable (16-20, límite inferior a ambiente confortable (16-18).	No hay.
12-16	Frío.	No hay.
2-12	Muy frío.	No hay.

Fuente: modificado de Jáuregui (UNAM, Atlas Nacional de México, 1989) y WMO/WHO/UNEP (1996).

Diagramas de Temperatura Efectiva.

Los diagramas de temperatura efectiva muestran el valor medio de este parámetro para diferentes horas del día a todo lo largo del año. Su principal objetivo es el de ilustrar los patrones generalizados de la distribución de este índice, así como identificar con mayor exactitud los periodos de bienestar o incomodidad de un lugar. Además, como señala Oliver (1981), son de gran utilidad:

- * Para minimizar el uso de energía eléctrica de los aires acondicionados;
- * En la geografía médica, al determinar los lugares ideales para que vivan las personas que padecen ciertas enfermedades que están relacionadas al clima;
- * Al servir de guía a los turistas y determinar las actividades turísticas;
- * Para estimar el potencial bioclimático de una región.

4.3.1.2 Distribución de la Temperatura Efectiva en La Paz.

Al analizar la Tabla 15 de la distribución de la temperatura efectiva para la ciudad de La Paz, se pueden hacer las siguientes observaciones:

Se aprecia, en general, que el periodo de incomodidad ocasionado por el calor dura alrededor de 6 meses, comienza a partir de mayo, cuando al mediodía empiezan a sentirse las condiciones de bochorno; después, éstas se presentan desde la mañana hasta la tarde y en los meses de julio, agosto y septiembre, durante parte de la noche también. Termina hasta octubre, cuando disminuye la temperatura y las noches se vuelven, otra vez, confortables. Asimismo, se observa que de noviembre a abril se tiene un tiempo confortable en lo que se refiere a la carga de calor.

De manera particular, se observa que los meses de diciembre, enero, febrero y marzo presentan condiciones de temperatura efectiva muy similares: parte de la noche y toda la madrugada se tiene un tiempo frío, las mañanas y las tardes son frescas, y el mediodía es neutro. Los meses de abril y noviembre son de transición entre la temporada confortable y la bochornosa, ya que durante el mediodía se alcanza el umbral superior al ambiente confortable, las tardes y las mañanas se vuelven neutras, y las noches se tornan frescas. Durante mayo y junio, la temperatura efectiva sube a mediodía hasta llegar a un nivel de bochorno, pero todavía alcanza a refrescar en las noches o madrugadas. Los meses de julio y octubre son parecidos, las noches son neutras y los días bochornosos, pero en octubre se tiene una mayor oscilación a lo largo del día que favorece la sensación de comodidad. Los meses de agosto y septiembre son los más calurosos, durante la mayor parte del día se tiene una temperatura efectiva de bochorno e inclusive, en agosto entre las 14 y 16 horas, de calor extremo. En octubre comienza a cambiar el tiempo, todavía se tienen condiciones de bochorno a mediodía, pero desde la noche hasta la mañana el tiempo es agradable.

Es importante hacer notar que estas temperaturas son promedios, por lo que se pueden presentar condiciones más extremosas que afecten no sólo la comodidad de las personas, sino que pueden poner en riesgo su salud, sobre todo si la exposición es prolongada o si se realiza alguna actividad física pesada.

Además, la isla de calor es un factor que puede aumentar la carga de calor y acentuar la situación de incomodidad en La Paz, sobre todo durante las noches despejadas y en calma, porque las construcciones de la ciudad se enfrían lentamente, desprendiendo el calor

Tabla 15. Distribución de la Temperatura Efectiva.
La Paz, B.C.S. (1982-1996).

Hora	Mcs	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
		24						24.5	25.2	25.4			
22						25.0	Umbral superior		25.8				
20						24.5							
18						25.4							
16						25.7							
14						25.4							
12						24.5							
10													
8													
6													
4													
2													

absorbido durante el día. Otro factor, es el calor generado dentro de la zona urbana por el transporte, el aire acondicionado, las cocinas y las actividades industriales.

4.3.2 Confort en las ciudades.

El clima interior y las condiciones de comodidad de una construcción dependen de las condiciones climáticas que rodean al edificio. Sin embargo, el edificio en sí modifica las condiciones climáticas del aire que lo envuelve. La geometría urbana, el perfil, la forma, la altura y el tamaño del edificio; la orientación de las calles y de los edificios; y la naturaleza de las superficies de las áreas abiertas urbanas tienen un impacto en el clima urbano (Givoni, 1989). Este autor considera que la climatología urbana y la climatología del edificio son partes de un *continuum* climatológico. Estas difieren en escala, se empieza con el clima regional natural que se ve modificado a una escala urbana, por la estructura de la ciudad; y a una escala local por los edificios.

4.3.2.1 Balance térmico de las edificaciones.

Modificado de García (1994), el comportamiento térmico de las construcciones se expresa de la siguiente manera (Figura 17):

$$Q_N + Q_i \pm Q_a \pm Q_v \pm Q_m - Q_e = 0$$

en donde:

Q_N = radiación neta,

Q_i = calor interno que gana por lámparas o personas,

Q_a = calor que gana o pierde por conducción,

Q_v = calor que gana o pierde por convección o ventilación,

Q_m = calor que gana o pierde por máquinas (fuente externa de energía artificial),

Q_e = calor que pierde por evaporación.

Cuando el resultado de ese balance es menor de cero, el edificio se enfría y si el resultado es mayor de cero, la temperatura de la construcción aumentará.

Durante la mañana y el mediodía de verano en La Paz, las ganancias por radiación, conducción y convección en las construcciones son muy altas, mientras que las pérdidas por evaporación son bajas, pues las superficies están secas. Cuando por la tarde y la noche, la temperatura ambiente exterior descende, todavía la temperatura dentro de las casas y los edificios se conserva alta; de ahí que se sienta una gran malestar adentro de las construcciones, a menos de que se tengan pérdidas por ventilación natural o artificial, o por el enfriamiento de aire acondicionado.

4.3.2.2 Estrategias en el diseño bioclimático.

Sánchez (1984), considera que "El diseño bioclimático está basado en el análisis de los elementos meteorológicos, lo que implica que la arquitectura además de considerar los aspectos físicos, funcionales y estéticos, deberá satisfacer las necesidades de bienestar y economía". El principal objetivo del diseño bioclimático es el de crear un ambiente de confort para la sociedad mediante el uso de sistemas naturales de climatización, tratando de prescindir de los recursos energéticos no renovables.

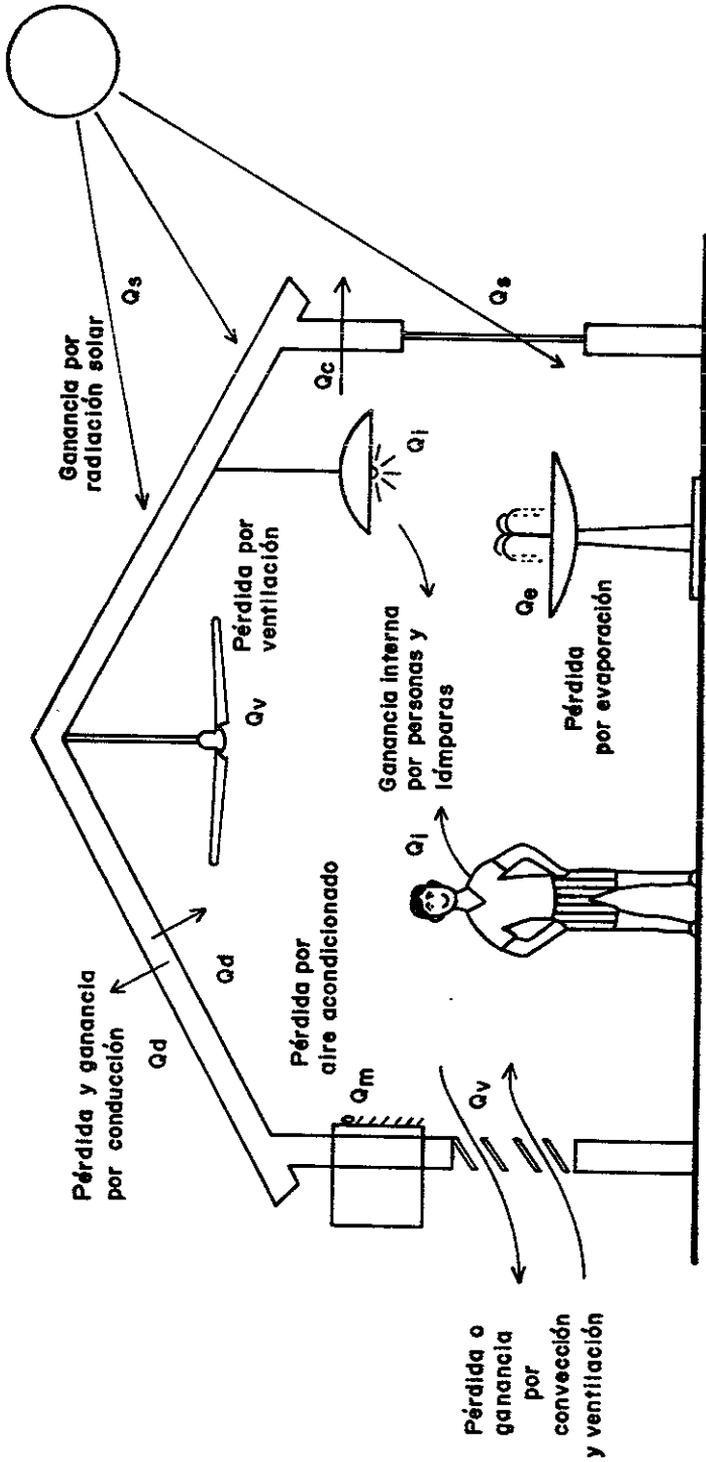


FIGURA 17. COMPORTAMIENTO TERMICO DE LAS CONSTRUCCIONES (Modificado de García, 1994)

Algunos principios de planificación que relacionan al clima con los elementos urbanos que maneja el urbanista, el ingeniero o el arquitecto a escala de ciudad son: la orientación y el trazado de las calles, la organización de espacios, la cantidad de espacios verdes y parques, la evacuación de las aguas pluviales y zonas de riesgo, los vientos dominantes y la ubicación de las fuentes de contaminación. (Oke, 1984).

La localización de un pueblo o una ciudad en una determinada región, puede tener un efecto permanente en el clima urbano y el confort de sus habitantes. El uso del suelo cambia con el tiempo, los edificios pueden ser demolidos, pero la situación geográfica de la ciudad puede permanecer por siglos. Oke (1989) señala que por eso la localización inicial es de gran importancia pues determina, entre otras cosas, la calidad del medio ambiente en el futuro.

Dentro de las sugerencias de mayor detalle incluyen la orientación de los edificios, los materiales de construcción, la altura y el color de las viviendas, consejos para aprovechar al máximo o disminuir al mínimo las corrientes de aire, el uso de árboles y sombras (Oke, 1984). En un clima cálido y seco, como el de La Paz, Plasencia (1991) recomienda tomar en cuenta, entre otras, las siguientes indicaciones en el diseño de las construcciones para evitar al máximo las ganancias de calor por:

1. Radiación solar:

- * Orientar el edificio hacia puntos de menor ganancia de calor (norte).
- * Agrupar las construcciones de tal manera que propicien sombra entre una y otra.
- * Evitar grandes ventanales y puertas que no estén protegidas de la radiación solar.
- * Aislar todos los elementos constructivos: muros, puertas y ventanas.
- * Emplear colores claros y opacos y evitar los oscuros y brillantes.
- * Usar dispositivos de sombreado como parasoles, de preferencia con plantas.

2. Conducción de calor:

- * Emplear masa térmica de baja conductividad: como adobes, losas con relleno, viviendas enterradas o semienterradas, azoteas con vegetación.
- * Emplear aislantes térmicos.
- * Proteger muros, ventanas y cubiertas con vegetación.
- * Usar enfriamiento sensible y latente con cuerpos de agua y vegetación.
- * Proteger y ventilar áticos (doble cubierta ventilada).

3. Convección:

- * Evitar ganancias de calor por filtraciones de aire del exterior.
- * Evitar ganancias de calor vía aparatos eléctricos y lámparas, así como en cocinas.
- * Evitar la estratificación del aire.
- * Proteger el edificio de los vientos secos y polvorientos con vegetación.
- * Enfriar con técnicas de enfriamiento evaporativo.
- * Favorecer la ventilación cruzada con aire previamente enfriado nocturno.
- * Los aires acondicionados deben estar sombreados.

4. Evaporación de agua:

- * Favorecer mediante el diseño el juego de masas de aire.
- * Emplear torres de enfriamiento evaporativo.
- * Emplear efecto chimenea.
- * Provocar corrientes de aire.
- * Emplear fuentes, cuerpos de agua y muros húmedos.
- * Cercanía a cuerpos de agua.
- * Usar fuentes y jardinería en el diseño interno del espacio.
- * Crear espacios separados para control por secciones (en caso de aires acondicionados).

Orientación y control del asoleamiento.

La radiación solar es uno de los factores que más influye en el confort térmico, por eso en el diseño urbano se deben de definir las áreas más asoleadas y tener cuidado con la orientación de las construcciones.

Es importante proteger de los rayos solares a los peatones que van por las banquetas. Esto se puede lograr mediante las sombras que producen las construcciones, los aleros y los portales de los mismos edificios (Figura 18). Esta protección puede crear condiciones climáticas más agradables para los transeúntes urbanos. Las paradas del transporte público pueden estar resguardadas por techados o árboles, los espacios para estacionar los vehículos también deben estar cubiertos por árboles, pues contribuyen a elevar la temperatura ambiente por reflexión.

Materiales y aislamiento.

Farah (1994), señala que en La Paz se utilizan normalmente materiales de construcción poco adecuados al clima, como la losa de concreto y el muro de block hueco, pues conducen y almacenan una gran cantidad de calor; y como el aire circundante también está caliente, su enfriamiento es muy lento, de 4 y 3.5 horas, respectivamente. Además, menciona que el calor entra principalmente por la losa de azotea (65%) y en menor grado por las paredes, puertas y ventanas (35%).

Al respecto, cabe señalar que las casas antiguas de La Paz tenían un mejor diseño que las de ahora, pues sus techos eran más altos. Farah (1994), comprobó que su altura normal era de 5 metros, lo que permite que el aire caliente suba quedándose el fresco abajo, en el área donde se habita.

Sánchez (1984), considera que para disminuir las ganancias de calor de las casas, es conveniente que los techos sean inclinados, así existirán superficies sombreadas a diferentes horas del día, cosa que no sucede en techos planos o de escasa pendiente.

Color de las construcciones.

Givoni (1989), menciona que el color de las paredes de las construcciones es muy importante, no sólo afecta las condiciones climáticas del interior, si no también la luz y el reflejo en las calles. Aquí, se presenta una contradicción entre los requerimientos para el clima interno y los necesarios para reducir el deslumbramiento en las calles. Sin embargo, hay algunos detalles de diseño que pueden resolver ese problema, como el alargamiento de

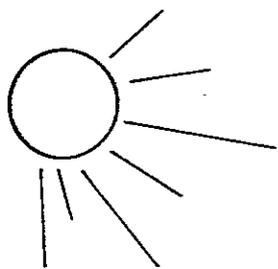
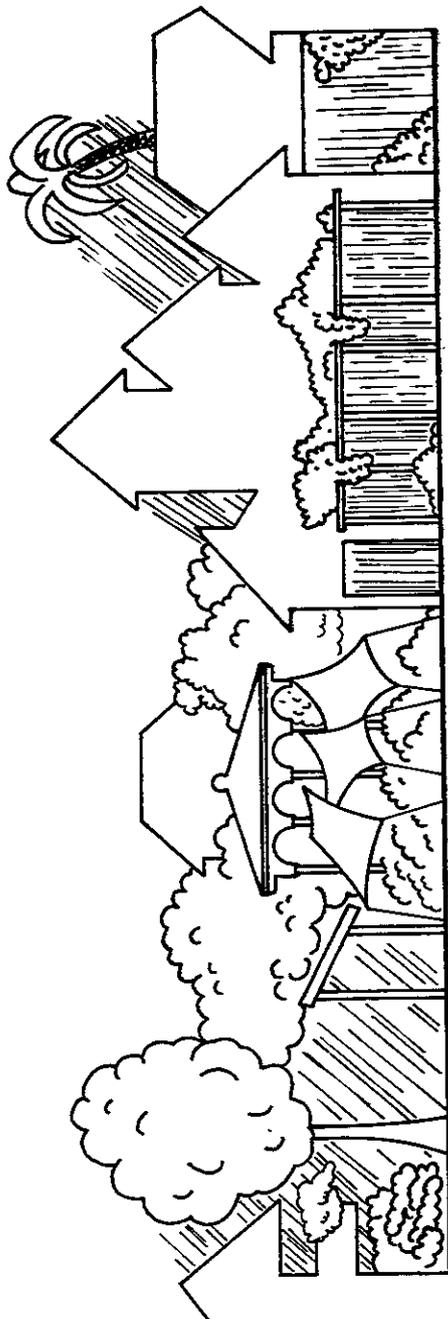


FIGURA 18. PROTECCION CONTRA EL ASOLEAMIENTO
(Modificado de Sánchez, 1988).



Salientes de
los edificios

Vegetación

Techados

Quioscos

Toldos

Portales

Pérgolas

Aleros

Edificaciones
atravesadas

los aleros horizontales que protejan a las ventanas de la radiación solar de tal manera que cubran todo el largo de la pared.

Ventilación natural.

Es muy importante aprovechar las corrientes naturales de aire, ya que favorecen la pérdida de calor en las construcciones. Sánchez (1984), menciona que la "canalización" del aire es uno de los recursos del diseño bioclimático más eficaces, pues mediante la aplicación de ciertos principios se pueden crear corrientes de aire (Figura 19), y de esa manera se puede sustituir la tecnología basada en aparatos y energía convencional. Además, considera que las calles deberían de ser angostas para crear corriente y proyectar sombras sobre las calles.

Vegetación.

Las áreas verdes tienen una gran influencia en el clima urbano pues tienen ciertas propiedades que difieren de las superficies sin plantas o pavimentadas (Givoni, 1989):

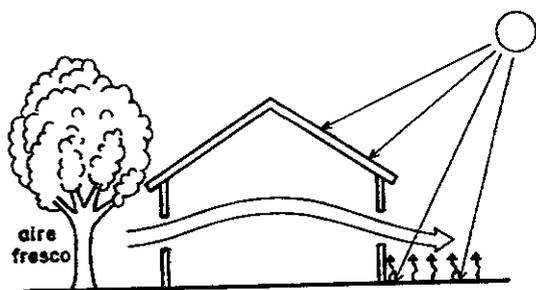
- el agua de la lluvia es absorbida por el suelo, después se evapora del suelo y a través de las hojas de las plantas, por lo que la evapotranspiración es mayor en las áreas verdes que en las pavimentadas,
- las hojas de las plantas pueden filtrar el polvo y los contaminantes el aire, y las plantas reducen la velocidad del viento cerca del suelo.
- la radiación solar es absorbida principalmente por las hojas, por lo que el albedo es muy pequeño,
- las plantas tienen una capacidad calorífica y una conductividad térmica menor que los materiales de los edificios y de las superficies pavimentadas.

Los espacios abiertos con áreas verdes, en las zonas urbanas, benefician el medio y la calidad de vida de las ciudades. Por un lado, influyen en el clima, absorben el ruido del tráfico y de las diferentes actividades humanas, reducen la cantidad de polvo y los contaminantes del aire; además, también tienen ciertas funciones sociales y psicológicas, sirven como áreas de juego para niños, áreas deportivas y de recreo para los jóvenes y adultos, zonas de encuentro que permiten establecer un contacto social o bien, de aislamiento para escapar de las tensiones de la vida urbana, ofrecen un paisaje estético que proporciona un sentimiento de gozo; aunque, cabe señalar que también pueden ser refugio de maleantes. Por otro lado, tienen ciertas funciones ecológicas, pues al retener el agua de la lluvia pueden prevenir a ciertas zonas de inundarse, protegen la flora y la fauna.

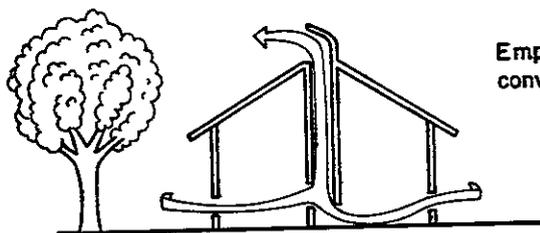
4.3.2.3 Control bioclimático en las construcciones en La Paz.

En la Figura 20, se puede apreciar la relación que hay entre las condiciones de comodidad o malestar en La Paz, para diferentes horas del día (6, 14 y 22 horas), y las medidas que se pueden tomar en cuenta en los edificios para obtener cierto grado de confort.

Las condiciones de comodidad en La Paz, o sea cuando no se requiere de enfriamiento ni de calentamiento, se encuentran durante el mediodía, desde noviembre hasta marzo; durante la noche, en mayo, junio y parte de octubre; y durante la madrugada, en parte de junio. En los otros meses y horas, las construcciones necesitan ser diseñadas para



Circulación inducida por la diferencia de temperaturas.



Empleo de la convección térmica.

Aprovechamiento de los vientos moderados.

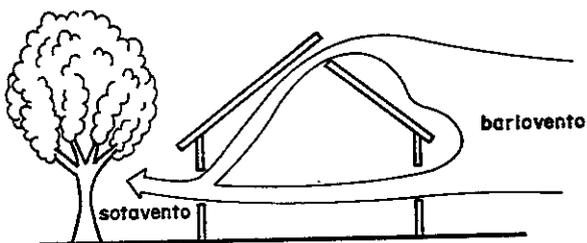
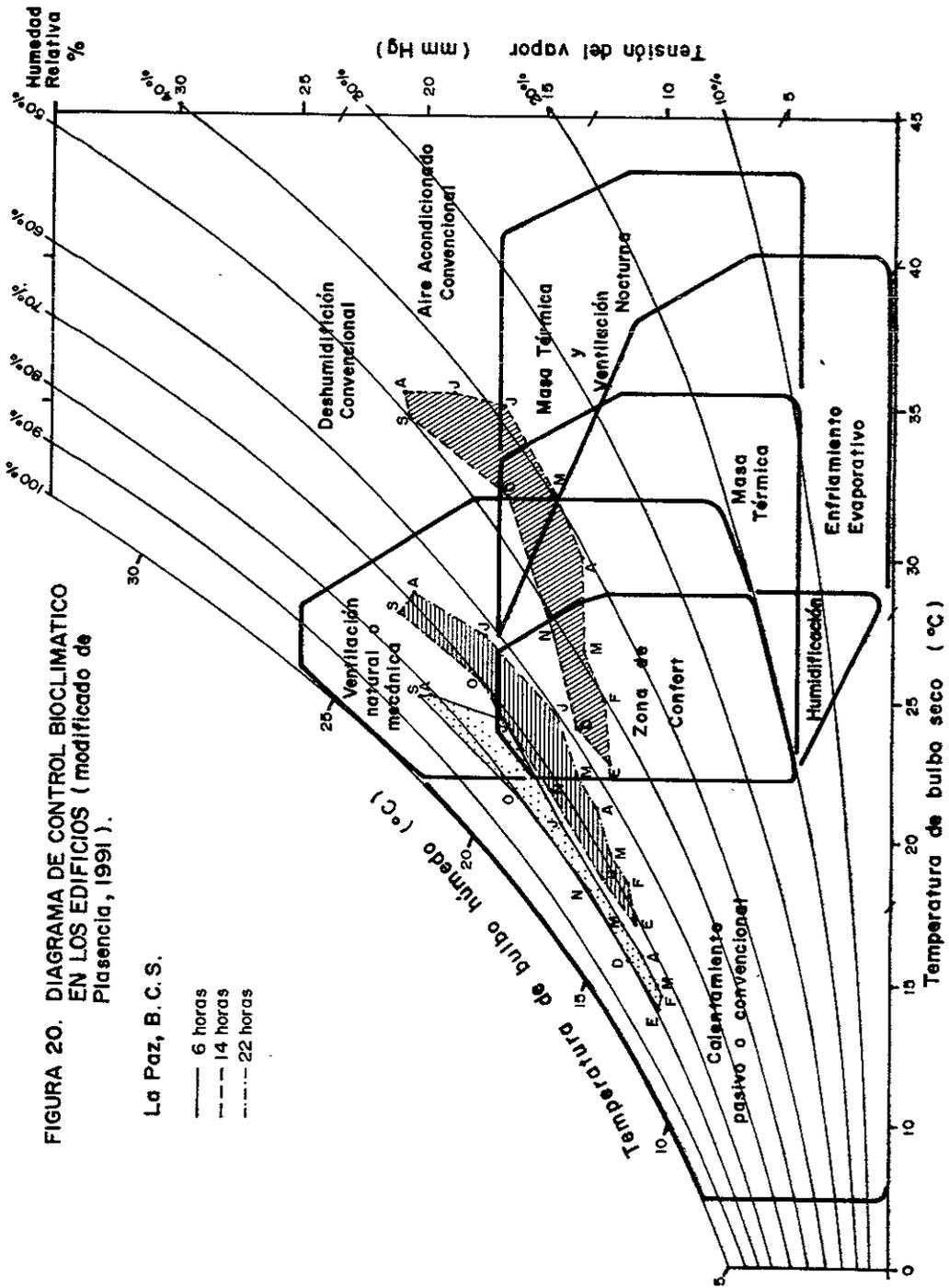


FIGURA 19. GENERACION DE CORRIENTES DE AIRE (modificado de Sánchez, 1988).

FIGURA 20. DIAGRAMA DE CONTROL BIOLIMATICO EN LOS EDIFICIOS (modificado de Plasencia, 1991).

La Paz, B. C. S.

- 6 horas
- - - 14 horas
- · · 22 horas



evitar las ganancias de calor y favorecer el enfriamiento, en el verano; o, bien, favorecer un calentamiento pasivo en el invierno.

Enfriamiento bioclimático:

Durante el mediodía, en las construcciones de La Paz, se requiere de un enfriamiento bioclimático desde el mes de abril hasta octubre. Este se puede lograr mediante la ventilación natural o mecánica, el enfriamiento evaporativo, la masa térmica de baja conductividad y aislantes térmicos, en los meses menos calurosos y más secos de dicho período; y con la masa térmica de baja conductividad y aire condicionado en los meses más cálidos, julio, agosto y septiembre.

Durante la noche y la madrugada, se requiere de enfriamiento en solamente tres meses, julio, agosto y septiembre, y éste se puede obtener por medio de la ventilación natural o mecánica.

Calentamiento pasivo:

El calentamiento pasivo se requiere durante la noche, desde el mes de noviembre hasta abril; y en la madrugada, de octubre a junio. Este calentamiento se puede obtener favoreciendo la entrada de la radiación solar durante el invierno, evitando las pérdidas por frío a través de masa térmica de baja conductividad, aislantes térmicos.

4.3.3 Efectos de una sobrecarga de calor urbano en la morbilidad y la mortalidad.

El efecto del calor producido por las ciudades en la salud y la mortalidad de las personas requiere de un análisis complejo porque, por un lado, la población urbana goza de una mejor atención a la salud que la población rural; pero, por el otro lado, en las zonas y estaciones calurosas la gente de la ciudad está expuesta a una sobrecarga más alta de calor. Estos dos factores pueden tener un efecto opuesto en la mortalidad (Givoni, 1989).

Weihe (1984), hace un resumen de numerosas investigaciones que se han llevado a cabo sobre el efecto de la sobrecarga de calor en la morbilidad y la mortalidad. Algunos resultados se describen a continuación:

Isla urbana de mortalidad.

De la misma manera que los meteorólogos llaman isla de calor a la zona de máxima temperatura en el centro de las ciudades, Wiehe (1984) señala que Buechley y otros (1972) introdujeron el término de "isla urbana de mortalidad", refiriéndose a la relación directa que existe entre el aumento de la temperatura y el incremento de muertes que se presentan por encima del promedio. Esos autores mencionan que se empieza a observar un aumento de la mortalidad por encima de la media, cuando se registran temperaturas diarias de 33°C.

Predisposición.

Wiehe (1984) señala que las personas con una mayor predisposición a enfermar o morir cuando se presenta una onda de calor son, por lo general, los niños muy pequeños y los individuos que tienen más de 65 años, los que perciben bajos ingresos, viven en hacinamiento o en viviendas en malas condiciones, así como los discapacitados y las

personas que ya tienen algún padecimiento como la hipertensión, la arteriosclerosis, los problemas cardiovasculares o de tipo circulatorio, la diabetes o enfermedades respiratorias crónicas.

Tolerancia.

Este mismo autor menciona que se ha encontrado que la tolerancia al calor depende del número de horas de exposición durante el ciclo diurno. Para recuperarse del estrés térmico después de un día caluroso, se necesita del mismo número de horas frescas en la noche para gozar de un sueño tranquilo. El equilibrio del ciclo diario actividad-fatiga-recuperación se perturba cuando la recuperación de la fatiga está obstaculizada por el calor durante el sueño fisiológico nocturno. La variación diurna entre horas de calor y frescura durante el ciclo actividad-fatiga-recuperación es de gran importancia para la resistencia de los individuos que padecen enfermedades cardiovasculares o agotamiento. Cuando ese equilibrio se trastorna durante uno o dos días al presentarse una onda de calor, se produce un aumento en la mortalidad por encima de lo normal.

Las noches en La Paz son por lo general confortables, pero durante los meses de verano la temperatura es alta no sólo en el día sino también en la noche; de ahí que se presenten condiciones de bochorno dentro de las casas que impiden tener un sueño sosegado, a menos de que la vivienda cuente con ventilador o aire acondicionado. En esa época del año, algunas personas acostumbra a dormir en los patios, lo que favorece un mejor descanso; pero, cabe señalar que dicha costumbre se está perdiendo debido a que la inseguridad en la ciudad ha aumentado.

Aclimatación y Edad.

Las muertes causadas por el calor son menos numerosas en las personas nativas, pues están más aclimatadas. Wiehe (1984), sin embargo, señala que se ha notado que la mortalidad relacionada al calor durante los primeros años de vida es un reflejo más bien del cuidado de la salud y la situación socioeconómica que de la adaptación del individuo. En lo que se refiere a la población adulta, en ninguna parte del mundo se ha visto que las diferencias étnicas tengan que ver con la tolerancia al estrés climático. En casos donde aparecieron diferencias notables, un análisis detallado reveló que el estado de adaptación y el comportamiento de las personas desempeñó un papel decisivo para aliviar o agravar los efectos climáticos. Por ejemplo, las diferencias entre los recién llegados o inmigrantes desaparecen a medida que aumenta la adaptación y que se aprende a hacer frente al nuevo clima. Las diferencias entre distintos grupos étnicos en las ciudades, se refieren por lo general al espacio vital disponible, la alimentación, la profesión, el comportamiento y el nivel educativo. Este último es un factor muy importante porque ayuda a las personas a comportarse de una manera adecuada frente a las condiciones climatológicas.

Distribución.

Los casos de muerte causada por el calor no se distribuyen generalmente al azar dentro de la ciudad, sino que, más bien se presentan en zonas donde hay hacinamiento y las viviendas están en malas condiciones. Además, existen algunas variaciones intraurbanas, por ejemplo las muertes producidas por el calor son menores en zonas que tienen jardín y plantas, y más altas en edificios sin espacios verdes.

Otras causas de enfermedad y muerte relacionadas con el tiempo atmosférico.

Wiehe (1984) menciona que durante las ondas de calor se ha visto que se produce un aumento en la tasa de mortalidad por homicidio, suicidio, así como por enfrentamientos con la policía en las calles.

Además, señala que otra causa de enfermedad y muerte en las ciudades se presenta cuando la ventilación es insuficiente y la atmósfera contaminada por el polvo, las sustancias volátiles y tóxicas de materiales de construcción, vehículos de motor y emanaciones industriales, puede fomentar la incidencia de neoplasias malignas, enfermedades alérgicas y respiratorias. Las infecciones del aparato intestinal se ven indirectamente inducidas por las altas temperaturas de los climas tropicales, que favorecen el desarrollo de parásitos como las amibas y las bacterias gastrointestinales. La reproducción y la vida de algunos artrópodos dependen del clima, tal es el caso del mosquito *Aedes* que se da en el interior de las casas, estanques y pequeños charcos de la ciudad de La Paz en la época de lluvias, y que transmite el dengue.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones.

5.1.1 Climatología de La Paz.

El área de estudio se localiza en la zona subtropical de alta presión que favorece la subsidencia y el calentamiento adiabático del aire, mismos que originan un clima cálido y seco. Sin embargo, a lo largo del año se presentan en La Paz diferentes mecanismos atmosféricos que modifican las condiciones generales. Durante el verano y parte del otoño, cuando la zona intertropical de convergencia se desplaza hacia el norte y con ella la zona subtropical de altas presiones, La Paz queda bajo la influencia de los vientos alisios que soplan con una componente del este, desde el anticiclón de Bermudas-Azores; además, tienen lugar las surgencias de humedad, el monzón y los ciclones tropicales que ocasionan la afluencia de humedad y la formación de nubes inestables, que pueden generar intensas lluvias en la región. En invierno y primavera, cuando la zona intertropical de convergencia se encuentra en su parte más austral, en La Paz soplan los vientos predominantes del oeste que provienen del anticiclón del Pacífico septentrional. En algunas ocasiones, los frentes fríos alcanzan a llegar a esta zona y junto con la corriente de chorro que trae humedad del océano Pacífico, pueden provocar las lluvias invernales (equipatas).

La situación geográfica de la ciudad de La Paz favorece, de marzo a octubre, el establecimiento de las brisas de mar y tierra. Durante el mediodía se presente la brisa de mar que sopla con una componente del noroeste hacia la ciudad; pero, en la tarde se establece la brisa de tierra (Coromuel) que refresca la ciudad en las tardes y noches de verano. Este terral sopla con una componente del sur.

Por la latitud a la que se encuentra La Paz y por las condiciones meteorológicas que imperan en la región, como es el alto porcentaje de días despejados, la ciudad recibe, de abril a julio, una cantidad muy elevada de radiación solar; que aunada a otros factores, favorecen las altas temperaturas que se establecen desde fines de primavera hasta principios de otoño. En ocasiones se presentan, durante varios días, ondas de calor con temperaturas por encima de los 40° C, sobre todo en los meses de junio, julio y agosto, que empeoran las condiciones de confort en la ciudad.

Las inversiones térmicas que tienen lugar en La Paz en las madrugadas, originan ciertos fenómenos como la bruma que reducen la visibilidad de la ciudad. Pero, una vez que en la mañana el aire se calienta y la inversión se rompe, la visibilidad aumenta considerablemente.

Como la zona de estudio se encuentra en la franja de los grandes desiertos del mundo, el poder evaporante de la atmósfera es muy alto, sobre todo, durante los meses de mayo, junio y julio cuando la radiación solar y la temperatura son muy altas y el aire muy seco. La evaporación local no constituye la principal fuente de condensación y precipitación, sino más bien, la afluencia de aire húmedo del Pacífico, durante el verano e invierno, es la que contribuye a la precipitación.

Aún cuando la precipitación en la región es muy variable, el régimen de lluvias tiene un patrón muy definido. El porcentaje más alto de precipitación se recibe en el verano, con un 64% de la lluvia anual; mientras que en el invierno se recibe solamente el 21% del total y en la primavera tiene lugar el estiaje. En La Paz llueve muy pocos días al año y, principalmente, lo hace con una intensidad menor de 5 mm de lluvia en 24 horas. El aporte más alto que se tiene de precipitación es de intensidades de 10 a 20 mm de lluvia en 24 horas. Las lluvias de verano que son de origen convectivo y ciclónico, caen con mayor

intensidad que las de invierno que son de origen frontal. Pero su duración es más corta, lo que provoca fuertes escurrimientos en la ciudad que pueden llegar a inundar algunas zonas bajas o, bien, las crecidas de los arroyos pueden afectar las construcciones asentadas irregularmente en sus cauces.

La Paz, al igual que el estado de Baja California Sur, se encuentra en una zona de muy alto riesgo ciclónico. La probabilidad anual de que un ciclón tropical entre a tierra en algún lugar del estado es de 0.64, y la probabilidad de que el centro del ciclón tropical pase a 270 kilómetros de la ciudad es de 1.1 al año.

Existen algunos estudios que han relacionado el fenómeno oceánico-atmosférico "El Niño-Oscilación del Sur" (ENSO) con la precipitación y los ciclones tropicales para esta región del país. Aunque, en algunos de ellos existe una baja correlación entre el ENSO y los escurrimientos y los ciclones tropicales, se concluye en general que cuando se presenta el evento cálido de "El Niño" llueve más en estado de Baja California Sur, así como en el noroeste del país.

5.1.2 Crecimiento de la ciudad de La Paz.

El crecimiento de la población en La Paz, durante la primera mitad de este siglo, fue bajo; pero, a partir de 1950 comenzó a aumentar, y desde 1970 a la fecha, éste ha sido muy alto. Durante ese último período, se han triplicado el número de habitantes de la ciudad, el área de la misma y el número de vehículos; mientras que el número de viviendas se ha quintuplicado. Asimismo, en cuanto a la retícula vial de la ciudad, aproximadamente la mitad se encuentra pavimentada.

Debido a ciertos riesgos hidrometeorológicos, originados principalmente por los ciclones tropicales, en La Paz existen algunas zonas de riesgo, como son los asentamientos localizados cerca de los cauces de los arroyos y en algunas partes bajas de la ciudad, pues cuando se presentan fuertes lluvias, pueden haber intensas avenidas e inundaciones. Además, existen algunas otras zonas como la franja costera que son vulnerables a la marea de tormenta y el oleaje.

5.1.3 Efectos de la ciudad en el clima y en las personas.

El crecimiento de la población y de la ciudad de La Paz ha generado un cambio radical en el paisaje natural, pues la transformación en el uso del suelo y las actividades propias de la ciudad modifican el medio físico y particularmente la atmósfera local.

5.1.3.1 Contaminación.

La contaminación del aire es una de las principales modificaciones que tiene lugar en el medio ambiente de las ciudades. Tiene varios efectos, altera la composición química del aire, modifica el balance energético y también reduce la visibilidad.

En La Paz existen varias fuentes de contaminación, una de las principales la constituye el transporte, pues los automóviles que transitan por la ciudad levantan polvo y emiten gases y sustancias tóxicas que pueden afectar la salud de las personas. La Planta termoeléctrica de Punta Prieta contribuye también como factor contaminante, sobre todo cuando el viento sopla del noroeste y transporta las sustancias hacia la ciudad. Además, se encuentran el Relleno Sanitario que, cuando se incineran los desechos, contamina el aire de La Paz, produce mal olor y reduce la visibilidad; y la Planta de Tratamiento de Aguas

Residuales que expide mal olor y contamina el suroeste de la ciudad cuando el viento sopla del sur.

En cuanto a los vientos se refiere, hubiera sido recomendable evitar que las fuentes de contaminación como la Planta Termoeléctrica y la de Tratamiento de Aguas Residuales estuvieran ubicadas hacia el noroeste y suroeste de la ciudad, respectivamente. Actualmente, resulta difícil modificar las condiciones ya existentes en La Paz con respecto a la ubicación de estas fuentes emisoras de contaminantes, pues este tipo de decisiones se deben de tomar en cuenta en las primeras etapas del trazado urbano. Pero, al parecer, fueron otro tipo de factores los que influyeron en la ubicación de dichas plantas. Por un lado, por requerir agua para el apropiado funcionamiento, la Planta Termoeléctrica se construyó junto al mar; y por el otro lado, por la pendiente que tiene la ciudad hacia el mar, la Planta de Aguas Residuales se construyó también en la costa.

5.1.3.2 Isla de calor.

Este es el efecto urbano más estudiado en el clima de las ciudades, mismo que se produce tanto en ciudades grandes como en las pequeñas, ya que las superficies pavimentadas, los techos y paredes en las ciudades almacenan durante el día parte del calor recibido, y después, al atardecer lo irradian a su entorno por lo que la ciudad se enfría más lentamente que el campo.

Para conocer el comportamiento térmico de La Paz, se hicieron una serie de recorridos por la ciudad para medir, a diferentes horas del día, la temperatura ambiente. Los resultados muestran que, durante la madrugada y la noche, la temperatura del centro de la ciudad fue mayor que en los alrededores; y por el contrario, a mediodía, el centro de la ciudad presentó una temperatura menor que las afueras.

También se analizaron en La Paz, las tendencias de la temperatura a lo largo de 47 años y se compararon las temperaturas medias de La Paz con algunas estaciones rurales. En general, se observó que la tendencia de la temperatura en la ciudad ha ido en aumento y que, además, la temperatura de ésta es más alta que en las estaciones rurales.

5.1.4 Bioclimatología.

Landsberg (1984) considera que los problemas de los climas y estaciones cálidas son más difíciles de superar que los retos que implica un clima frío. Aún cuando, los seres humanos son producto de los trópicos, en ocasiones existen condiciones atmosféricas severas, que no pueden fisiológicamente sobrellevar. Bajo condiciones al aire libre, existe una mejor defensa artificial en contra del frío que del calor. Existe cierta protección contra la intensa radiación solar de onda corta y de la radiación difusa mediante la reflexión de la ropa o la sombra de las sombrillas, pero es muy poco lo que nos puede proteger de las altas temperaturas o, peor aún, de la combinación de una alta temperatura y humedad.

5.1.4.1 Bioclimatología urbana.

La bioclimatología en las ciudades estudia el clima urbano y su relación con el confort y la salud de las personas. La Paz, como se vio anteriormente, está sujeta durante una parte del año a condiciones extremas de radiación solar y alta temperatura; y durante algunos meses también de humedad, mismas que pueden causar serios efectos en el bienestar de sus habitantes.

Tomando en cuenta las condiciones climáticas que imperan en La Paz, y según la distribución de la temperatura efectiva en esta ciudad, el periodo de incomodidad ocasionado por el calor dura alrededor de 6 meses, comienza en mayo y termina en octubre. Durante ese tiempo, se sobrepasa fácilmente el límite de las temperaturas diurnas y nocturnas que son tolerables, por eso, se pueden ver más fácilmente afectados los habitantes que padezcan alguna enfermedad o las personas que se expongan al Sol y/o que realicen un trabajo físico pesado, coman o hagan ejercicio con exceso, lleven demasiada ropa, se encuentren en número excesivo en locales y vehículos encerrados y sin elementos que les proporcionen cierto enfriamiento.

Además, un factor que aumenta esa carga de calor, lo constituye el fenómeno de la isla de calor en las ciudades, razón por la cual, durante el verano, se puede acentuar la incomodidad en La Paz.

5.2 Recomendaciones.

Para mitigar ciertos efectos negativos, como son la fuerte radiación solar y las altas temperaturas de La Paz, a continuación se dan algunas recomendaciones y estrategias para que las personas alcancen un mayor grado de comodidad en las construcciones y en la ciudad en general.

5.2.1 Protección contra la radiación solar.

La incidencia de radiación solar en la ciudad de La Paz, como se ha visto anteriormente, es muy alta. De ahí que sea conveniente eludir la exposición directa al Sol y la intensa iluminación, de ser posible, evitar salir a la calle a la hora en que la radiación es más fuerte. Las personas que viven en La Paz, generalmente tienen la costumbre de recluirse a esa hora y también tomar una siesta, que ayuda a recuperarse del estrés térmico. Además, se recomienda el uso de lentes oscuros para proteger a los ojos de la nociva radiación solar; es importante tener precaución de que los anteojos tengan protección contra los rayos ultravioleta, pues de lo contrario al usar un lente oscuro, la pupila se dilata por la sombra que éste le proporciona y penetra una mayor cantidad de radiación dentro del ojo, ocasionando un mayor daño.

Para prevenir las quemaduras y el cáncer de la piel, también es recomendable el uso de una crema protectora que la cuide de las radiaciones nocivas y, además, de la resequedad que le provoca el Sol y el ambiente tan seco de La Paz. Pero, la aplicación de una crema acentúa el calor en el cuerpo, pues disminuye las pérdidas evaporativas de calor.

El uso de sombrero y sombrilla es muy importante tanto en la ciudad como en el campo. En la playa, las personas deben tener mucho cuidado porque además de la radiación directa del Sol, existe una gran cantidad de radiación que es reflejada por la arena y la superficie del mar, y que contribuye a quemar la piel expuesta; de ahí que se recomienda el uso de sombrillas y precaución a las personas que estén dentro del agua de no sobreexponerse, sobre todo cuando el Sol esté muy alto sobre el horizonte, pues el albedo del mar es mayor.

5.2.2 Algunas medidas para evitar las complicaciones por una excesiva carga de calor.

Las respuestas fisiológicas de la termorregulación en un medio extremadamente cálido encierran, en algunas ocasiones, ciertos peligros. La sobrecarga de calor y la deshidratación causada por un exceso de transpiración puede originar ciertas complicaciones como son los calambres por calor, la extenuación o el golpe de calor, que pueden ser fatales sino se toman medidas drásticas para bajar la temperatura y recuperar la pérdida de líquidos y sales.

Como la deshidratación está íntimamente relacionada con la ingestión de líquidos, se recomienda tomar mucha agua en los climas cálidos y secos como el de La Paz. Esta medida se debe reforzar en los meses de verano y cuando se realiza alguna actividad física intensa, sobre todo si ésta es a la intemperie y al rayo del Sol. También se debe tener extremo cuidado con los lugares poco ventilados, así como cuando se ha perdido agua por diarrea o vómito, provocados por alguna otra enfermedad.

Como el estrés producido por el calor puede originar una fatiga crónica en las personas, una reducción en la productividad y el deterioro de la salud pública. Este se puede prevenir mediante un comportamiento adecuado, es importante el reposo y tratar de dormir en un lugar más fresco o ventilado, para recuperarse del estrés térmico después de un día caluroso.

Se recomienda, las veces que sea necesario, darse baños de agua fresca, o ponerse un paño mojado sobre el cuerpo; así como también el uso de abanicos de mano que, aunque están cada vez más en desuso, favorecen el confort. Es importante, a su vez, tener una alimentación bien balanceada y en la que no falte la sal.

Por otra parte, la ropa juega un papel importante para proteger al cuerpo de la radiación solar y, por su propiedad aislante, de una excesiva ganancia de calor. Al respecto, en el capítulo anterior (Tabla 12), ya se señalaron algunas recomendaciones. Pero, en general, se sugiere el uso de colores claros, con material que tenga una trama cerrada y gruesa, así como la ropa holgada.

Asimismo, se recomienda el uso de la tabla de distribución de la temperatura efectiva en La Paz a lo largo del día y del año (Tabla 15), tanto por parte de la ciudadanía en general como por parte del Sector Salud, para que se tomen ciertas medidas de prevención que ayuden a mitigar la carga de calor y sus efectos en las personas.

Y se propone que se hagan los cálculos de esta temperatura efectiva de manera horaria y que se reporten diariamente, durante el verano, en el boletín meteorológico del Observatorio de La Paz, para que la ciudadanía esté enterada de la situación, y las medidas que tome el Sector Salud sean más eficientes.

5.2.3 Medidas de planificación en las construcciones.

El objetivo del diseño urbano en zonas con veranos cálidos e inviernos confortables como los de La Paz es el de disminuir, lo más posible, la temperatura en las construcciones y en la ciudad.

Se recomienda el uso de diagramas de control bioclimático (Figura 20), en donde se vacían los datos de temperatura y humedad de una localidad con el fin de conocer los

periodos de incomodidad y las medidas que se pueden tomar en cuenta en los edificios para obtener un mayor confort.

En el capítulo anterior, se dieron algunas recomendaciones para evitar al máximo las ganancias de calor en las construcciones, a continuación se dan algunas otras sugerencias.

5.2.3.1 Control del asoleamiento, color y materiales de construcción.

Como la radiación solar es uno de los factores que más influye en el confort térmico, es importante tomar en cuenta la orientación, el color, el material y el aislamiento de las construcciones. La Paz se localiza casi en el Trópico de Cáncer, por lo que el Sol se encuentra muy alto sobre el horizonte en el verano cuando los días son más largos, además éste tiene un desplazamiento aparente de oriente a poniente, con una inclinación siempre hacia el sur. Es recomendable, por lo tanto, que las edificaciones tengan una orientación norte-sur. Además, si el terreno no lo permite, Arellano (1994) recomienda que las fachadas y las ventanas localizadas al oriente y poniente, deben de estar protegidas con aleros y partesoles para evitar la incidencia y la ganancia solar en las ventanas y espacios internos. Este autor, sugiere que el tamaño de las ventanas sea el mínimo, evitando colocarlas al este y oeste, y mínimas al sur, considera que éstas deben ser de 5 mm de espesor para disminuir la conducción de calor hacia el interior.

En el primer capítulo, se proporciona información referente a la altura y ángulos que tiene el Sol en La Paz, así como la duración del día y la insolación a lo largo del año, con el fin de que ésta sea útil en la orientación, el diseño y la construcción de las viviendas en esta ciudad.

Como se mencionó anteriormente, es conveniente pintar las construcciones de colores claros para que éstas absorban menos el calor. Por lo que se recomienda pintar las azoteas de color blanco y evitar el negro del chapopote que se usa para impermeabilizar, pues este color tiene un albedo muy pequeño.

En cuanto a los materiales, se recomiendan los de baja conductividad térmica como son las losas con relleno y los adobes; en relación a estos últimos, cabe mencionar que no son muy comunes en esta región pues las arcillas son escasas. También, es importante utilizar en los techos y muros sistemas aislantes integrados o de recubrimiento pues ayudan a disminuir la transmisión del calor (Arellano, 1994). Este autor considera que de acuerdo al clima de La Paz, es recomendable evitar que las cubiertas sobrecalienten los espacios internos, por lo que la altura mínima de éstas debe ser de 3 metros.

5.2.3.2 Ventilación.

Ventilación natural.

Como se mencionó anteriormente, La Paz se ve favorecida por las brisas de mar y tierra que se alternan durante el día. En el primer capítulo, se presentaron las rosas de los vientos para diferentes horas del día y a lo largo del año; éstas son de gran utilidad en la orientación de las construcciones y la ubicación de ventanas y puertas para que capten los vientos y haya una ventilación cruzada.

Los vientos que predominan en el verano (Figura 5), cuando se tiene la carga de calor más fuerte en las construcciones, soplan con una componente del sur desde la tarde hasta la mañana; y soplan del noroeste, durante algunas horas, a partir del mediodía. Aquí se presenta una contradicción con los requerimientos de control del asoleamiento, en donde se

recomienda evitar las ventanas al sur. Sin embargo, es en la tarde y la noche cuando se necesita ventilar las casas para que se pierda el calor acumulado en la construcción durante el día, de ahí que sea conveniente tener ventanas o puertas en dirección al sur, pero siempre que se encuentren protegidas con aleros, partesoles, árboles, enredaderas o pérgolas.

Farah (1994) recomienda que para obtener una vivienda cómoda hay que mantenerla cerrada durante el día para evitar las ganancias de calor y ventilarla durante la noche.

Ventilación artificial.

En el interior de las construcciones, se puede utilizar el aire acondicionado que disminuye la temperatura y la humedad, pero el costo energético que éste representa es muy alto y no puede ser solventado por la mayoría de las personas, además de que contribuye a un aumento en la carga térmica natural de la ciudad.

Por otro lado, el uso de aire acondicionado es necesario en las fábricas y las oficinas, donde el calor es tan intenso que reduce el rendimiento laboral. Pero con el inconveniente que señala Weihe (1984), en el sentido de que ese aumento en el rendimiento del trabajo será en perjuicio de la adaptación del calor, pues la resistencia de la personas será menor en el clima interior no controlado de su vivienda. De ahí que, se recomienden métodos convencionales más sencillos, como los ventiladores que reducen el calor y no obstaculizan la adaptación humana.

5.2.3.3 Vegetación.

El efecto de la isla de calor en La Paz, puede verse moderado por la evapotranspiración de las plantas, así como también mediante la dispersión de la energía solar por encima de las copas de los árboles, pero facilitando la libre circulación del aire por debajo de ellas. Las hojas de las plantas, debido al proceso de la evapotranspiración, son más frescas que las superficies de materiales en el medio urbano. Ellas refrescan, por medio de la convección, el aire que fluye a su alrededor. Como resultado se tiene, que la temperatura en áreas cubiertas por plantas, es más fresca que otras áreas de la ciudad con asfalto, concreto o arena. Los árboles también dan sombra a los peatones y a los vehículos estacionados.

En el segundo capítulo, se mencionó que La Paz es una ciudad en general arbolada, a excepción, tal vez, de las nuevas colonias y unidades habitacionales donde todavía no siembran plantas o en que apenas están creciendo. Es recomendable que, se siembren más plantas y árboles en las banquetas, las casas y los parques. Se pueden formar setos, enredaderas en los muros y construir pérgolas.

Es importante que se establezcan nuevos parques en otras colonias, no sólo con el fin de mejorar el medio ambiente y disminuir la carga de calor, sino también con el objeto de mejorar la calidad de vida de la ciudad.

Aunque, el agua es una limitante en todo el estado, esto se puede llevar a cabo tomando en cuenta especies de plantas que no requieran tanta agua. La S.A.R.H.¹³, recomienda, entre otras, las siguientes especies de arbustos y árboles nativos de la región para reforestar las zonas áridas, como la ciudad de La Paz: palo de arco (*Tecoma stans*), palo zorillo (*Cassia emarginata*), palo escopeta (*Albizzia occidentalis*), palo San Juan (*Forchammeria*

¹³ Comunicación personal del Ing. Jorge Alonso Ramírez (Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero -COTECOCA-, S.A.G.A.R., 1998).

watsonii), ciruelo (*Cyrtocarpa edulis*); además, existen otras plantas de ornato que por sus bajos requisitos de agua son recomendables: tabachín (*Delonix regia*), benjamina (*Ficus sp.*), almendro (*Prunus amygdalus*), tamarindo (*Tamarix indica*), naranja agria (*Citrus aurantium vulgare*), laurel en flor (*Nerium oleander*), palma real (*Washingtonia filifera*).

Por otro lado, debido a la alta incidencia de ciclones tropicales que presenta esta región y a los fuertes vientos que traen consigo, no se recomienda sembrar eucaliptos u otro tipo de árboles que se caigan con facilidad, pues pueden causar daños a las personas o a los bienes materiales.

Es importante tomar en cuenta el tipo de árboles, los caducifolios neoárticos tienen un efecto estacional, dan sombra en verano cuando se necesita y permiten el calentamiento solar en el invierno cuando más se requiere. Arellano (1994) señala que, para sombrear una vivienda y evitar la radiación directa, es conveniente sembrar árboles perenifolios frente a los muros y ventanas que tengan una orientación sur, este y oeste.

En cuanto a las fuentes de contaminación que hay en La Paz y que se han mencionado en varias ocasiones, es recomendable que se siembren árboles alrededor de ellas ya que las hojas tienen la cualidad de filtrar el polvo y los contaminantes que hay en el aire.

5.2.4 Otras recomendaciones:

* En La Paz se utilizó, hasta hace unas décadas, la energía eólica para extraer con sus famosos molinos de viento el agua de los pozos de la ciudad. Este tipo de energía junto con la solar, tienen un menor impacto en el medio ambiente que el uso de la energía convencional. Debido a la intensa radiación que hay en La Paz y al avance tecnológico que han tenido los sistemas de energía solar, se recomienda el uso de esta fuente de energía en la ciudad. Además de los sistemas pasivos, que ya se han mencionado en las estrategias del diseño bioclimático, se pueden utilizar algunos sistemas térmicos activos como son los colectores planos para el calentamiento de agua en las viviendas y el secado de materia orgánica (Robles Gil, 1997).

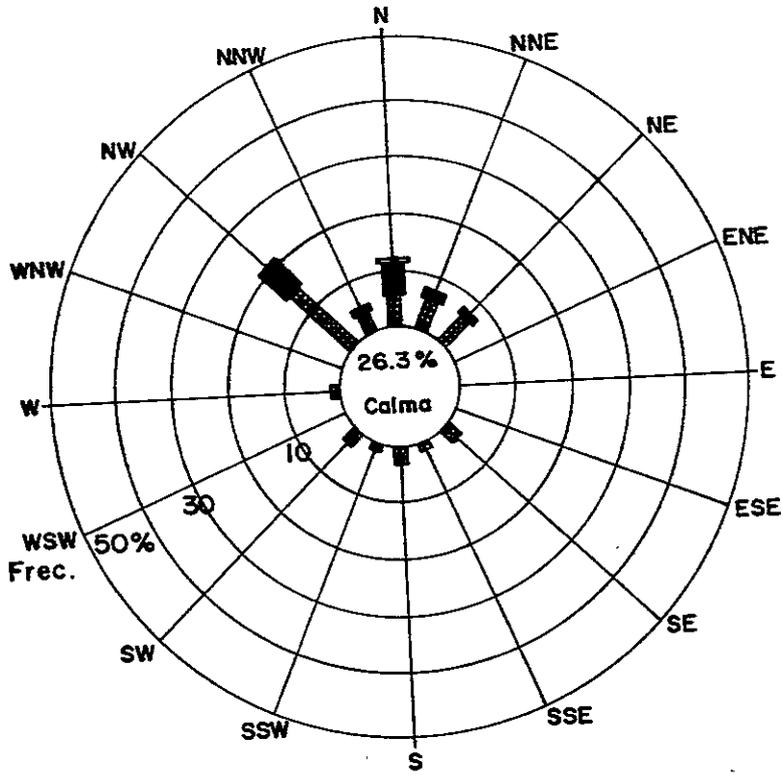
* En relación a las colonias que se encuentran ubicadas en zonas de alto riesgo por inundación, se sugiere reubicar a la población que habita ahí o, bien, construir obras de protección hidráulica; y sólo permitir la construcción de pistas o canchas deportivas. Asimismo, se recomienda que cuando se acerca un ciclón tropical, se mantenga informada a la población y, en mayor medida, a la que vive en las colonias susceptibles de daños, ya sea por inundación o, bien, porque la construcción de las viviendas sea endeble, con el fin de que se resguarden a tiempo en los centros destinados a ello.

* Para estimar un bioclima más realista en las zonas tropicales, Jáuregui (a) considera que se requiere de un mayor número de estudios en relación a las respuestas fisiológicas de aclimatación del ser humano al medio tropical.

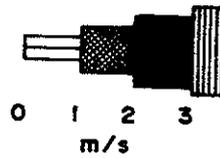
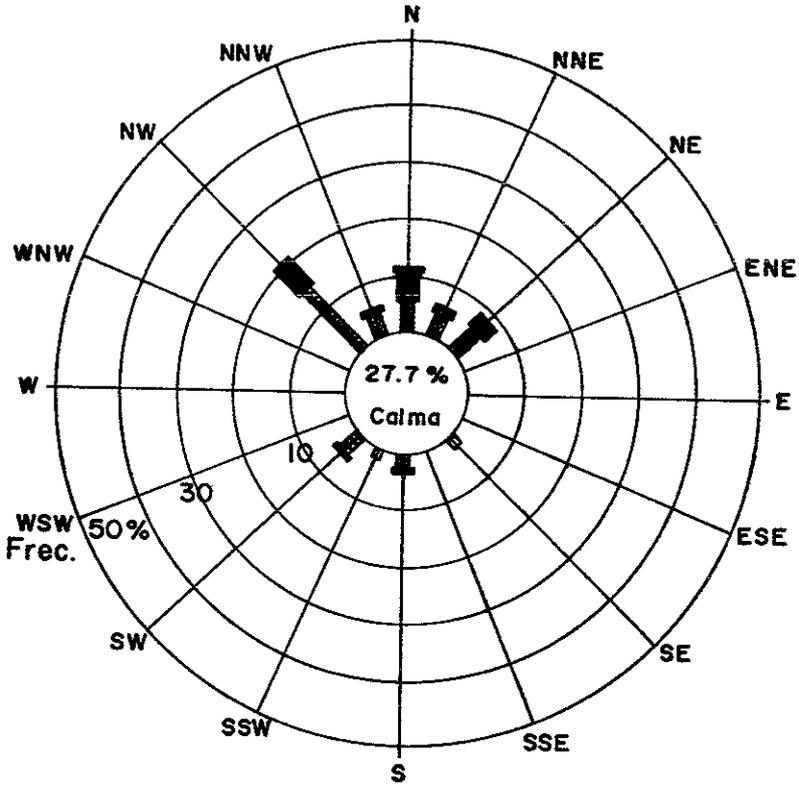
* La climatología no ha tenido un papel muy activo en la planeación de las diferentes actividades humanas, así como tampoco los planificadores han considerado al clima en dicha planeación. Se recomienda rectificar esta situación para que el proceso del desarrollo cumpla su objetivo y sea sustentable en un largo plazo de tiempo.

* Arellano (1994) señala que, es de suma importancia que las estrategias del diseño bioclimático se consideren en el "Reglamento de Construcción" de la ciudad de La Paz, pues promueven el confort climático de las construcciones con elementos implícitos en el mismo diseño y generan un menor consumo de energía convencional para la climatización.

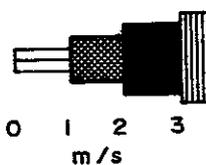
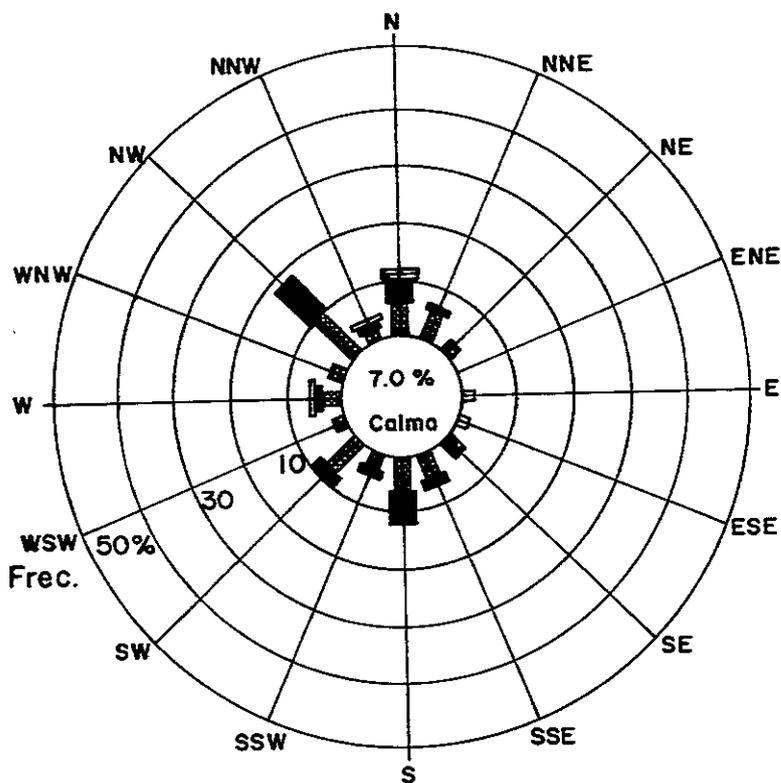
Por último, cabe señalar que mediante una planificación climática adecuada, la población puede obtener algunos beneficios como es la mejoría en el bienestar y la salud. Por otro lado, al reducir el consumo de energía eléctrica, hay una disminución en la combustión de fuentes de energía convencionales y se contribuye, de manera local, a tener un ambiente más limpio y, a nivel global, a evitar que se acentúe el calentamiento por efecto de invernadero.



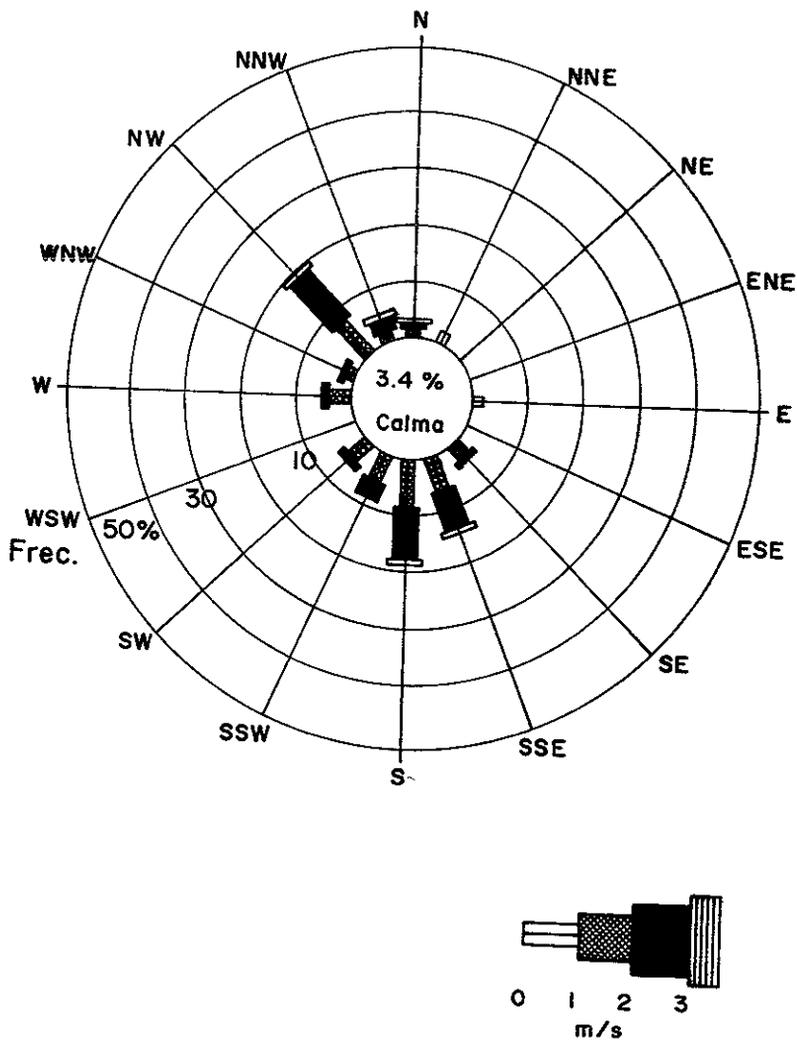
ANEXO. I. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
 LA PAZ , B.C.S.
 ENERO (1992 -1994)



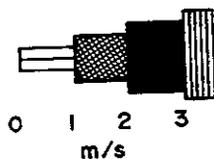
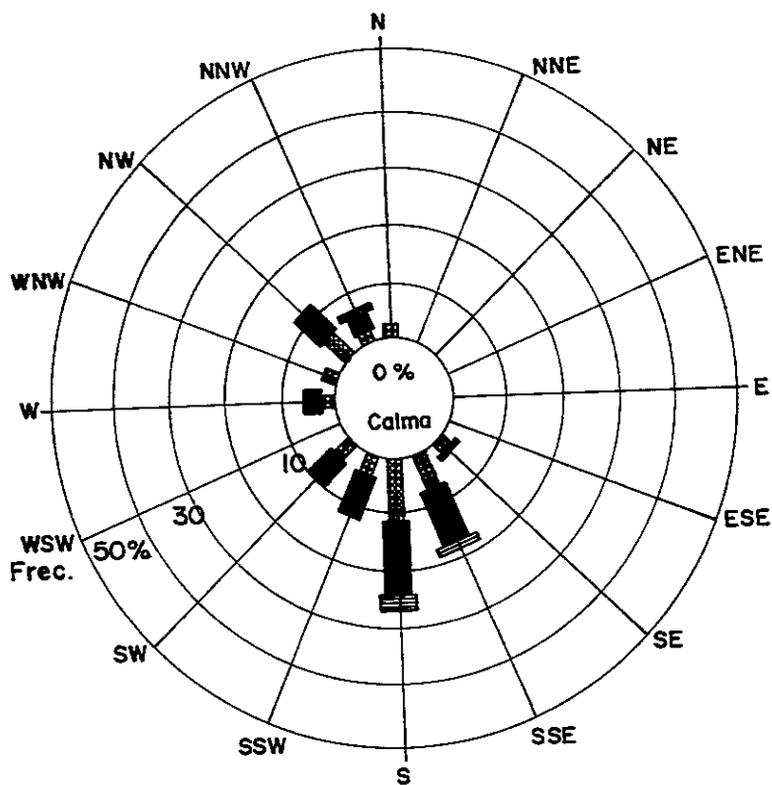
ANEXO. 2. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
 LA PAZ, B.C.S.
 FEBRERO (1992-1994)



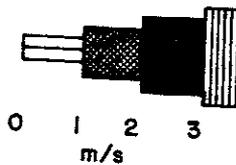
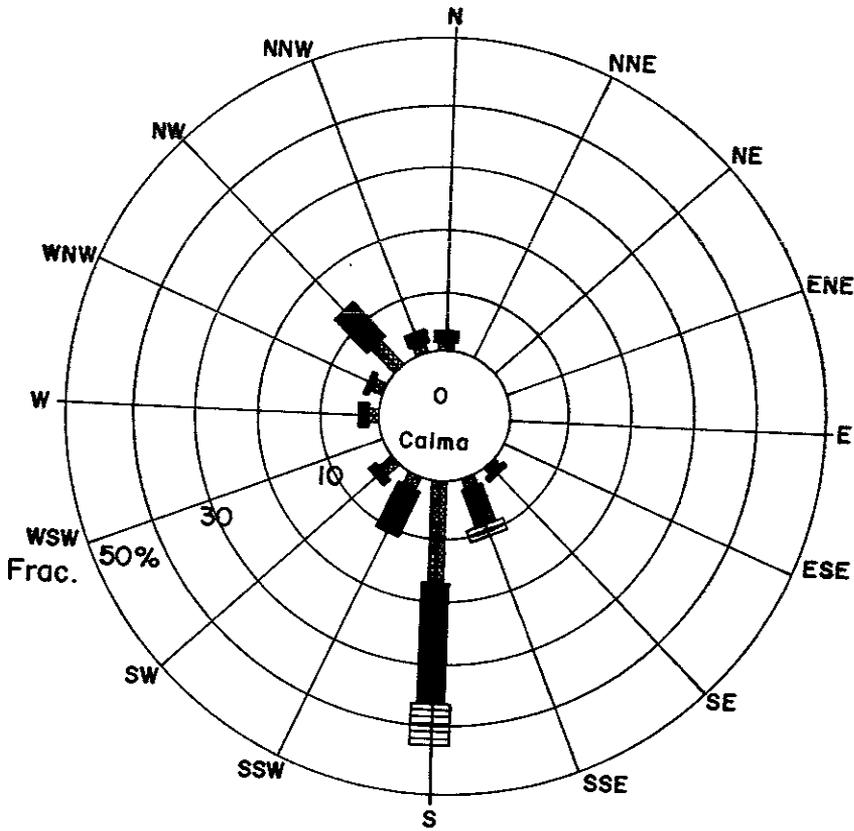
ANEXO. 3. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
LA PAZ, B.C.S.
MARZO (1992-1994)



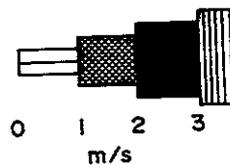
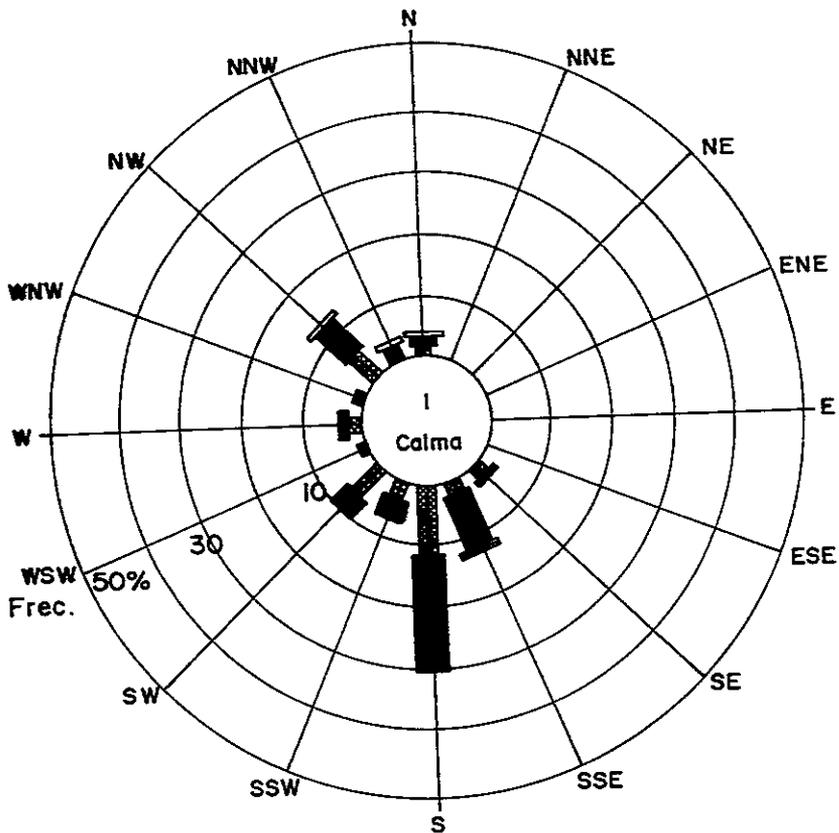
ANEXO. 4. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
 LA PAZ, B.C.S.
 ABRIL (1992 - 1993)



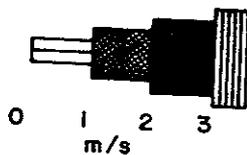
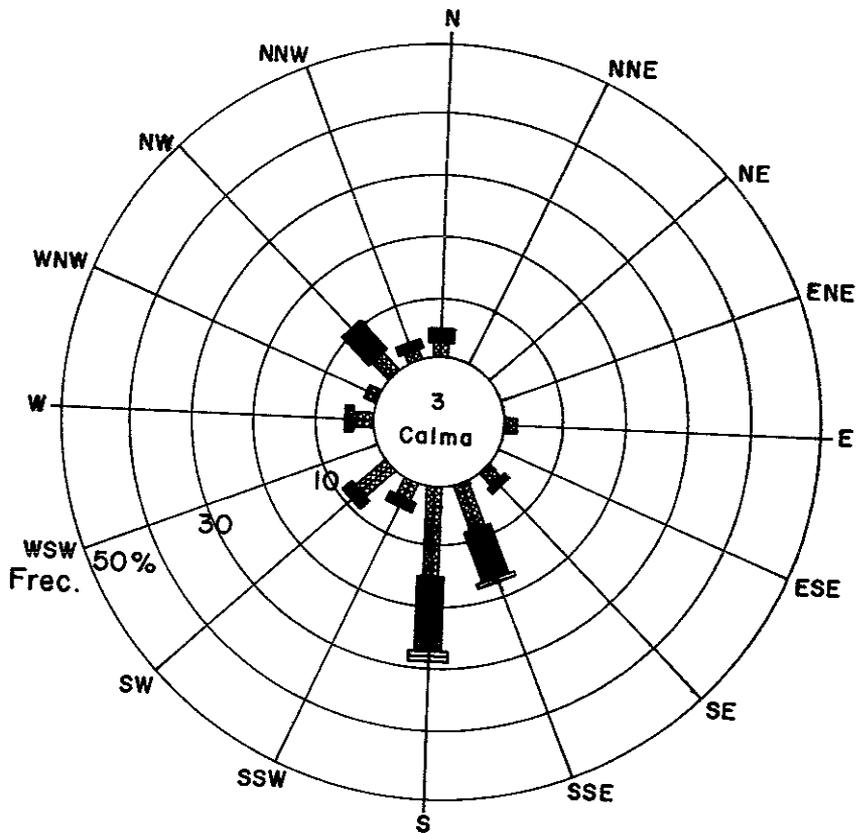
ANEXO. 5. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
LA PAZ, B. C. S.
MAYO (1992-1994)



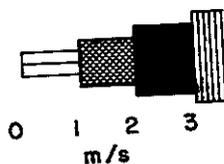
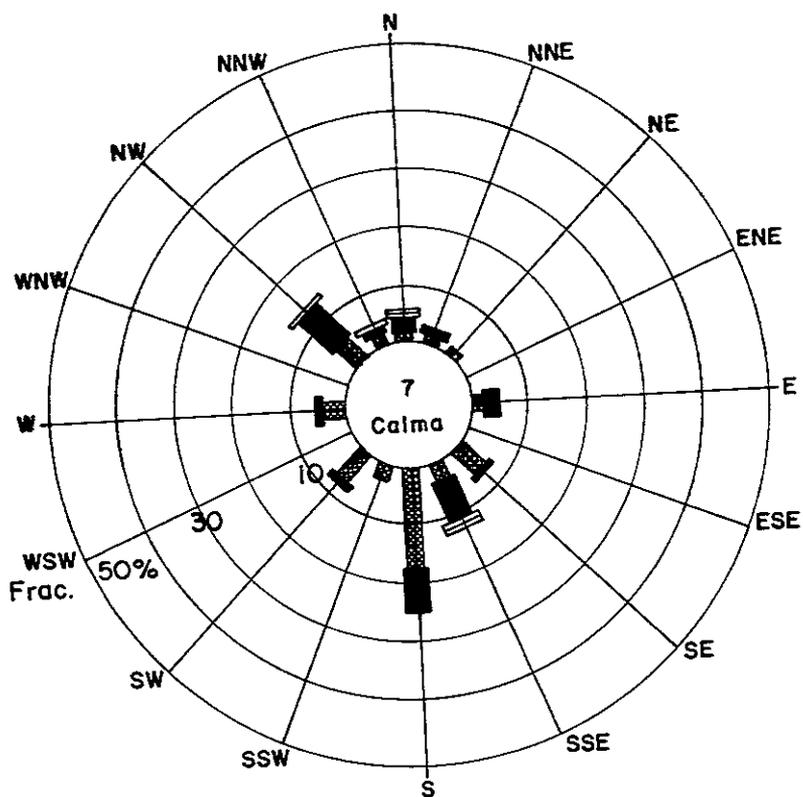
ANEXO.6. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
LA PAZ, B. C. S.
JUNIO (1992-1994)



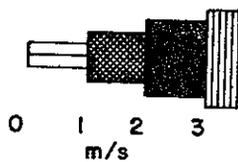
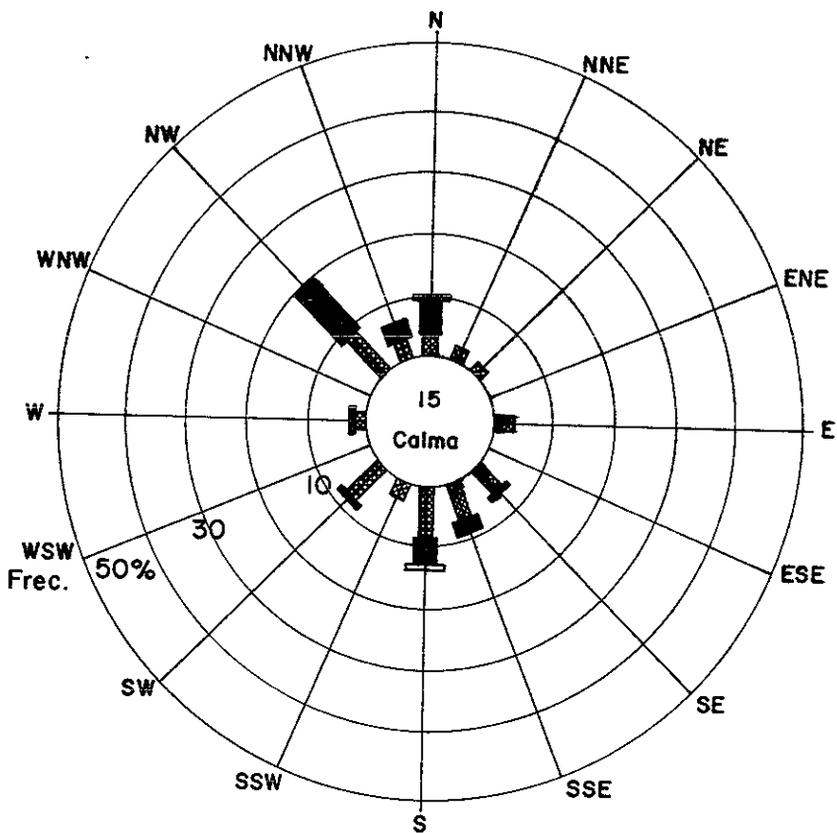
ANEXO.7. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
LA PAZ, B.C.S.
JULIO (1992-1994)



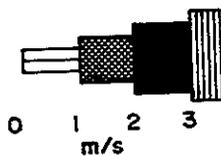
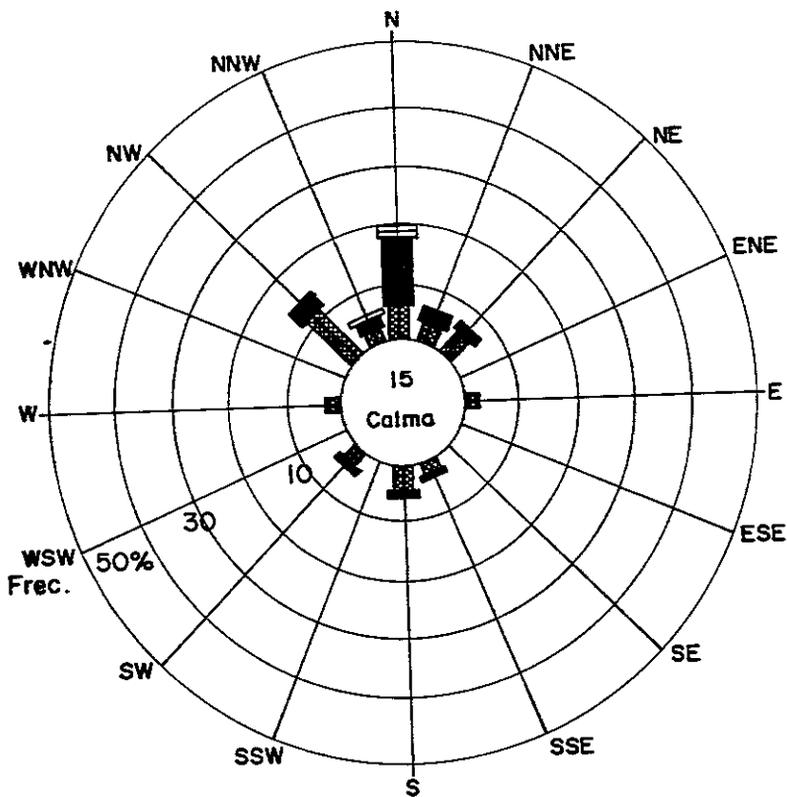
ANEXO. 8. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
LA PAZ, B.C.S.
AGOSTO (1992-1994)



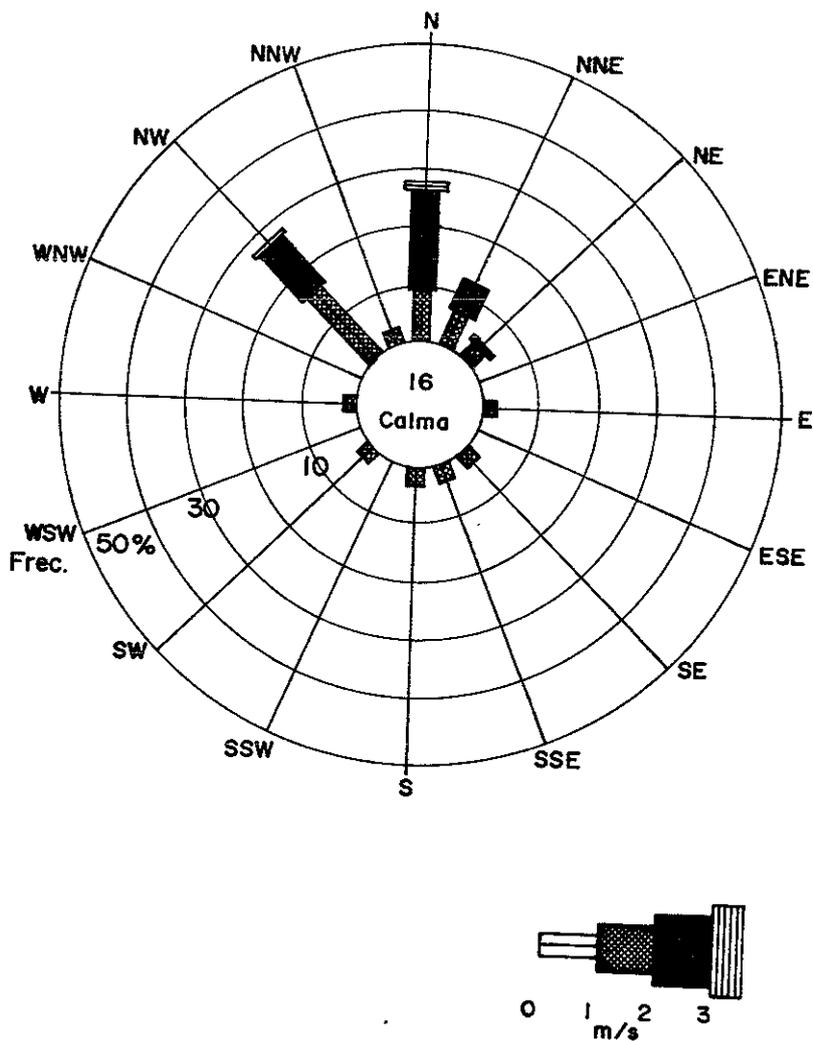
ANEXO. 9. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
LA PAZ, B. C. S.
SEPTIEMBRE (1992 - 1994)



ANEXO.IO. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
 LA PAZ, B.C.S.
 OCTUBRE (1992-1994)



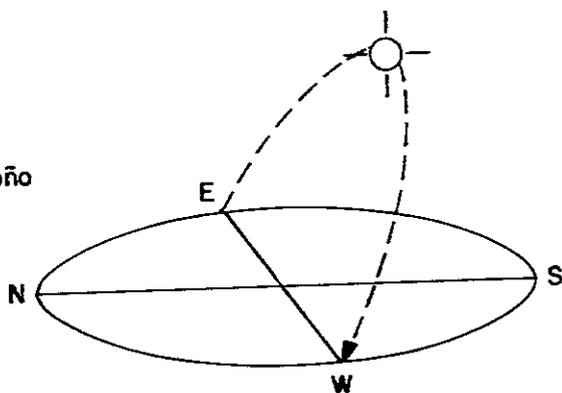
ANEXO. II. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL
VIENTO
LA PAZ, B.C.S.
NOVIEMBRE (1992-1994)



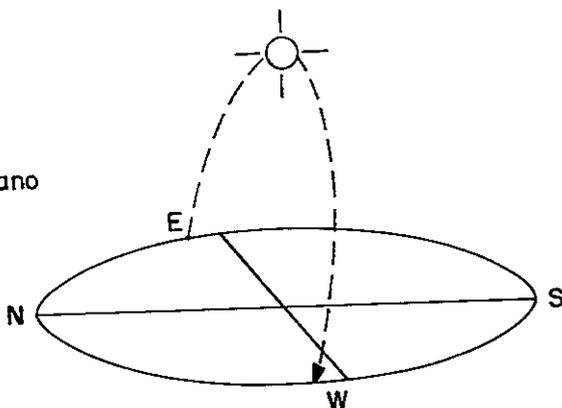
ANEXO. 12. FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO
LA PAZ, B. C. S.
DICIEMBRE (1992-1994)

**ANEXO.13. Altura del Sol sobre el horizonte
en La Paz, B.C.S.**

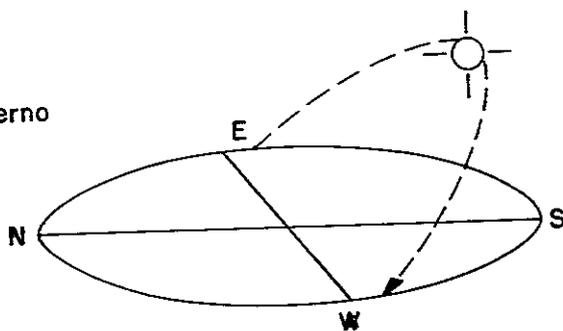
Equinoccios de
Primavera y Otoño



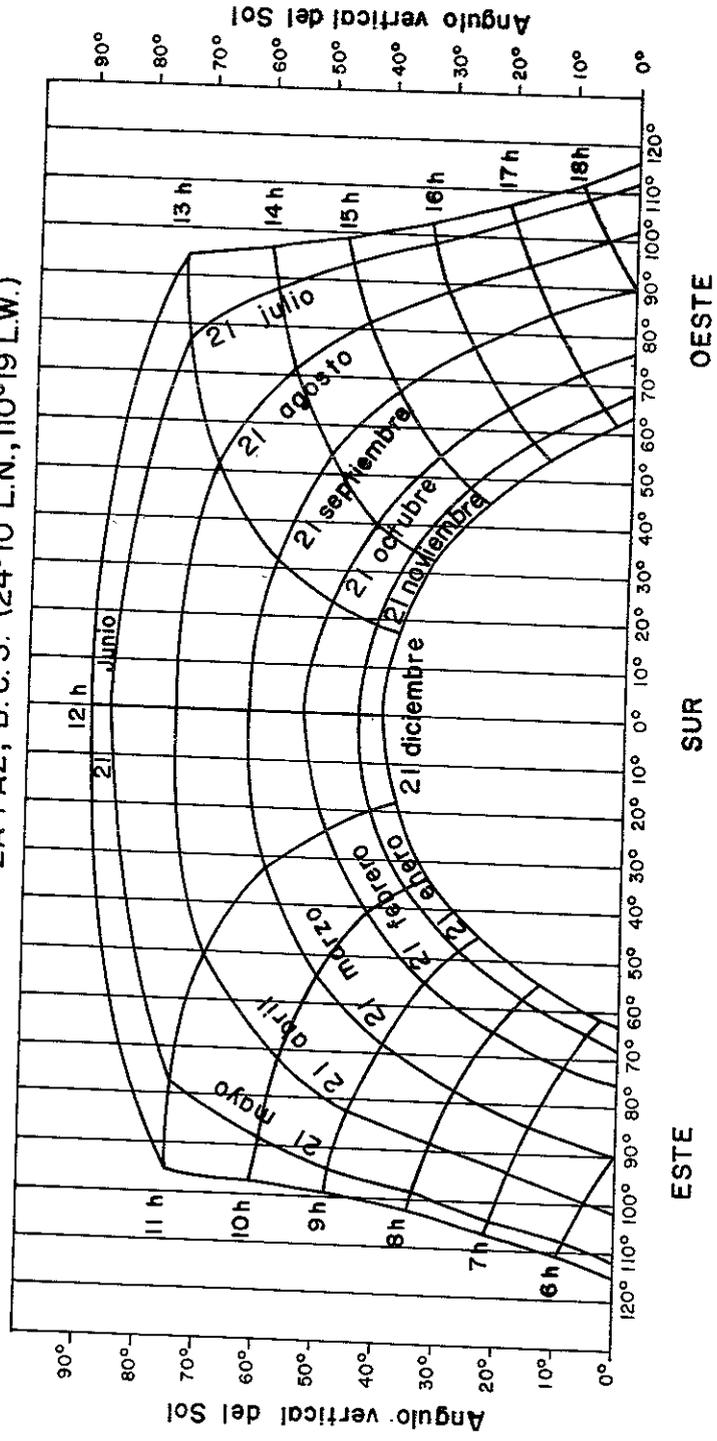
Solsticio de Verano



Solsticio de Invierno



ANEXO.14. GRAFICA SOLAR
 LA PAZ, B.C.S. (24°10' L.N., 110°19' L.W.)



Angulo horizontal del Sol

ANEXO 15. SALIDAS, PUESTAS DEL SOL Y CREPUSCULOS CIVILES.
LA PAZ, B.C.S. LATITUD 24° 07' NORTE, LONGITUD 110° 19' OESTE.
(TIEMPO LOCAL).

Mes	Día	C.C.	S.S.	P.S.	C.V.	Mes	Día	C.C.	S.S.	P.S.	C.V.	Mes	Día	C.C.	S.S.	P.S.	C.V.																				
Enero	1	6:39	7:04	17:45	18:10	Mayo	1	5:21	5:46	18:51	19:15	Septiembre	1	5:39	6:02	18:39	19:03																				
	4	6:40	7:05	17:47	18:12		4	5:19	5:44	18:52	19:16		7	5:40	6:03	18:36	19:00																				
	7	6:41	7:06	17:49	18:14		7	5:17	5:42	18:53	19:17		10	5:51	6:04	18:34	18:58																				
	10	6:41	7:06	17:51	18:16		10	5:16	5:41	18:55	19:20		13	5:43	6:06	18:31	18:56																				
	13	6:41	7:06	17:53	18:18		13	5:14	5:39	18:56	19:21		16	5:44	6:07	18:28	18:53																				
	16	6:41	7:06	17:56	18:21		16	5:12	5:37	18:58	19:23		19	5:45	6:08	18:25	18:50																				
	19	6:41	7:06	17:58	18:22		19	5:11	5:36	18:59	19:24		22	5:46	6:09	18:22	18:47																				
	22	6:41	7:06	18:00	18:24		22	5:10	5:35	19:01	19:26		25	5:47	6:10	18:17	18:43																				
	25	6:40	7:05	18:02	18:26		25	5:09	5:34	19:02	19:28		28	5:48	6:11	18:15	18:41																				
	28	6:39	7:04	18:05	18:29		28	5:08	5:33	19:04	19:30		31	5:49	6:12	18:12	18:38																				
	31	6:38	7:03	18:07	18:31		31	5:08	5:33	19:05	19:31		Octubre																								
	Febrero							3	5:07	5:32	19:07									19:33	6	5:07	5:32	19:08	19:34												
								6	6:36	7:00	18:11									18:35	9	5:07	5:32	19:09	19:35												
								9	6:34	6:58	18:13									18:37	12	5:07	5:32	19:10	19:36												
								12	6:32	6:56	18:15									18:39	15	5:07	5:32	19:11	19:37												
								15	6:30	6:54	18:17									18:41	19	5:08	5:33	19:12	19:38												
18								6:28	6:52	18:18	18:42	21								5:08	5:33	19:12	19:38														
21								6:27	6:50	18:20	18:43	24								5:09	5:34	19:13	19:39														
24								6:24	6:47	18:21	18:44	27								5:10	5:35	19:13	19:39														
27								6:22	6:45	18:23	18:46	30								5:11	5:36	19:13	19:39	Noviembre													
Marzo								3	5:12	5:37	19:14	19:40								6	6:08	6:31	17:39								18:02						
								5	6:16	6:39	18:26	18:49								9	5:14	5:39	19:13								19:39						
								11	6:10	6:33	18:29	18:52								12	5:15	5:40	19:12								19:38						
								14	6:08	6:31	18:30	18:53								15	5:17	5:42	19:12								19:38						
								17	6:04	6:27	18:31	18:54								18	5:18	5:43	19:11								19:37						
								20	6:02	6:25	18:32	18:55								21	5:20	5:45	19:10								19:35						
								23	5:59	6:22	18:34	18:57	24	5:21	5:46	19:08	19:33																				
							26	5:56	6:19	18:35	18:58	27	5:23	5:48	19:07	19:32																					
							29	5:53	6:16	18:36	18:59	30	5:24	5:49	19:06	19:31	Diciembre																				
							Abril							2	5:26	5:50															19:04	19:29	6	6:28	6:52	17:33	17:57
														4	5:46	6:10															18:38	19:01	8	5:29	5:53	19:00	19:25
														7	5:43	6:07															18:40	19:03	11	5:30	5:54	18:59	19:23
														10	5:40	6:04															18:41	19:04	14	5:32	5:56	18:55	19:18
														13	5:37	6:01															18:42	19:05	17	5:34	5:57	18:53	19:16
														16	5:34	5:58															18:44	19:07	20	5:35	5:58	18:51	19:14
														19	5:32	5:56								18:45	19:08	23	5:36	5:59	18:47	19:10							
22	5:29	5:53	18:46	19:09	26	5:37								6:00	18:45	19:08																					
25	5:26	5:50	18:48	19:12	29	5:39								6:02	18:41	19:04								Enero													
Mayo														28	5:24	5:48															18:49	19:13	30	6:39	7:04	17:43	18:08

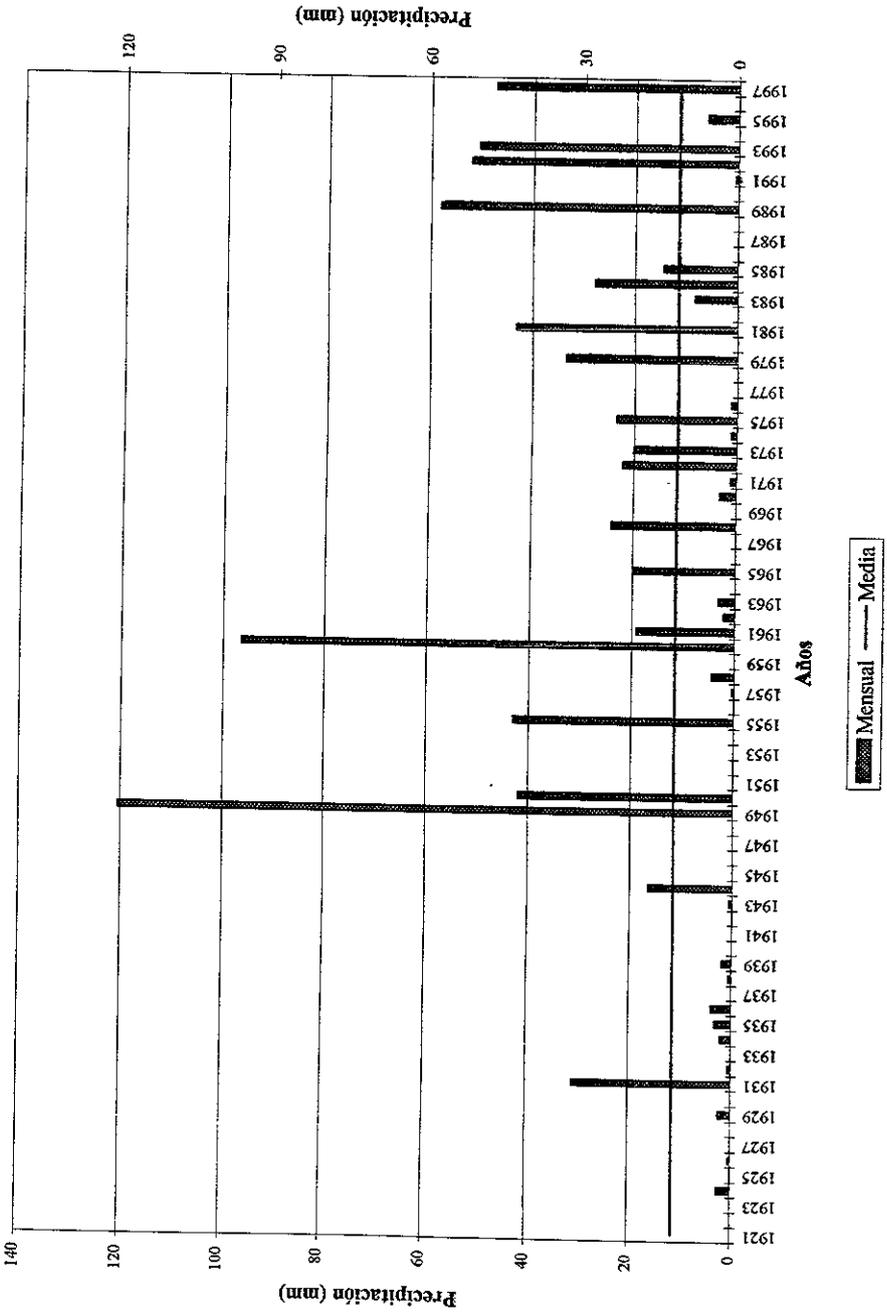
LAS SALIDAS Y PUESTAS DEL SOL, ASI COMO LOS CREPUSCULOS CIVILES SE CALCULARON PARA LA PAZ, B.C.S., PARTIR DE ALMANAQUE NAUTICO.

SECRETARIA DE MARINA, ARMADA DE MEXICO, 1996.
ABREVIACIONES: C.C. Crepúsculo Civil.

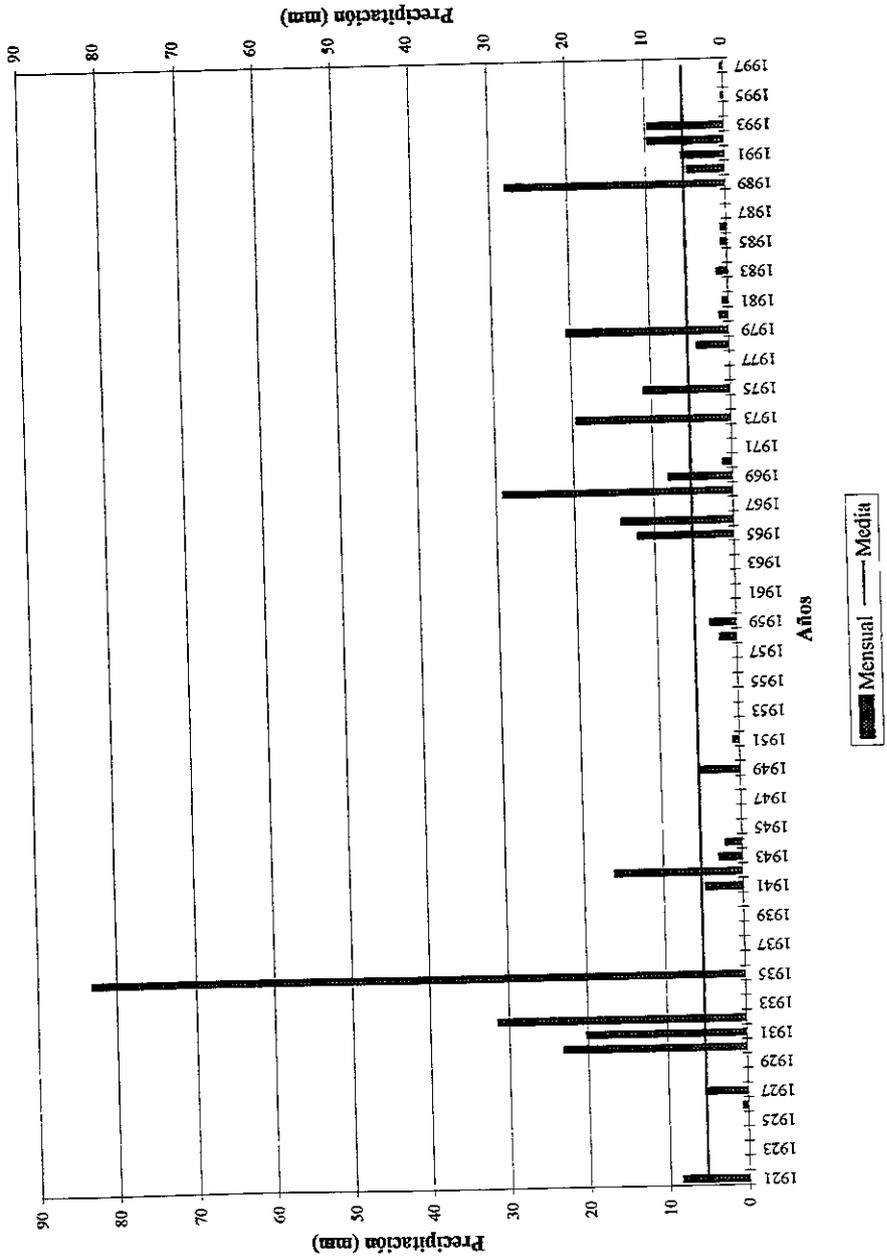
S.S. Salida del Sol
P.S. Puesta del Sol

NOTA: Tener en cuenta cuando sea el horario de verano.

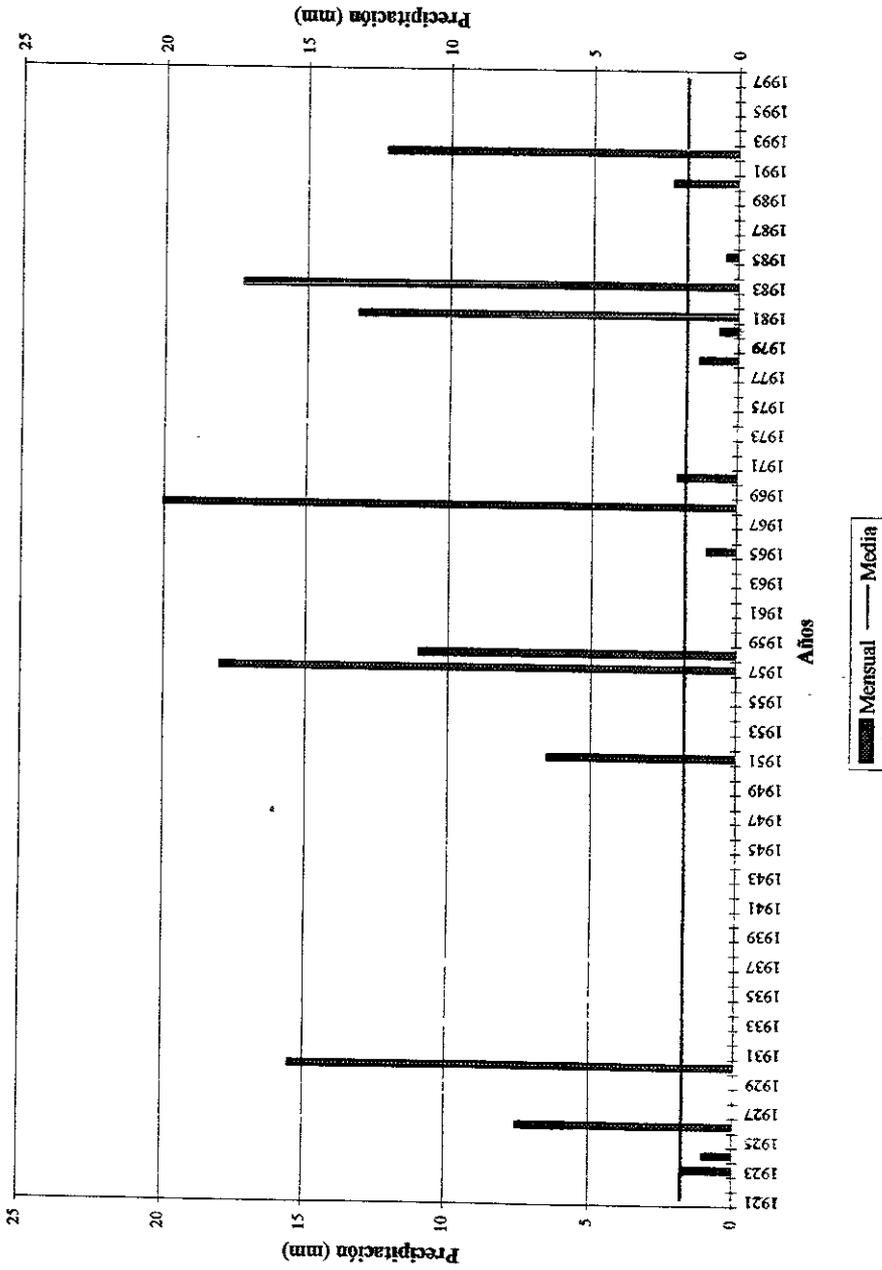
**ANEXO 16. PRECIPITACION EN ENERO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



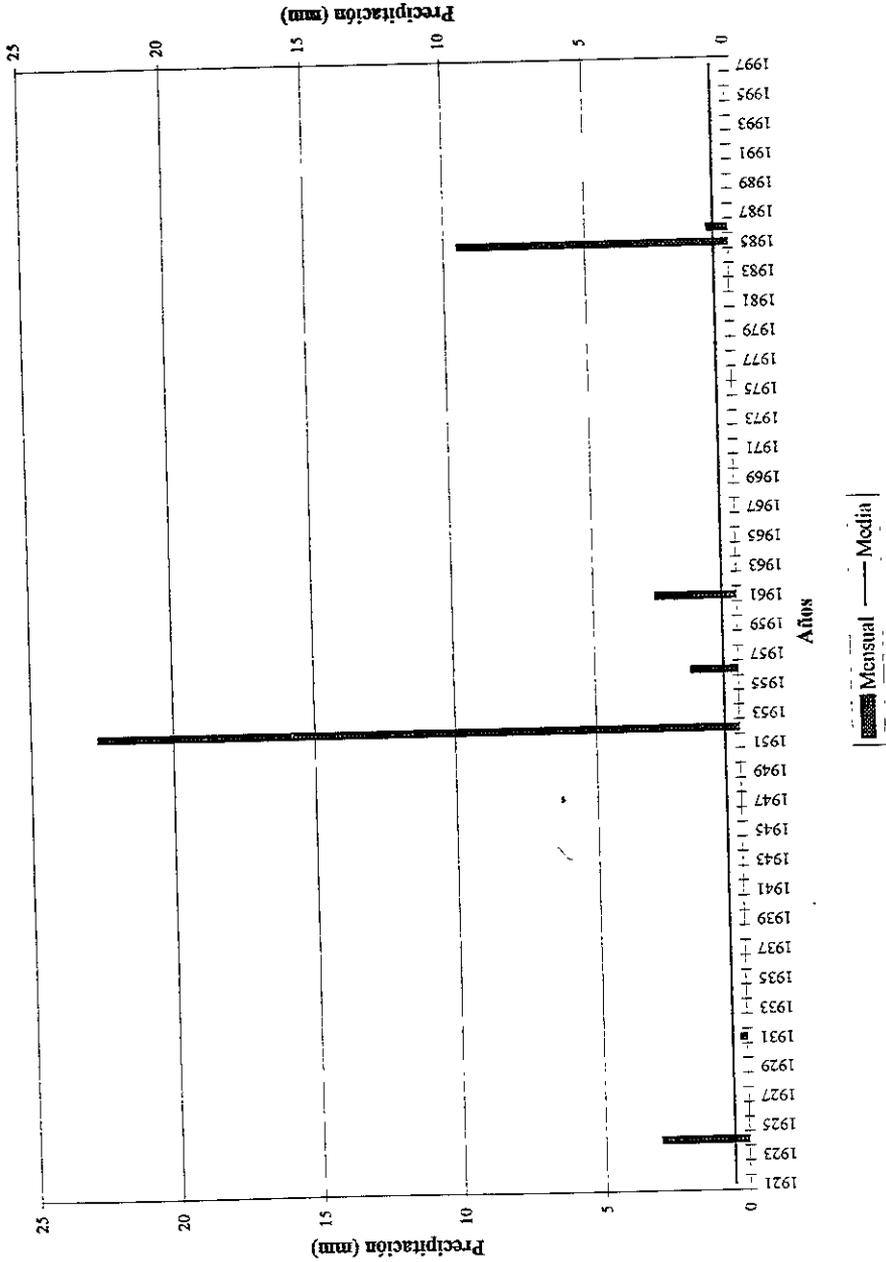
**ANEXO 17. PRECIPITACION EN FEBRERO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



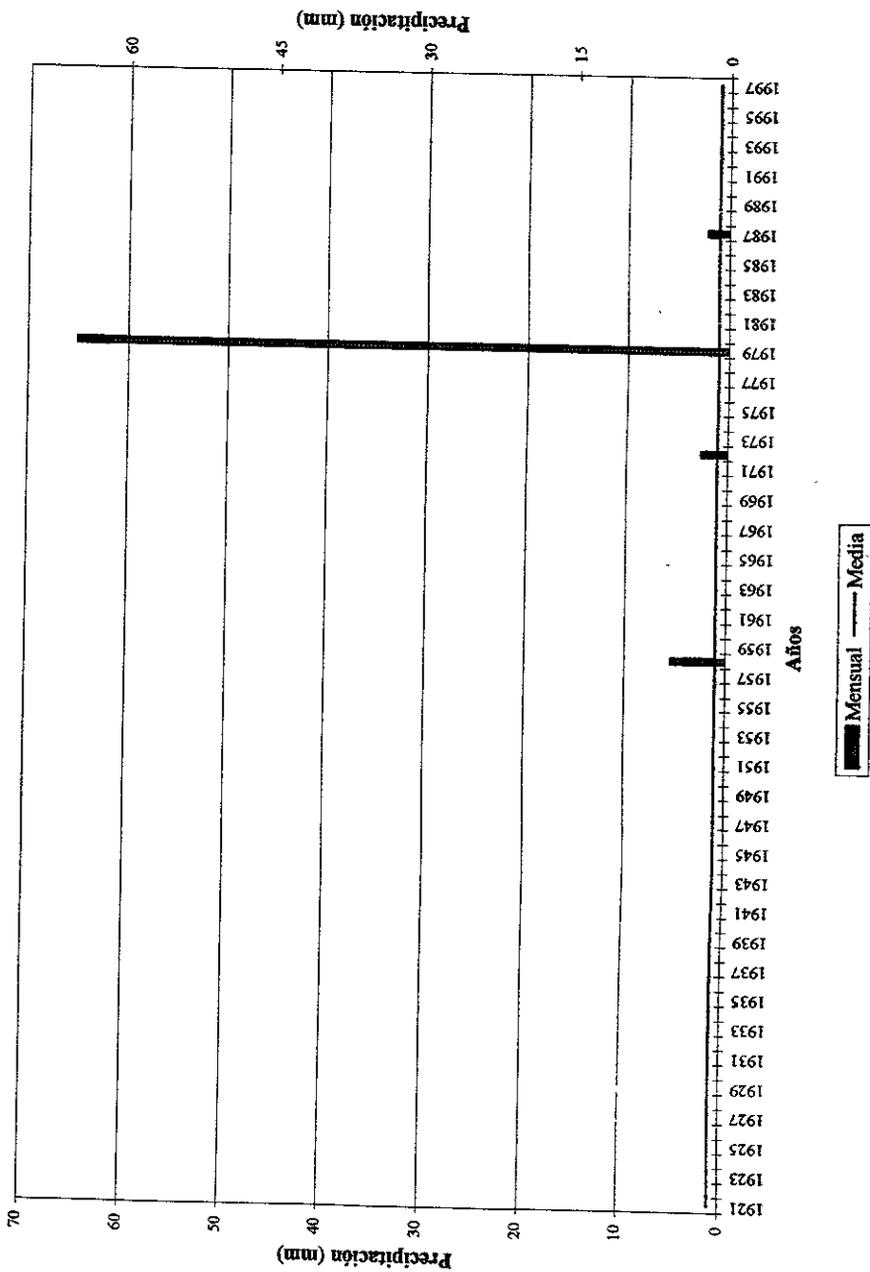
**ANEXO 18. PRECIPITACION EN MARZO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



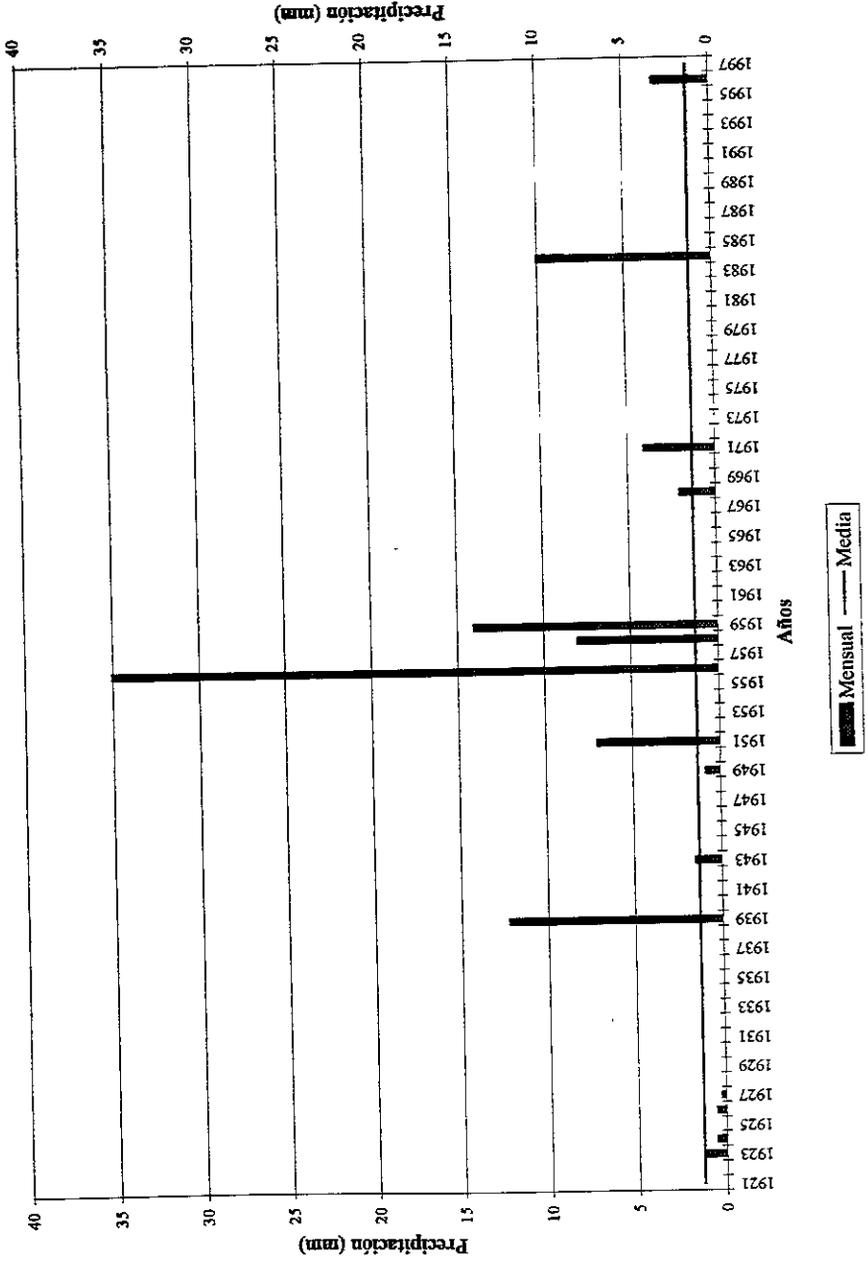
**ANEXO 19. PRECIPITACION EN ABRIL.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



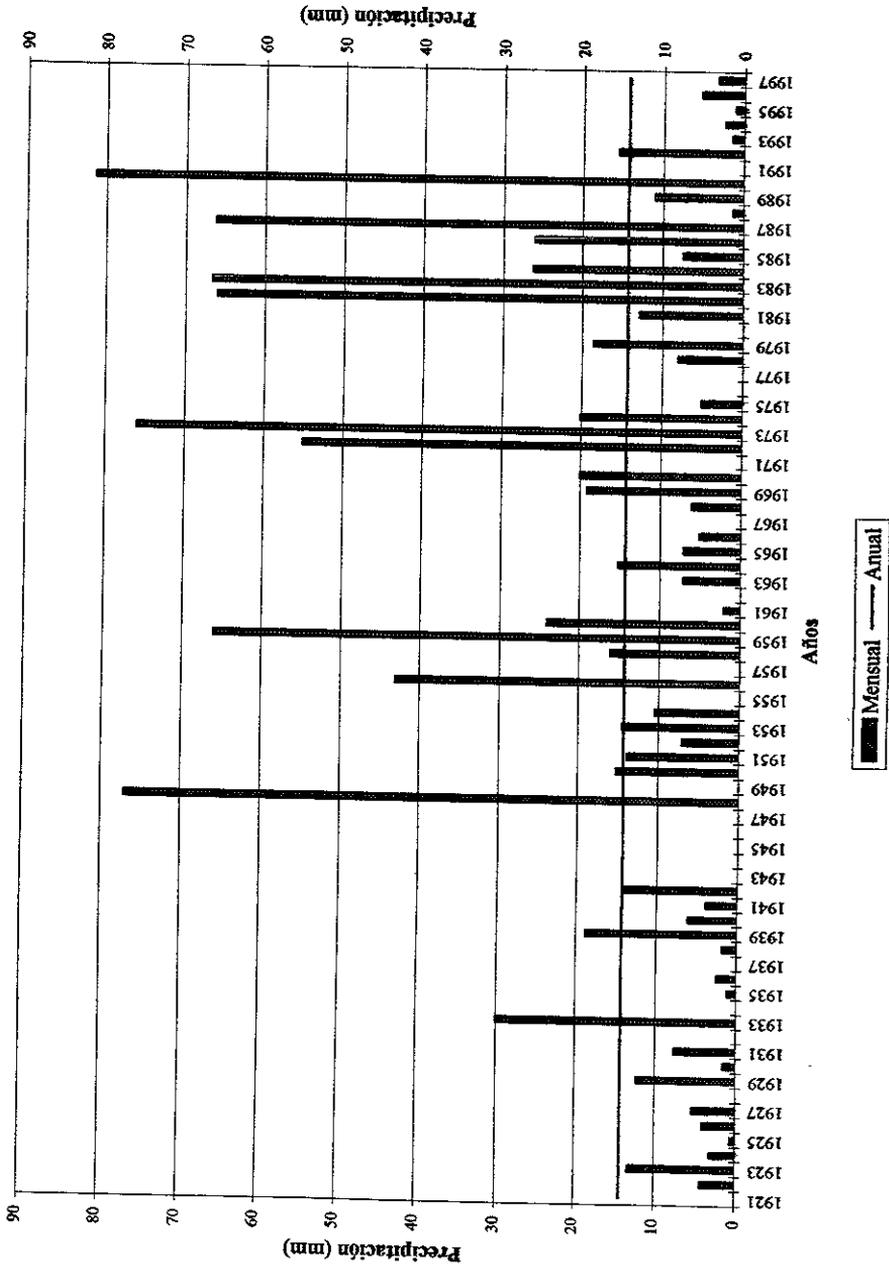
**ANEXO 20. PRECIPITACION EN MAYO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



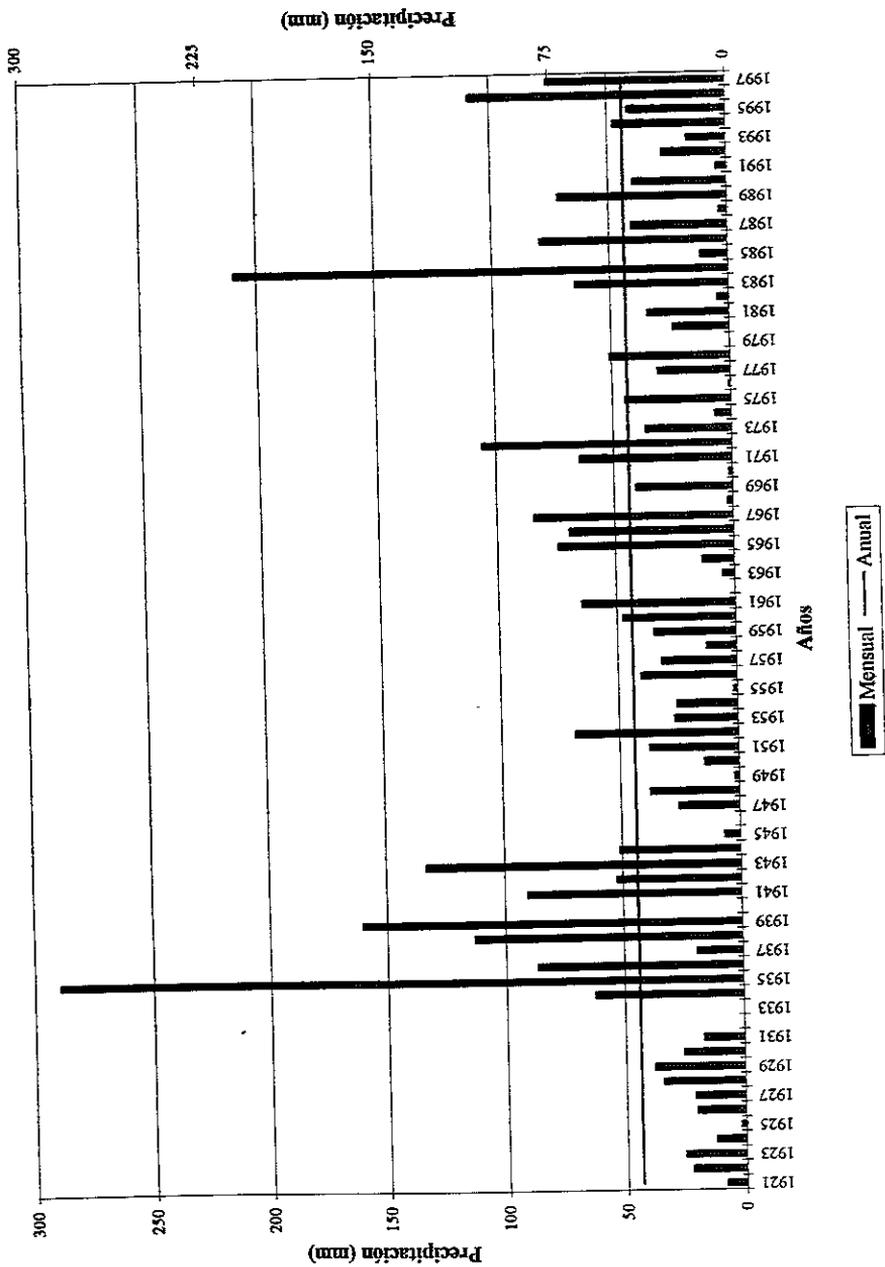
**ANEXO 21. PRECIPITACION EN JUNIO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



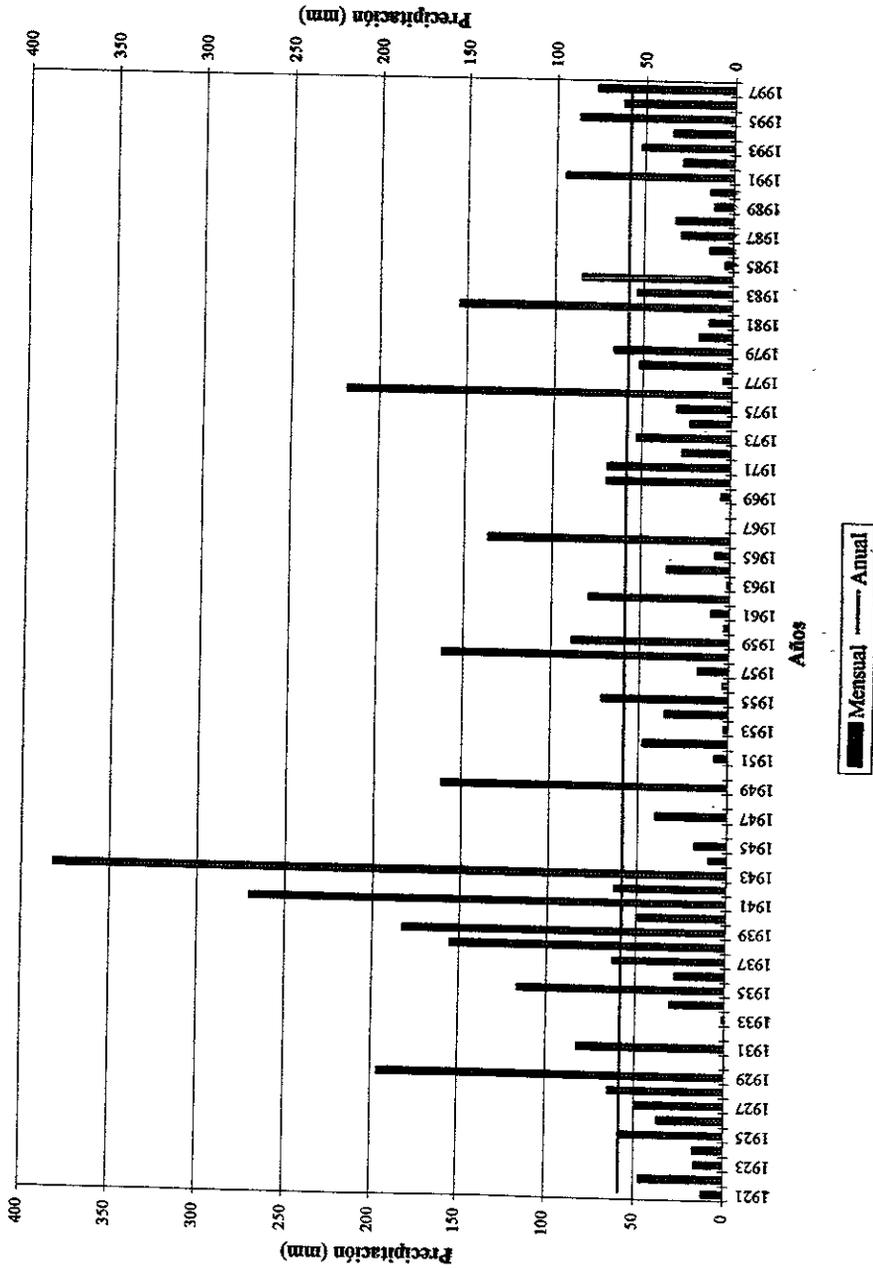
**ANEXO 22. PRECIPITACION EN JULIO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



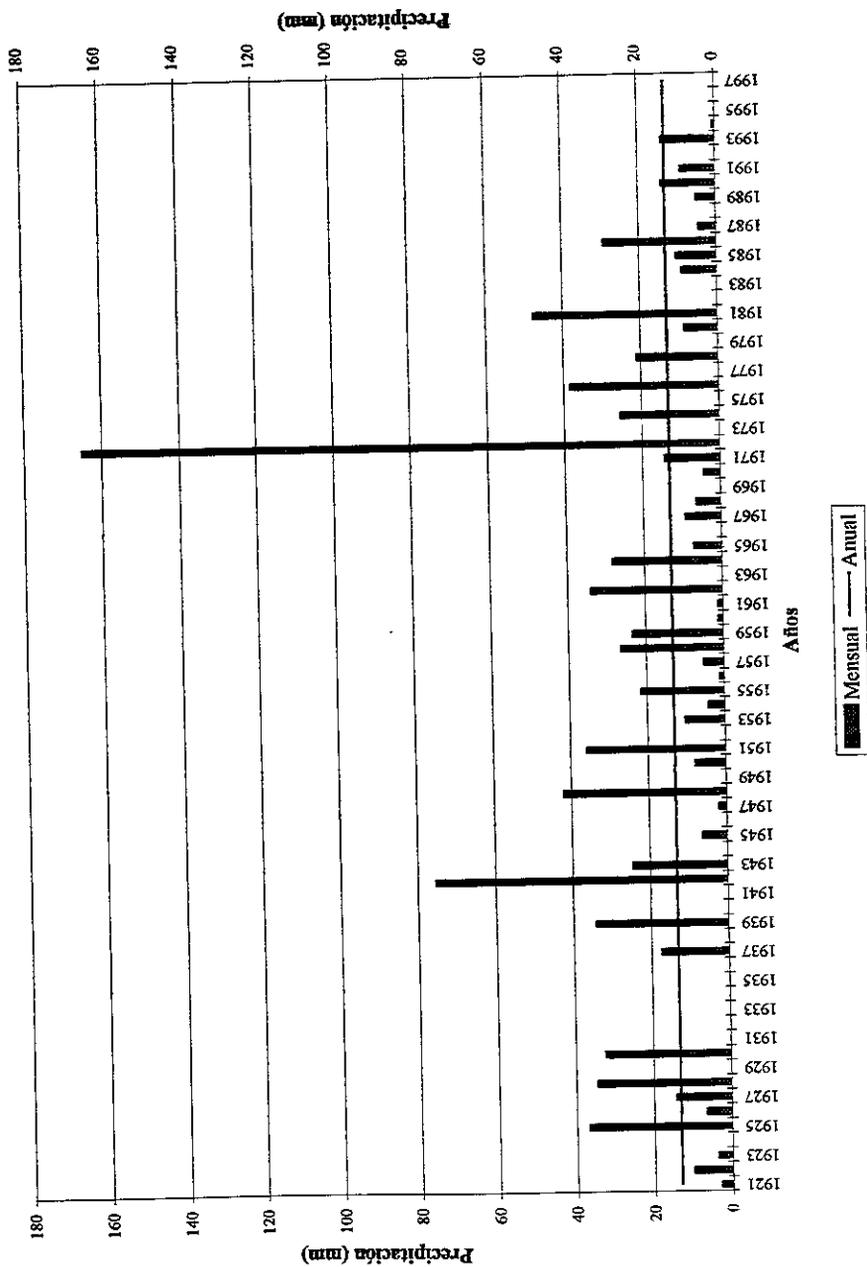
**ANEXO 23. PRECIPITACION EN AGOSTO.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



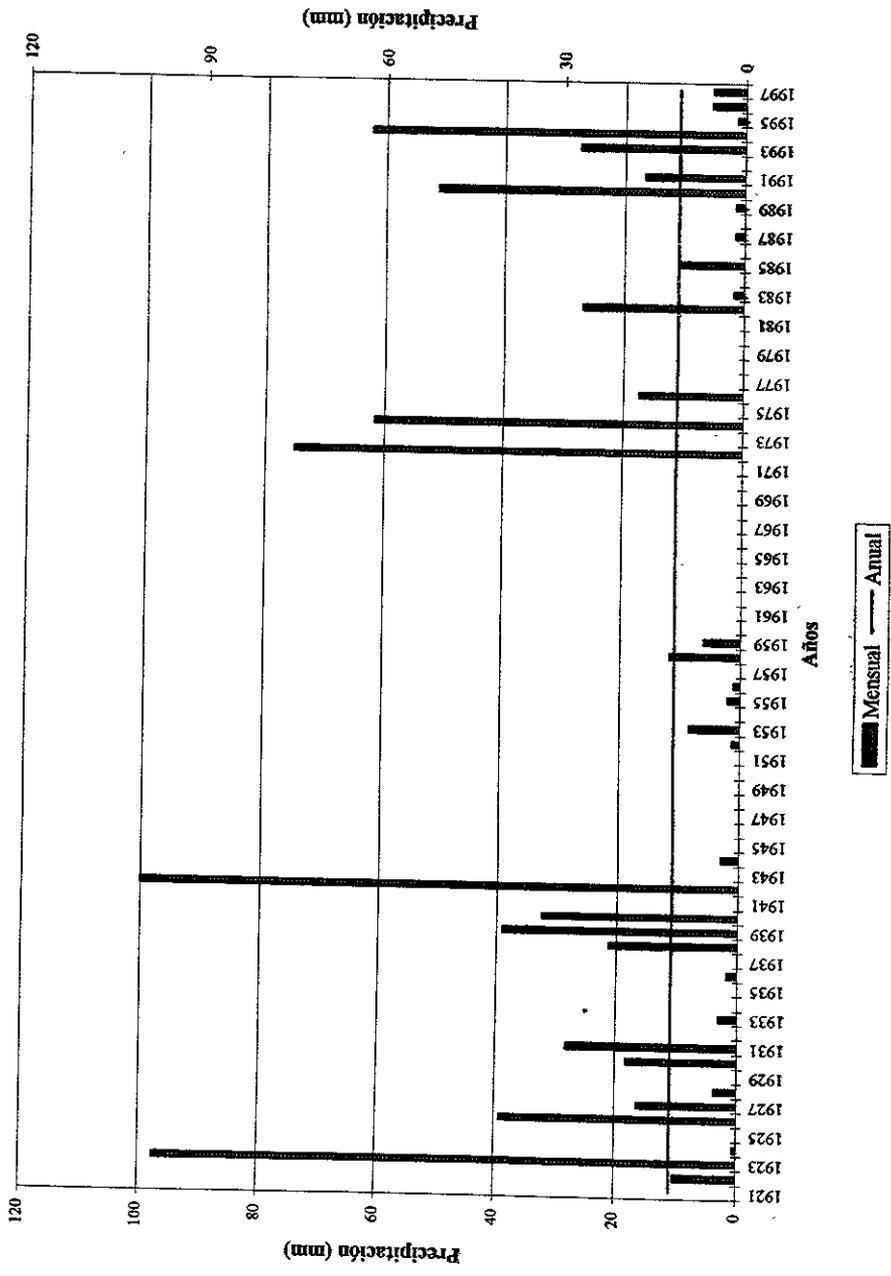
**ANEXO 24. PRECIPITACION EN EN SEPTIEMBRE.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



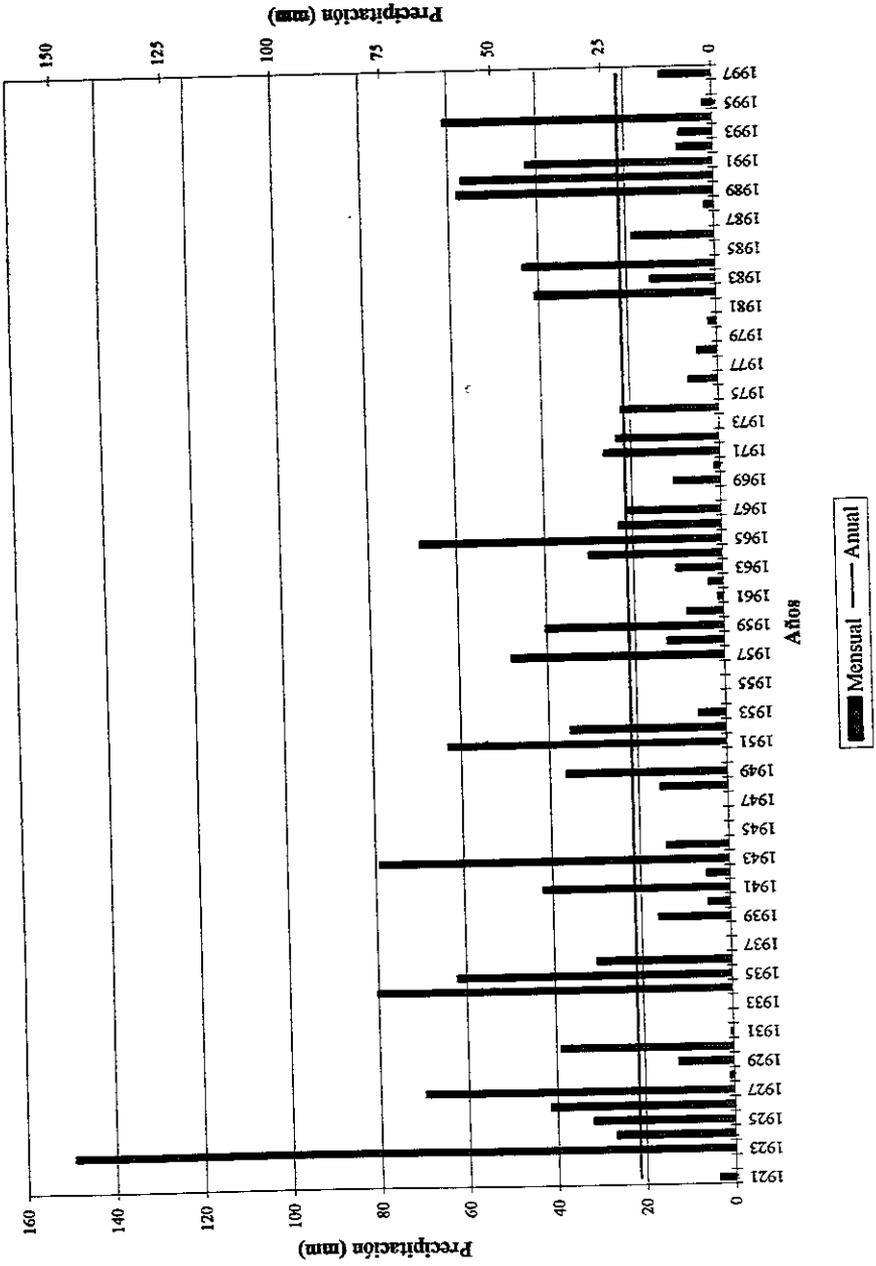
**ANEXO 25. PRECIPITACION EN OCTUBRE,
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



**ANEXO 26. PRECIPITACION EN NOVIEMBRE.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



**ANEXO 27. PRECIPITACION EN DICIEMBRE.
LA PAZ, B.C.S. (1921-1997).**



Anexo 28. Anomalías anuales de precipitación con respecto a la moda. La Paz, B.C.S. (1921-1997)			
Año	Precipitación	Anomalía (%)	Índice de sequía o pluviosidad
1921	33.8	-75	extremadamente seco
1922	92.6	-32	muy seco
1923	306.8	124	extremadamente lluvioso
1924	62.5	-54	extremadamente seco
1925	128.2	-6	seco
1926	156.2	14	normal
1927	179.9	31	lluvioso
1928	137.3	0	normal
1929	259.7	90	muy lluvioso
1930	154.0	12	normal
1931	185.8	36	lluvioso
1932	sin datos	...	...
1933	sin datos	...	...
1934	174.2	27	lluvioso
1935	553.9	304	extremadamente lluvioso
1936	151.3	10	normal
1937	95.9	-30	muy seco
1938	290.8	112	extremadamente lluvioso
1939	464.0	239	extremadamente lluvioso
1940	91.7	-33	muy seco
1941	410.2	199	extremadamente lluvioso
1942	324.3	137	extremadamente lluvioso
1943	622.0	354	extremadamente lluvioso
1944	95.2	-31	muy seco
1945	29.9	-78	extremadamente seco
1946	sin datos	...	..
1947	sin datos	...	...
1948	sin datos	..	..
1949	324.7	137	extremadamente lluvioso
1950	78.5	-43	muy seco
1951	170.4	24	normal
1952	181.8	33	lluvioso
1953	66.9	-51	extremadamente seco
1954	74.2	-46	muy seco
1955	138.2	1	normal
1956	124.6	-9	seco
1957	119.3	-13	seco
1958	270.7	98	muy lluvioso
1959	274.7	100	muy lluvioso
1960	178.9	31	lluvioso

Año	Precipitación	Anomalía (%)	Índice de sequía o pluviosidad
1961	99.9	-27	muy seco
1962	117.5	-14	seco
1963	25.7	-81	extremadamente seco
1964	121.2	-12	seco
1965	196.8	44	lluvioso
1966	247.0	80	muy lluvioso
1967	113.7	-17	seco
1968	89.0	-35	muy seco
1969	82.6	-40	muy seco
1970	101.6	-26	muy seco
1971	178.0	30	lluvioso
1972	475.1	247	extremadamente lluvioso
1973	203.9	49	lluvioso
1974	159.0	16	normal
1975	113.6	-17	seco
1976	281.2	105	extremadamente lluvioso
1977	34.9	-75	extremadamente seco
1978	140.5	3	normal
1979	203.5	49	lluvioso
1980	53.3	-61	extremadamente seco
1981	163.8	20	normal
1982	291.9	113	extremadamente lluvioso
1983	226.7	65	muy lluvioso
1984	410.0	199	extremadamente lluvioso
1985	59.2	-57	extremadamente seco
1986	175.1	28	lluvioso
1987	143.3	5	normal
1988	38.4	-72	extremadamente seco
1989	242.5	77	muy lluvioso
1990	261.5	91	muy lluvioso
1991	171.6	25	normal
1992	152.2	11	normal
1993	177.3	29	lluvioso
1994	207.1	51	muy lluvioso
1995	138.0	1	normal
1996	184.5	35	lluvioso
1997	219.7	60	muy lluvioso

ANEXO 29. CONTRIBUCION DE LOS CICLONES TROPICALES
A LA PRECIPITACION EN LA PAZ, B.C.S.

Año	Fecha	Nombre	Etiapa		Acrecimiiento y precipitación		Observaciones
			TT	H	<270 km	270-540 km >540 km	
1931	Jun 24-27	Sin nombre			2.4	mm	Trayectoria paralela a la costa del Pacifico
	Sep 5-13	Sin nombre			10.5	mm	Entró por Cabo San Lucas y salió al Golfo de California por el norte de Loreto
1932	Sep 24-30	Sin nombre					Trayectoria paralela muy cercana a la costa del Pacifico. No hay registros meteorológicos
1933	Sep 11-16	Sin nombre			1.0		Trayectoria paralela muy cercana a la costa del Pacifico.
1934	Sep 12-23	Sin nombre			13.6		Entró cerca de San José del Cabo, salió por Pto. Mejía. Pasó a 16 km de La Paz.
1935	Ago 5-10	Sin nombre			174.0		Trayectoria paralela a la costa del Pacifico.
1936	Jul 31-Ago 7	Sin nombre			46.0		Pasó cerca de Cabo Pulmo con dirección al Golfo de California.
	Ago 31-Sept 4	Sin nombre			Inap		Se disipó en la entrada del Golfo de California.
	Sep 4-10	Sin nombre			1.0		Trayectoria paralela a la costa del Pacifico.
1937	Sep 6-12	Sin nombre			14.0		Trayectoria paralela muy cercana a la costa del Golfo, con dirección a Sonora
	Sep 14-18	Sin nombre					Trayectoria abierta al Pacifico.
1938	Ago 23-30	Sin nombre			60.7	21.2	Entró por el Golfo de California hacia Sinaloa.
1939	Jul 21-27	Sin nombre			9.2		Entró por Los Planes, cruzó la bahía de La Paz y entró por San Juan de la Costa.
	Sep 1-9	Sin nombre			92.6		Pasó cerca de Cabo Pulmo con dirección al Golfo de California
1940	Sep 14-18	Sin nombre				0.0	Trayectoria paralela cercana a la costa del Pacifico.
1941	Sep 5-12	Sin nombre			227.6		Entró por San Juanito y salió al Golfo de California por el norte de Mulegé
	Sep 17-23	Sin nombre			26.8		Entró por San José del Cabo, pasó por Todos Santos y salió al Golfo por Loreto.
1942	Sep 12-17	Sin nombre			7.0		Entró al sur de Pto. Cortés y cruzó al Golfo de California por el norte de Los Dolores
	Oct 1-2	Sin nombre			75.2		Entró por El Conogo y salió al Golfo de California por el norte de Los Dolores.
1943	Sep 9-10	Sin nombre			Inap		Entró al norte de Todos Santos y salió al Golfo de California por la bahía de La Paz.
	Sep 18-20	Sin nombre			321.0		Entró al sur de Sinaloa.
1944	Sep 4-8	Sin nombre			9.8		Trayectoria circular en el sur del estado. Entró por Todos Santos y salió por la Ribera.
1946	Sep 28-29	Sin nombre			Inap		Se disipó en la boca del Golfo de California.
1947	Sep 3-8	Sin nombre			Inap		Entró por Bahía Tortuga. No se tienen datos meteorológicos.
1948	Jul 17-21	Sin nombre			55.8		Entró en el estado de Baja California por el sur de El Rosario
	Oct 7-8	Sin nombre			41.8		Se disipó en la boca del Golfo de California.
1949	Sep 3-9	Sin nombre	TT		11.5		En La Paz, se registraron vientos de hasta 170 km/h
	Sep 9-11	Sin nombre		H	112.0		Trayectoria paralela a la costa del Pacifico
1950	Jul 3-6	Sin nombre		H	7.6	15.2	Entró por El Conogo y salió al norte de la bahía de La Paz.
	Oct 1-3	Sin nombre					Trayectoria paralela a la costa del Pacifico.
1951	Ago 24-29	Sin nombre	TT		1.0	37.0	Trayectoria paralela a la costa del Pacifico.
	Sep 11-15	Sin nombre	TT				Entró en el estado de Baja California por San Quintín
1952	Jul 19-21	Sin nombre	TT		3.5		Se disipó cerca de Cabo San Lucas.
	Sep 15-22	Sin nombre		H	31.0		Trayectoria paralela a las costas del Pacifico.
	Sep 26-28	Sin nombre	TT		16.5		Trayectoria paralela a las costas del Pacifico
1953	Oct 2-8	Sin nombre		H	3.3		Se disipó cerca de Isla Socorro.
1954	Jul 12-17	"Anahuac"		H	8.2		Trayectoria abierta al Pacifico.
	Sep 5-8	Sin nombre	TT		Inap		Entró por Punta Ahuecos y siguió al norte hacia El Avo
	Sep 15-21	Sin nombre	TT		Inap		Trayectoria abierta al Pacifico.
	Sep 21-27	Sin nombre	TT		34.8		Trayectoria abierta al Pacifico
1955	Oct 1-4	Sin nombre	TT				Trayectoria abierta al Pacifico.
1956	Jul 9-12	Sin nombre	TT	H	21.4		Tocó tierra en Cabo Pulmo y siguió paralelo a la costa del (Golfo de California
	Sep 12-17	Sin nombre	TT		29.0	1.0	Trayectoria muy abierta al Pacifico

Nota: TT es categoría de tormenta tropical y H es categoría de huracán

Año	Fecha	Nombre	Escala	Acrecentamiento y precipitación		Observaciones
				<170 km mm	170-540 km mm	
1957	Ago 9-15	Sin nombre	H	9.0	20.0	Trayectoria paralela muy lejana a las costas del Pacifico.
	Sep 20-23	Sin nombre	H	1.0		Entró por el Golfo de California y se disipó cerca de La Paz
	Oct 1-6	Sin nombre	H	6.0		Entró por Santo Domingo y cruzó hacia el Golfo de California al norte de Loreto. Pasó muy cerca de Los Cabos y se disipó en la boca del Golfo de California.
1958	Jun 6-16	Sin nombre	H	16.0		Trayectoria paralela a las costas del Pacifico.
	Jul 26-30	Sin nombre	TT	23.4		Entró por los Cabos, cruzó La Paz y continuó por tierra hasta el Arco.
	Sep 11-12	Sin nombre	TT	23.4		Entró por San José del Cabo y salió al Golfo de California por Las Cruces.
1959	Sep 30-Oct 6	Sin nombre	H		1.1	Trayectoria abierta al Pacifico.
	Ago 19-21	Sin nombre	TT	88.2		Entró por los Cabos, pasó por La Paz y llegó casi a Ensenada.
1960	Sep 4-11	Celente	H	Inap		Trayectoria abierta al Pacifico.
	Jul 20-22	Diana	H	47.2		Se intentó por el Golfo de California hasta llegar casi a bahía de Los Angeles.
1961	Ago 17-20	Liza	TT	Inap		Trayectoria muy abierta al Pacifico.
	Jul 14-19	Oyla	TT	8 7		Trayectoria paralela a las costas del Pacifico.
1962	Sep 2-6	Bernice	TT	5.7		Entró por Punta Abasco y se disipó.
	Sep 19-23	Claudia	TT	27.0		Entró por San Hipolito y salió por Malarrino, volviendo a entrar en Baja California.
	Oct 1-5	Doreen	H	3.0		Pasó muy cerca de Los Cabos, desviándose al NE.
1963	Sep 24-29	Lillian	TT	1.0		Trayectoria paralela a Michoacán y Sinaloa.
1964	Jul 5-7	Natalie	TT	6.0		Entró al sur de Sinaloa.
	Sep 5-10	Tillie	TT	33.0		Trayectoria paralela a las costas del Pacifico. Se disipó en San Hipolito.
1965	Ago 7-11	Claudia	H	14.0	28.6	Trayectoria abierta al Pacifico
	Ago 30-Sep 6	Emily	H	8.0		Trayectoria paralela a las costas del Pacifico. Entró por Santo Tomás, B.C.
	Sep 24-27	Hazel	TT			Entró al sur de Sinaloa.
1966	Sep 9-17	Helga	H	31.0	72.0	Entró por San Juanico, cruzó el Golfo de California y salió por Mulegé.
	Sep 26-29	Kirsten	TT			Entró al sur de Pto. Cortés, cruzó al Golfo de California por la bahía de La Paz.
1967	Jun 23-26	Carlota	H	Inap		Trayectoria abierta al Pacifico.
	Ago 29-Sep 2	Katrina	H	28.0		Entró por Pto. Cortés, cruzó por Loreto y siguió costando hasta entrar a Sonora.
1968	Ago 16-19	Hyacinth	TT	Inap		Pasó muy cerca de Cabo Pulmo y entró al sur de Sonora.
	Sep 10-13	Naomi	H	0.0		Lloviz en otros lugares de Baja California Sur. Entró al sur de Sinaloa.
	Sep 28-Oct 3	Pauline	H	0.0		Entró por Pto. Cortés, cruzó al Golfo de California por Los Dolores.
1969	Oct 5-12	Rebecca	H	0.0	4.0	Lloviz en otros lugares de Baja California Sur. Trayectoria paralela a las costas del Pacifico
	Ago 4-9	Doreen	TT	33.0		Trayectoria abierta al Pacifico.
	Ago 22-24	Emily	TT	0 0		Pasó cerca de Los Cabos, arribándose al Pacifico
1970	Sep 3-8	Florencia	TT	4.0		Lloviz en otros lugares de B.C.S. Trayectoria muy cercana a las costas del Pacifico.
	Sep 6-11	Glenda	H	17.0		Trayectoria muy cercana a las costas del Pacifico.
	Jul 17-19	Helga	TT	1.0		Se disipó cerca de Los Cabos
1971	Jul 22-26	June 2	TT	1.0		Trayectoria abierta al Pacifico.
	Ago 3-8	Kirsten	TT	25.0		Trayectoria paralela a las costas del Pacifico.
	Ago 21-Sep 6	Norma	TT	0.0		Se disipó en Pta. Abasco
1972	Nov 1-8	Solma	TT	25.0		Se disipó en el Golfo de California por La Paz
	Ago 6-11	Jewel	TT	34.0		Trayectoria muy abierta al Pacifico
	Ago 28-Sep 1	Lily	H	23.0		Se disipó frente a Navari.
1973	Ago 30-Sep 8	Monica	H	0.0		Trayectoria abierta al Pacifico.
	Sep 20-30	Olivia	H	63.0		Entró por Punta Abasco y cruzó al Golfo de California por el norte de Sta. Rosalita.
1974	Sep 30-Oct 7	Josanne	H	52.4		Pasó por San Cabo, entró en Baja California (Navari) y entró al Golfo de California
1975	Sep 21-26	Irish	H	4.5		Entró por Todos Santos, cruzó al Golfo de California por La Paz.
1976	Jul 14-19	Francesca	TT		0.5	Trayectoria abierta al Pacifico.
1975	Oct 22-25	Olivia	H			Entró al sur de Sinaloa.

Año	Fecha	Nombre	Etapas		Acercamiento y precipitación		Observaciones
			TT	H	<270 km mm	270-540 km mm	
1976	Sep 7-10	Kathleen		H		6.9	Cruzó por Bahía Tortugas, volvió entrar por San Quintín hasta Tecate. Entró por el Golfo de California. Causó muchas muertes y grandes daños en La Paz. Entró al sur de Sinaloa
	Sep 25-Oct 1	Liza		H	137.0		
	Oct 24-29	Naomi	TT		27.2		
1977	Ago 13-18	Doreen		H		0.0	Cruzó Pto. Cortés, siguió paralelo a la costa del Pacífico hasta Tijuana. Tocó tierra en Bahía Tortugas, donde se disipó. Trayectoria paralela lejana a las costas del Pacífico.
	Sep 24-27	Glenda	TT	H		Insp	
	Oct 4-7	Heather	TT			36.4	
1978	Ago 11-15	Iva	TT	H		2.9	Trayectoria paralela a las costas del Pacífico. Llegó hasta San Diego, California. Pasó cerca de Los Cabos, desviándose al Golfo de California y entró al norte de Sinaloa. Se disipó cerca de Los Cabos
	Ago 30-Sep 6	Norman	TT	H	45.0		
	Sep 23-26	Paul	TT	H	0.0		
1979	Oct 2-7	Rosa		H			Se disipó cerca de Los Cabos
	Sep 8-12	Guillermo		H		66.3	
1980	Ago 5-11	Iris		H		Insp	Trayectoria abierta al Pacífico
1981	Ago 22-28	Javier		H			Trayectoria muy abierta al Pacífico
	Jul 4-8	Calvin	TT			36.4	Se disipó frente a Los Cabos
	Jul 16-21	Eugene	TT		Insp		Trayectoria muy abierta al Pacífico
1982	Ago 21-28	Hilary	TT			12.2	Trayectoria muy abierta al Pacífico. Entró por San José del Cabo y salió al Pacífico por La Candelana. Tocó tierra en Cabo Pulmo y se internó en el Golfo de California hacia el norte de Sinaloa. Entró al sur de Sinaloa
	Ago 28-31	Irvin	TT		4.6	22.9	
	Sep 19-21	Knut	TT				
	Oct 6-8	Lidia	TT		43.6	12.3	
	Oct 8-12	Norma	TT	H		Insp	
1982	Sep 18-26	Olivia		H			Trayectoria muy abierta al Pacífico.
	Sep 18-30	Paul		H	153.2	0.5	Tocó tierra por Cabo Pulmo y se internó en el Golfo de California, hacia el norte de Sinaloa
1983	Jul 5-12	Dahlia	TT				Trayectoria muy abierta al Pacífico
	Jul 17-21	Flossie	TT			7.7	Trayectoria muy abierta al Pacífico
	Ago 8-14	Ismael		H	40.4		Trayectoria abierta al Pacífico
	Ago 31-Sep 9	Kiko		H	0.3	37.0	Trayectoria muy abierta al Pacífico
	Sep 6-14	Lorena		H	33.0		Trayectoria abierta al Pacífico
	Sep 12-20	Manuel		H		17.3	Entró al sur de Sinaloa
1984	Jun 17-26	Cristina		H		10.0	Trayectoria muy abierta al Pacífico.
	Jul 3-10	Fausto		H	4.9		Trayectoria paralela a las costas del Pacífico
	Jul 7-14	Geteviewe		H	20.3		Se disipó frente a Todos Santos
	Jul 27-Ago 1	Hernán	TT			0.6	Trayectoria muy abierta al Pacífico
	Ago 3-12	Iselle		H		22.0	Trayectoria muy abierta al Pacífico
	Sep 5-11	Marie		H		6.8	Trayectoria paralela a las costas del Pacífico.
1985	Sep 14-26	Norbert		H	52.8		Después de una trayectoria circular, entró por Punta Abreojos.
	Sep 26-Oct 3	Polo		H	8.8		Entró al norte de Todos Santos, cruzó al Golfo de California por La Paz.
	Jul 18-20	Hilda	TT			1.1	Trayectoria abierta al Pacífico.
1985	Jul 29-Ago 6	Jimena	TT			Insp	Trayectoria muy abierta al Pacífico.
	Ago 22-31	Kevin		H		5.2	Trayectoria muy abierta al Pacífico
	Sep 5-16	Olaf		H		3.6	Trayectoria muy abierta al Pacífico
	Sep 15-25	Sandra		H		0.2	Trayectoria muy abierta al Pacífico.
	Oct 7-9	Terry		H	10.2	2.5	Trayectoria paralela lejana a las costas del Pacífico.
		Waldo					Entró por la boca del Golfo de California

Año	Fecha	Nombre	Eropa	Acrecentamiento y precipitación			Observaciones
				<270 km	270-540 km	>540 km	
			mm	mm	mm		
1986	Ago 16-18	Howard	TT		13.2	21.4	Trayectoria paralela lojana a las costas del Pacifico.
	Ago 20-27	Javier	TT			53.9	Trayectoria abierta al Pacifico.
	Ago 29-Sep 1	Kay	TT				Trayectoria abierta al Pacifico.
	Sep 18-23	Newton	H	9.2			Pasó cerca de Cabo Palms, se internó en el Golfo de California hacia el sur de Sinaloa
	Sep 28-Oct 2	Paine	II	19.0			Entró por la boca del Golfo de California hacia el norte de Sinaloa
1987	Oct 15-22	Roslyn	H		10.0		Entró por la boca del Golfo de California hacia el sur de Sinaloa
	Jul 13-20	Dora	TT			35.0	Trayectoria muy abierta al Pacifico.
	Jul 28-Ago 2	Greg	H		31.8		Trayectoria abierta al Pacifico.
	Ago 1-8	Hilary	H			29.3	Trayectoria muy abierta al Pacifico.
	Ago 29-Sep 3	Lidia	H			2.4	Trayectoria abierta al Pacifico.
1988	Sep 14-20	Norma	H	3.2			Se desvió en Puerto Cortés
	Ago 16-21	John	TT	3.0		7.0	Se desvió frente a Cabo San Lucas
	Ago 29-Sep 6	Krasy	H			20.4	Trayectoria abierta al Pacifico.
1989	Sep 21-26	Lane	H				Trayectoria abierta al Pacifico.
	Jul 23-29	Flossie	TT	9.0			Trayectoria paralela a las costas del Pacifico
	Jul 30-Ago 6	Gil	II		11.4		Trayectoria paralela a las costas del Pacifico.
	Ago 25-30	Kiko	H	59.8			Entró por San José del Cabo, cruzó al Pacifico por Todos Santos.
	Ago 27-Sep 6	Lorena	H		10.4		Trayectoria muy abierta al Pacifico.
1990	Sep 8-16	Octave	H		Inap		Trayectoria paralela a las costas del Pacifico
	Sep 25-Oct 5	Raymond	H		4.7		Entró por Pia Abrego, entró al Golfo de California por el paralelo 28° hasta Sonora
	Jul 6-12	Fausto	II		32.2	13.5	Trayectoria abierta al Pacifico.
	Jul 11-18	Genevieve	II				Trayectoria abierta al Pacifico
	Ago 24-Sep 1	Lowell	H		4.3		Trayectoria abierta al Pacifico
1991	Sep 30-Oct 2	Rachel	TT	17.3			Tecó Cabo San Lucas y se fue por el Golfo de California hacia el norte de Sinaloa.
	Ago 8-14	Eliida	TT				Trayectoria abierta al Pacifico.
	Oct 3-13	Linda	H		16.6		Trayectoria abierta al Pacifico.
	Nov 7-12	Nora	H				Entró por el Golfo de California.
1992	Jul 15-21	Georgette	H			9.2	Trayectoria abierta al Pacifico.
	Jul 29-Ago 1	Iris	TT			1.8	Trayectoria muy abierta al Pacifico
	Ago 19-23	Lesler	H				Entró por Punta Ahuecos, cruzó al Golfo de California por el norte de Sta. Rosalita
	Sep 15-18	Roslyn	H		24.1	23.9	Trayectoria muy abierta al Pacifico
	Sep 18-20	Seymour	II			1.7	Trayectoria abierta al Pacifico.
1993	Jun 27-Jul 2	DT 3	DT	0.8			Trayectoria abierta al Pacifico.
	Jul 4-9	Calvin	II	0.6			Entró por Los Planes, se fue costando hasta el norte de La Paz
	Ago 10-28	Greg	II		Inap		Trayectoria muy abierta al Pacifico
	Ago 17-27	Hilary	II	16.1		23.3	Entró por San Juanes, cruzó al Golfo de California por el norte de Sta. Rosalita hacia Son
	Ago 29-Sep 6	Jova	H				Trayectoria abierta al Pacifico.
1994	Sep 8-13	Lidia	II	20.7			Con dirección a Cabo San Lucas, se desvió hacia Sinaloa
	Sep 22-24	DT 14	DT	7.4			Trayectoria paralela a las costas del Pacifico
	Oct 2-6	Norma	TT				Trayectoria abierta al Pacifico
	Nov 2-5	PT	PT	27.1		13.6	Trayectoria abierta al Pacifico
	Ago 7-10	Héctor	II	19.5			En San José del Cabo fluvieron 628.0 mm, y cayó grandes estragos en Los Cabos.
	Ago 11-14	Beana	II	6.7			Trayectoria paralela a las costas del Pacifico

Anexo 30 Tabla para obtener la Temperatura Efectiva.										
Temp. ° C	Humedad Relativa (%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
44										
43										
42										
41										
40										
39										
38										
37										
36										
35										
34	25									
33	25	24								
32	24	25	24							
31		24	25	24						
30			24	25	24					
29				25	24					
28					25	24				
27						25	24			
26							25	24		
25								25	24	
24									25	24
23										25
22										
21										
20										
19										
18										
17										
16										
15										

Construyó: Sandra Robles Gil M.

Peligros que se pueden presentar con una exposición prolongada al calor y/o actividad física
Límite superior a ambientes calurosos-Peligro extremo
Probabilidad muy alta de golpe de calor o insolación
Calor Extremo-Peligro
Probabilidad de insolación, calambres y/o extenuación por calor.
Bochornoso-Precaución Extrema
Posibilidad de insolación, calambres y/o extenuación por calor
Umbral superior a ambiente confortable-Precaución
Posible cansancio

Fuente: WMO, WHO, UNEP, 1996

GLOSARIO.

Adiabático. Se refiere a los cambios de temperatura que ocurren en el aire sin que haya un intercambio de calor con el medio. Cuando el aire se expande se enfría adiabáticamente y cuando se comprime se calienta también de manera adiabática.

Advección. Proceso por el cual tiene lugar una transferencia de las propiedades de una masa de aire; en meteorología, la advección de temperatura, humedad, etc., se refiere al transporte horizontal de una masa de aire hacia una determinada zona donde las propiedades térmicas, grado de humedad, etc., son distintas.

Aerosoles. Pequeñas partículas sólidas o líquidas que se encuentran suspendidas en la atmósfera. Son ajenas a la composición química de la misma. Puede ser polvo, sal marina, polen, cenizas volcánicas, residuos producidos por la quema de combustibles (carbón, plomo, aluminio) por el ser humano. Estos reducen la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre. El efecto térmico general es, probablemente, un descenso de temperatura; pero, en parte, actúan como efecto de invernadero debido al aumento de bióxido de carbono y vapor de agua.

Albedo. Coeficiente de reflexión de una superficie. Se refiere a la proporción entre el total de la radiación solar que llega a una superficie y la cantidad que es reflejada por ésta.

Altura del Sol. Angulo vertical que tiene el Sol con respecto al horizonte a mediodía.

Anticiclón. Sistema de presión atmosférica en donde las isobaras, en una carta sinóptica, indican un centro de alta presión. Las isobaras están, por lo general, espaciadas indicando vientos leves que pueden estar ausentes en el centro. El viento sopla del centro a la periferia y lo hace en sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur. El tiempo asociado es, por lo general bueno y estable. Se caracteriza por ser una zona de convergencia en los niveles altos y de divergencia en los bajos. Se presenta una subsidencia que genera un calentamiento adiabático, provocando un ambiente seco con cielos despejados.

Baja térmica. Depresión que se forma debido a un intenso calentamiento del suelo, como resultado de la radiación solar.

Barlovento. Con respecto a un punto o sitio determinado, es el lugar de donde sopla el viento.

Bochorno. En meteorología, es la combinación de altas temperaturas con una elevada humedad que provoca un gran incomodidad en las personas.

Calima (calina, bruma). Litometeo compuesto de partículas sumamente pequeñas, secas (polvo, humo o sales) e invisibles a simple vista que se encuentran suspendidas en la atmósfera, y que son lo suficientemente numerosas para dar al aire un aspecto opalescente.

Cambio climático. Variaciones del clima a largo plazo (10 a 100 años o más). Los cambios se pueden observar en cualquier parámetro climatológico como temperatura, precipitación, composición del aire, presión atmosférica, vientos, radiación, etc.

Capa límite. Capa de la atmósfera en donde el movimiento del aire se ve afectado por la cercanía a la superficie del suelo, aproximadamente hasta los 1,000 metros de altura.

Ciclón tropical. Sistema de baja presión en superficie, donde los vientos soplan de la periferia hacia el centro, en sentido contrario de las manecillas del reloj en el hemisferio norte. Se registran vientos muy intensos, fuertes marejadas y lluvias torrenciales. Dependiendo de la intensidad de los vientos, se divide en tres categorías: depresión tropical, tormenta tropical y huracán.

Climograma. Gráfica en donde están representados los valores medios mensuales de dos elementos climatológicos, uno en las abscisas y otro en las ordenadas, de manera que la curva permite analizar las variaciones de ambos.

Colla. Viento constante e intenso que sopla con una componente del noroeste en La Paz. Se presenta principalmente en el invierno.

Conducción. Proceso por el cual el calor se transfiere, directamente a través de la materia, desde un punto de alta temperatura a uno de menor temperatura, mediante el impacto molecular pero sin que haya un movimiento de la materia en sí.

Convección. Movimiento vertical del aire originado por diferencias de densidad en la atmósfera, o bien por fuerzas mecánicas como es el rozamiento del aire con el relieve.

Coromuel. Nombre local, que se le da a la brisa de tierra que sopla en La Paz durante las tardes y noches de verano.

Corriente de chorro. Estrecho cinturón de vientos predominantes del oeste localizado por debajo de la tropopausa. Estos alcanzan fuertes intensidades y su eje coincide con los vientos máximos.

Crepúsculo civil. Tiene lugar cuando el Sol está entre el horizonte y un punto situado a 6° por debajo del mismo. La luz crepuscular civil es el período durante el cual se pueden realizar actividades al aire libre sin necesidad de luz artificial.

Depresión tropical. Término que se aplica a una depresión de origen tropical, en donde la intensidad del viento es menor a los 63 km/h (34 nudos, 17 m/s ó 39 m.p.h.).

Ecuador térmico. Línea que rodea a la Tierra y que une los puntos que tienen la más alta temperatura. Coincide por lo general, con la Zona Intertropical de Convergencia.

El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El Niño, es el nombre dado por los habitantes locales, a una débil corriente marítima cálida que corre a lo largo de la costa de Ecuador y Perú, durante la época de Navidad. El ENOS es un fenómeno intenso y extenso, de carácter atmosférico y oceanográfico, que afecta al océano Pacífico tropical. Se encuentra asociado a grandes anomalías en la circulación atmosférica y en los patrones de lluvia. El ENOS se presenta de manera irregular, pero aproximadamente, en promedio cada cuatro años. Los eventos de el ENOS tienen un fuerte impacto en las pesquerías, la vida de las aves y en el tiempo atmosférico de los continentes.

Equipatas. Nombre que se le asigna a las lluvias invernales en esta región.

Estación de altura o de radiosondeo-viento. Estación desde la que se llevan a cabo observaciones de temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, dirección e intensidad del viento de las capas superiores del aire. Esto se realiza mediante equipo electrónico especial que da seguimiento a la radiosonda lanzada junto con un globo.

Estado del cielo. Término que se emplea para expresar el estado de la atmósfera en relación a la cantidad, tipo y altura de las nubes presente. La cantidad se expresa por la fracción de cielo cubierto, en octavos, de manera que el cero corresponde a un cielo despejado y el 8 a uno totalmente cubierto.

Frente frío. Parte delantera de una masa de aire fría que al desplazarse, sustituye al aire más caliente.

Fuerza de Coriolis. Desviación que sufren los cuerpos que se encuentran en movimiento en la superficie terrestre, como consecuencia de la rotación de la Tierra. Esta desviación es a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur.

Gradiente de presión. Vector perpendicular a las isobaras, dirigido hacia las bajas presiones y cuya intensidad es igual a la variación de la presión en función a la distancia.

Hidrometeoro. Fenómeno meteorológico formado por partículas de agua, en estado líquido o sólido, que se precipitan, se depositan sobre los objetos en el suelo o son arrastradas por el viento.

Huracán. Término que se aplica a un ciclón tropical en el que el viento alcanza una intensidad superior a los 118 km/h (64 nudos, 33 m/s ó 74 m.p.h.). Este término se deriva de una palabra utilizada en el Caribe "Hunranken", dios de las tormentas.

Insolación potencial. Máxima insolación que puede haber en un lugar determinado, depende de la latitud y de las estaciones del año.

Insolación real. Es la que verdaderamente se registra en un período de tiempo y un sitio determinado, se obtiene de las gráficas del heliógrafo.

Inversión de subsidencia. Inversión térmica que se produce en las capas superiores de la atmósfera, debido al calentamiento producido por el aire que desciende, que después de varios kilómetros de descenso puede estar más caliente y seco que el aire que le rodea. Este fenómeno ocurre en la parte central de los anticiclones, donde hay una subsidencia.

Inversión de superficie. Inversión de temperatura en la capa de aire situada junto al suelo. Se produce por la radiación nocturna y el enfriamiento del suelo.

Litometeoro. Fenómeno meteorológico formado de partículas sólidas, no acuosas, que se encuentran en suspensión en la atmósfera, después de haber sido levantadas del suelo por el viento o por los automóviles en las ciudades.

Milla náutica. Equivale a 1.852 kilómetros.

Monzón. Sistema de circulación alternado que se desarrolla como consecuencia de la variación de la temperatura y la presión, entre mares y continentes, durante las estaciones extremas del año. Proviene de la palabra árabe *maussim* que significa estación. Se refiere a las lluvias que ocurren sobre todo en el monzón de verano, cuando el viento transporta aire húmedo del mar a la tierra.

Nudo. Equivale a una milla náutica por hora, a 1.852 km/h, a 0.51 m/s.

Ola de calor. Invasión de aire muy cálido sobre un área muy grande, provocando un notable aumento de temperatura.

Oscilación térmica. Variación de la temperatura en un determinado período de tiempo. Diferencia entre la temperatura más alta y la más baja, ya sea diaria, mensual o anual.

Partículas oleaginosas. En algunas ciudades, la visibilidad puede encontrarse sensiblemente reducida a causa de la presencia de partículas de aceite en el aire. El origen principal de esas partículas es la combustión de los vehículos de motor y las industrias.

Partículas salinas. Al evaporarse los rociones que son transportados por el viento, dejan partículas de sal que pueden, más tarde servir de núcleos de condensación.

Perturbación tropical. Depresión de poca importancia en la atmósfera. Condiciones meteorológicas en una región en donde se aprecia el inicio de una circulación ciclónica.

Radiación solar directa. Radiación emitida por el disco solar, misma que abarca todas las longitudes de onda. Esta disminuye a medida que aumenta la turbiedad atmosférica (aerosoles, gotas de lluvia, cristales etc.)

Radiación difusa. Radiación emitida por el cielo, las nubes y el suelo.

Radiación global. Radiación recibida sobre una superficie en ambas formas: directa y difusa.

Radiación terrestre. Radiación de onda larga, difusa, que es emitida en todas direcciones por la atmósfera o la superficie terrestre.

Radiación total. Suma de la radiación solar y la terrestre, por lo que abarca todas las longitudes de onda.

Retrovira. Cambio que experimenta la dirección del viento cuando tiene lugar en sentido contrario de las manecillas del reloj (en ambos hemisferios).

Rociones (pulverizaciones). Conjunto de gotitas de agua arrancadas por el viento en la superficie extensa de agua, generalmente de las crestas de las olas producidas por el viento, y que son transportadas a poca distancia. Cuando la superficie del agua está suficientemente agitada, estas gotitas pueden ir acompañadas de espuma. Son un hidrometeoro.

Sotavento. Con respecto a un punto o sitio determinado, es el lugar a donde va el viento.

Subsidencia. Lento movimiento descendente del aire superior sobre una extensa superficie que va acompañado de una divergencia en las capas bajas, como en un anticiclón. El aire al bajar se comprime y se calienta adiabáticamente y su humedad relativa disminuye considerablemente, por lo que la subsidencia trae normalmente un buen tiempo, seco y despejado.

Subtropical. Término utilizado para describir las zonas latitudinales adyacentes y fuera de los Trópicos de Cáncer y Capricornio. Se extienden hasta los 40° N y 40° S.

Surgencia. El término tiene varias acepciones en meteorología y una en oceanografía. En este estudio, se refiere a la afluencia o transporte horizontal de aire húmedo hacia una zona determinada. En meteorología sinóptica, se usa para designar un aumento de la presión atmosférica sobre una zona; en meteorología tropical, se utiliza en relación a un notable incremento de la intensidad del monzón o de los alisios. El significado oceanográfico, se aplica en relación a los intercambios atmósfera-océano, cuando el agua profunda y fría del mar asciende hasta la superficie, por lo general junto a las costas; esto suele ocurrir cuando el agua superficial, más caliente, es arrastrada lejos del litoral bajo la acción del viento.

Sustentable. Término que se refiere a ciertas actividades humanas (pesca, agricultura, silvicultura, etc.), que se desarrollan de cierta manera que no afecten desfavorablemente el medio ambiente (suelo, calidad del agua, clima, recursos pesqueros), y que significa que la actividad se puede repetir en el futuro.

Temperatura crítica. Es la temperatura ambiente más baja a la que el organismo puede mantener su proporción metabólica basal, sin perder temperatura del cuerpo. Se considera que para una persona tropical ésta es de 25° C.

Terral. Circulación del aire que se efectúa de la tierra al mar. Brisa de tierra que se presenta en la tarde y noche cuando la tierra al enfriarse más rápidamente que el mar, se forma en ella un centro de alta presión.

Toritos. Fuertes aguaceros que vienen acompañados de intensos vientos, y que están relacionados a las surgencias de humedad y los sistemas de convectivos de mesoescala que tienen lugar a lo largo del golfo de California, durante el verano.

Tormenta tropical. Término que se aplica a un ciclón tropical, en donde los vientos tienen una intensidad entre 63 y 118 km/h (34-64 nudos, 17-33 m/s ó 39-74 m.p.h.).

Turbiedad. Reducción de la transparencia de la atmósfera, causada por una alta concentración de aerosoles.

Vaguada. Región de la atmósfera que presenta baja presión con respecto a las zonas que le rodean, está representada por isobaras en forma de V. Es una elongación de una baja presión. Hay inestabilidad en la atmósfera y produce mal tiempo.

Vira. Cambio que experimenta la dirección del viento cuando ocurre en el mismo sentido en que giran las manecillas del reloj (en ambos hemisferios).

Visibilidad. En meteorología, se refiere a la mayor distancia a que puede ser visto e identificado un objeto claramente, en el horizonte.

Zona Intertropical de Convergencia. Zona de baja presión, localizada en latitudes bajas, en donde convergen los vientos alisios de ambos hemisferios. Se encuentra más o menos paralela al ecuador, pero se desplaza hacia el norte o sur según el movimiento estacional del ecuador térmico.

BIBLIOGRAFIA

Introducción y Capítulo 1.

- Cazzaroli, Gianni.** (1988). "Enciclopedia del mar y de la navegación". Vol I. Orbis. Barcelona, 132 pp.
- Cermak, Jack, Alan Davenport, Erich Plate and Domingos Viegas.** (1995). "Wind Climate in Cities". NATO ASI Series E: Applied Sciences, Vol. 277. Kluwer Academic Press. Dordrecht, 772 pp.
- C.N.A.** (1982-1997). Datos Meteorológicos de La Paz. Observatorio Meteorológico de La Paz. Comisión Nacional del Agua. La Paz, B.C.S.
- C.N.A.** (1921-1981). Datos Meteorológicos de La Paz. Servicio Meteorológico Nacional. México D.F.
- Douglas, Michael W.** (1993). "The Mexican Monsoon". VI Congreso Nacional de Meteorología, II Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente Atmosférico (CIAMAA/93). Organización Mexicana de Meteorólogos A.C. (OMMAC). México D.F., P:85-90.
- Farfán, L. y J. Zehnder.** (1993). "Propagating and Stationary Mesoscale Systems over Northwest Mexico during the Southwest Area Monsoon Project" (Submitted to Weather and Forecasting). University of Arizona. U.S.A.
- García, Enriqueta y Pedro Mosiño.** (1968). "Los climas de Baja California". Comité Nacional Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional, Instituto de Geofísica, UNAM. México D.F., p: 29-56.
- García, Enriqueta.** (1978). "Apuntes de Climatología". UNAM. México D.F., 155 p.p.
- García, Enriqueta.** (1988). "Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen." OFFSET Larios. México D.F., 217 pp.
- García, Enriqueta y Ma. Engracia Hernández.** (1988) "Anomalías de la Precipitación en la República Mexicana de 1921 a 1980. Revista de Geografía, Vol. 18, No. 3. México D.F.
- Hernández, Ma. Engracia.** (1989). "Condiciones climáticas del Golfo de California y sus islas". Instituto de Geografía. Bol. N. 20. UNAM. México D.F., p: 71-87.
- Hernández, Alberto y Juan Manuel Cerna.** (1994). "Zonificación del riesgo de ciclones tropicales en la República Mexicana." Tlaloc. México D.F.
- Jáuregui, Ernesto.** (1975). "Los sistemas de tiempo en el Golfo de México y su vecindad". Instituto de Geografía. Bol. N. 6, UNAM. México D.F., p: 7-36.
- Jáuregui, Ernesto y Francisco Cruz.** (1980). "Algunos aspectos del clima de Sonora y Baja California. Equipatas y surgencias de humedad". Instituto de Geografía. Bol. 10. UNAM. México D.F., p: 143-180.
- Jáuregui, Ernesto.** (1983). "Una primera estimación de las condiciones de difusión atmosférica en la República Mexicana". Bol. N. 13. Instituto de Geografía. México D.F., p. 9-51.
- Jiménez, Martín y Ramón Domínguez.** (1993). "Relaciones entre el Fenómeno del Niño y los Escurrimientos de la Vertiente del Pacífico de México". Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). México D.F., 41 pp.
- Jordán, Fernando.** (1976). "El otro México". Gobierno del estado de Baja California Sur. Talleres Litoarte. México D.F., 269 pp.

- Keqin, Dong y Greg Holland.** (1994). "A Global view of the Relationship between ENSO and Tropical Cyclone Frequencies". *Acta Meteorologica Sinica*, Vol. 8, No. 1.
- Labeyrie, Jacques.** (1986). "El hombre y el clima". Gedisa. Barcelona, 245 pp.
- Latorre, C. y L. Penilla.** (1988). "Influencia de los ciclones en la precipitación en Baja California Sur". *Atmósfera*. Vol. 1, Num. 2, Julio 1988. UNAM, México D.F.
- Lutgens, Frederick.** (1989). "The atmosphere: an introduction to meteorology". Prentice-Hall. U.S.A., 491 PP.
- Maderey, Laura.** (1975). "La humedad y la vegetación en la Península de Baja California". Instituto de Geografía, Bol. VI, México D.F., p: 73-85.
- Ministerio del Aire.** (1967a). "Uso del Diagrama Oblicuo T, log P en el Análisis y Predicción". Parte 1. Servicio Meteorológico Nacional. Madrid, 89 pp.
- Ministerio del Aire.** (1967b). "Análisis de radiosondeo". Parte 2. Servicio Meteorológico Nacional. Madrid, 66 pp.
- Mosiño, Pedro.** (1974). "Los climas de la República Mexicana". El Escenario Geográfico. SEP-INAH. México D.F., p: 57-172.
- Mosiño, Pedro. y Enriqueta García.** (1974). "World Survey of Climatology". Vol I. *Climates of North America*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York, 420 pp.
- Mosiño, Pedro. y Enriqueta García.** (1978). "Caracterización del regimen pluviométrico de las regiones áridas y semiáridas de México, mediante la distribución gamma." Memoria VII Congreso Nacional de Geografía. Saltillo, 23-27 mayo, 454 pp.
- Oke, T.R.** (1987), "Boundary Layer Climates". Methuen & Co. London, 435 pp.
- O.M.M.** (1979 a). "Compendio de Apuntes para la formación de Personal Meteorológico de la Clase IV". Vol. 2. *Climatología*. S.A.R.H., S.M.N., México D.F., 167 pp.
- O.M.M.** (1979 b). "Compendio de Apuntes para la formación de Personal Meteorológico de la Clase IV". Vol. 3. *Meteorología*. S.A.R.H., S.M.N., México D.F., 357 pp.
- O.M.M.** (1990). "Guía de Prácticas Climatológicas". Comisión Nacional del Agua. Ginebra.
- Peña, Pablo.** (1989). "Análisis y control del asoleamiento". Instituto Politécnico Nacional. México D.F., 92 pp.
- Pérez, Graciela.** (1988). "El viento superficial en el Noroeste de México". Instituto de Geografía. Bol. N. 18. UNAM. México D.F., p: 31-49.
- Remeneiras, G.** (1974). "Tratado de Hidrología Aplicada". Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 515 pp.
- Reyes, Sergio, Michael Douglas y Robert Maddox.** (1994). "El monzón del suroeste de Norteamérica (TRAVASON/SWAMP)". *Atmósfera*, Vol. 7, No. 2., p: 117-137.
- Robles Gil, Sandra.** (1985). "Estudio Geográfico del Estado de Baja California Sur". Gobierno del estado de B.C.S., Dirección de Cultura. La Paz, 233 pp.
- Rosengaus M., Michel y Jorge Sánchez-Sesma.** (1990). "Gilbert: ejemplo de huracanes de gran intensidad". *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol V, No. 1. México D.F., p:13-36.
- Salinas-Zavala, C.A., D. Lluch-Belda, S. Hernández-Vázquez.** (1998). "La aridez en el noroeste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal." *Atmósfera* 11, UNAM., México D.F., pp: 29-44.
- Secretaría de Marina, Armada de México.** (1996). "Almanaque Náutico". Dirección General de Oceanografía Naval. Dirección de Hidrografía. México D.F., 327 pp.

- Secretaría de Programación y Presupuesto.** (1981). "Carta de Climas de Baja California Sur". Instituto Nacional de Estadística e Informática. México D.F.
- Serra, Sergio.** (1971). "Hurricanes and Tropical Storms of the west coast of Mexico". *Monthly Weather Review*, Vol. 99, No. 4, p: 302-308.
- W.M.O.** (1981). "Meteorological aspects of the utilization of solar radiation as an energy source". Technical Note No. 172. W.M.O.. No. 557. Switzerland, 298 pp.

Capítulo 2.

- C.N.A.** (1998). "Zonificación de Riesgos en la ciudad de La Paz." Comisión Nacional del Agua. La Paz, B.C.S.
- Díaz Encinas, Sebastián.** (1932). "Plano de la Ciudad de La Paz".
- Diguet, León.** (1912). "Territorio de la Baja California. Reseña Geográfica y Estadística". Librería de la Vda. C. Bouret. México D.F., 49 pp.
- Dirección General de Seguridad y Tránsito.** (1996) Número de Vehículos. La Paz, B.C.S.
- Dirección de Planificación y Urbanismo del estado de B.C.S.** (1978) Infraestructura Vial. La Paz, B.C.S.
- Gobierno del Estado de B.C.S.** (1990). "Actualización del Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Población de la ciudad de La Paz." La Paz, B.C.S.
- Jordán, Fernando.** (1996). "Baja California, Tierra Incógnita". Centro Cultural Tijuana. B.C., 246 pp.
- León Portilla, Miguel.** (1989). "Testimonios Sudcalifornianos. Nueva entrada y establecimiento en el puerto de La Paz, 1720." Gobierno del Estado de Baja California Sur. La Paz, 118 pp.
- Martínez, Maximino.** (1947). "Baja California. Reseña Histórica del Territorio y de su Flora". Ediciones Botas. México D.F., 154 pp.
- Martínez, Pablo.** (1956). "Historia de Baja California". Editorial Baja California. México D.F., 605 pp.
- Martínez, Pablo.** (1984). "En las cinco fundaciones de La Paz, B.C.S." Cuadernos de Historia, 5. Archivo Histórico Pablo L. Martínez. La Paz, B.C.S.
- INEGI e INAH.** (1990). "Estadísticas Históricas de México". Tomo I. México D.F., 504 pp.
- INEGI.** (1991). "XI Censo de Población y Vivienda". México D.F.
- INEGI.** (1993). "Diccionario de Nombres Geográficos. Cabeceras Municipales de Baja California Sur", 20 pp.
- INEGI.** (1995). "Baja California Sur. Censo 1995. Resultados Definitivos Tabulados Básicos". México, 181 pp.
- Reygadas, Fermín y Guillermo Velázquez.** (1983). "El grupo Pericú de Baja California". FONAPAS, H. Ayuntamiento de Los Cabos. La Paz, B.C.S., 119 pp.
- Southworth, J.R.** (1989). "Baja California Ilustrada". Gobierno del Estado de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., 91 pp.

Capítulo 3.

- C.N.A. Datos Meteorológicos y Climatológicos de La Paz, San Pedro, Bonfil, y El Cajoncito. Comisión Nacional del Agua. La Paz, B.C.S.
- Jáuregui, Ernesto, (1971). "Mesomicroclima de la Cd. de México". Instituto de Geografía, UNAM., México D.F., 89 pp.
- Jáuregui, Ernesto, (1984). "Los climas urbanos tropicales: revisión y evaluación". Organización Meteorológica Mundial. Documentos de la Conferencia Técnica. N° 652. Ginebra, 1988, p: 22-38.
- Jáuregui, Ernesto, (1991). "Urbanization Effects on the Bioclimate of Tropical Cities in Central Mexico." Tenth Conference of Biometeorology and Aerobiology. Salt Lake City, U.S.A.
- Landsberg, Helmut E. (1981). "The urban climate". Academic Press. London. 276 pp.
- Lutgens, F. (1989). "The Atmosphere: an Introduction to Meteorology". Prentice Hall. E.U.A., 491 pp.
- Marsh, W. y J. Dozier. (1981). "Landscape, an Introduction to Physical Geography". Addison-Wesley. E.U.A., 637 pp.
- Oke, T.R. (1984). "La Climatología urbana y las ciudades tropicales: una introducción al tema". Organización Meteorológica Mundial. Documentos de la Conferencia Técnica. N° 652. Ginebra, 1988, p: 1-21.
- Oke, T.R. (1987). "Boundary Layer Climates". Methuen & Co. London, 435 pp.
- Oke, T.R. (1991). "Climate in Human Perspective: A Tribute to Helmut E. Landsberg" Baer F. Canfield N.L., Mitchell J.M. Atmospheric Sciences Library. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/Lonfdon, 145 pp.
- Taesler, Roger. (1984). "Métodos y Datos sobre Climatología Urbana. Organización Meteorológica Mundial. Documentos de la Conferencia Técnica. N° 652. Ginebra, 1988, p: 175-206.
- Southworth, J.R. (1989). "Baja California Ilustrada". Gobierno del Estado de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., 91 pp.
- Wark, Kenneth y Cecil Warner. (1990). "Contaminación del aire. Origen y control". Limusa. México-España.
- W.M.O. (1970). "Meteorological Aspects of Air Pollution". Technical Note No. 106. Geneva.

Capítulo 4.

- Chowdhury, A. y H.R. Ganesan. (1983). "Meteorological requirements on airconditioning in relation to human habitat for comfort". *Mausam* 34, 3:281-286.
- Driscoll, Dennis. (1991). "Biometeorology". Baer F. Canfield N.L., Mitchell J.M. Atmospheric Sciences Library. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston/ London, 145 pp.
- Farah, Luis. (1994). "La vivienda en clima cálido seco". 1er. Taller de Helio-Arquitectura. Instituto Tecnológico de La Paz. B.C.S.

- Flores, Fernando y Angela Cabeza de Flores.** (1990). "Endocrinología". Editorial Méndez Cervantes. México D.F.
- García, José.** (1994). "Vivienda bioclimatizada y ecológica para Baja California Sur". 1er. Taller de Helio-Arquitectura. Instituto Tecnológico de La Paz. B.C.S.,
- Givoni, Baruch.** (1984). "Proyectos adaptados al clima para las ciudades cálidas y secas". Documentos de la Conferencia Técnica, Organización Meteorológica Mundial. O.M.M. No. 652. Ginebra, 1988, p: 428-448.
- Givoni, Baruch.** (1989). "Urban Design in Different Climates". World Meteorological Organization. WMO/TD.No.346, WCAP-10. Geneva.
- Gregorczyk, M. y K. Cena.** (1967). "Distribution of Effective Temperature over the Surface of the Earth". Int. J. Biometeorology. Vol. 11, No. 2, p: 145-149.
- Hounam, C.E.** (1967). "Meteorological Factors Affecting Physical Comfort (with Special Reference to Alice Springs, Australia)". Int. J. Biometeorology, Vol. 11, N. 2, p: 151-162.
- Jáuregui, Ernesto.** (a). "Urban Bioclimatology in Developing Countries". Center Atmospheric Sciences. UNAM., México, 9 pp.
- Jáuregui, Ernesto.** (1991). "The Human Climate of Tropical Cities: an overview". Int. J. Biometeorology. 35: 151-160.
- Landsberg, H.E.** (1984). "Climate and Health". Natural Resources and the Environment Series, Vol. 13. Tycooly International. Dublin, p: 26-64.
- Magallón, Alejandro.** (1984-a). "Sobrecarga Crítica de Calor Inducida por el Ejercicio (Heat Stroke). Presentación de Nueve Casos y Revisión General (Primera de dos Partes)". Revista Sanidad Militar México. Vol. 38, Núm 2. México, p: 41-49.
- Magallón, Alejandro.** (1984). "Sobrecarga Crítica de Calor Inducida por el Ejercicio (Heat Stroke). Presentación de Nueve Casos y Revisión General (Segunda de dos Partes)". Revista Sanidad Militar México. Vol. 38, Núm 3. México, p: 79-90.
- Márquez de la Mora, Adriana.** (1984). "Algunos Aspectos del Bioclima en Zonas Secas del Noroeste de México". Tesis profesional. UNAM., México D.F., 251 pp.
- Merck Sharp.** (1977), "The Merck Manual of Diagnosis and Therapy". E.U. 2165 pp.
- Oke, T.R.** (1984). "La climatología urbana y las ciudades tropicales: una introducción al tema". Documentos de la Conferencia Técnica. Organización Meteorológica Mundial, O.M.M. No. 652,. Ginebra, 1988, p: 1-21.
- Oke, T.R.** (1987). "Boundary Layer Climates". Methuen & Co. London, 435 pp.
- Oliver, John.** (1981). "Climatology: Selected Applications" Winston & Sons, U.S.A., 260 pp.
- Petersdorf, Robert.** (1994). "Principles of Internal Medicine". Harrisons, International Edition (13 de.), USA.
- Plasencia, Arturo.** (1991). "Diseño Bioclimático". Universidad Autónoma del estado de México. Toluca, 53 pp.
- Plasencia, Arturo.** (1994). "Conceptos Básicos del Diseño Bioclimático en zonas áridas y semiáridas". 1er. Taller de Helio-Arquitectura. Instituto Tecnológico de La Paz. B.C.S.
- Sánchez, Luis.** (1984). "Confort Humano en ciudades de clima tropical". Documentos de la Conferencia Técnica. Organización Meteorológica Mundial, O.M.M. No. 652. Ginebra, 1988, p: 312-355.

- Stoddart, D.R.** (1987). "On Geography and its History". Blackwell. Oxford, 335 pp.
- Tromp, S.W.** (1963). "Medical Biometeorology". Elsevier Publishing Company. Amsterdam/London/New York.
- UNAM** (1989). "Atlas Nacional de México". V.2.2.
- WHO/ WMO/ UNEP** (World Health Organization, World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme). (1996). "Climate Change and Human Health". A.J. McMichael, A. Haines, R. Slooff y S. Kovats (eds.), WHO/EHG/96.7, Geneva, 297 pp.
- Weihe, W.H.** (1984). "La esperanza de vida en los climas tropicales en función de la urbanización". O.M.M. No. 652. Ginebra, 1988, p: 274-311.
- Wark, Kenneth y Cecil Warner.** (1990). "Contaminación del aire. Origen y control". Limusa. México-España.
- W.M.O.** (1970). "Meteorological Aspects of Air Pollution". Technical Note No. 106. Geneva.
- WMO/ WHO/ UNEP** (World Meteorological Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme). (1996). "Climate and Health". WMO- No. 843, Geneva, 24 pp.

Capítulo 5.

- Arellano, Horacio.** (1994). "Normatividad para la aplicación de elementos bioclimáticos en viviendas. Y su aplicación al reglamento de construcciones del estado de Baja California Sur." 1er. Taller de Helio-rquitectura. Instituto Tecnológico de La Paz, B.C.S.
- Farah, Luis.** (1994). "La vivienda en clima cálido seco". 1er. Taller de Helio-rquitectura. Instituto Tecnológico de La Paz. B.C.S.
- Jáuregui, Ernesto.** (a). "Urban Bioclimatology in Developing Countries". Center Atmospheric Sciences. UNAM., México, 9 pp.
- Robles Gil, Sandra** (1997). "Información Climatológica para el Uso de la Energía Solar". World Meteorological Organization, WCASP-41, W.M.O./TD-No. 816. Ginebra, p: 75-120.
- Weihe, W.H.** (1984). "La esperanza de vida en los climas tropicales en función de la urbanización". Documentos de la Conferencia Técnica. Organización Meteorológica Mundial, O.M.M. No. 652., Ginebra, 1988, p:274-311.

Glosario

- Catala de Alemany, J.** (1986). "Diccionario de Meteorología". Alhambra. Madrid, 270 pp.
- Whittow, John.** (1984). "Dictionary of Physical Geography". The Penguin. England, 591 pp.
- Balanzario, José.** (1975). "Catálogo de Términos Geográficos". Argirin Publicidad. México D.F., 96 pp.
- Vila, R.** "Atlas de Meteorología". Ediciones Jover. Barcelona..
- World Meteorological Organization.** (1981). "Meteorological Aspects of the Utilization of Solar Radiation as an Energy Source". Technical Note N. 172. Geneva, 298 pp.

FIGURAS

Capítulo 1.

1. Velocidad y dirección del viento (nudos), 12 horas T.M.G., 1993.
2. Velocidad y dirección del viento (nudos), 00 horas T.M.G., 1993.
3. Dirección, intensidad y frecuencia del viento. Enero, febrero y marzo (1992-1994).
4. Dirección, intensidad y frecuencia del viento. Abril, mayo y junio (1992-1994).
5. Dirección, intensidad y frecuencia del viento. Julio, agosto y septiembre (1992-1994).
6. Dirección, intensidad y frecuencia del viento. Octubre, noviembre y diciembre (1992-1994).
7. Climograma.
8. Gráfica Solar.
9. Situación del Sol al amanecer en La Paz.
10. Salidas, puestas del Sol, y crepúsculos civiles.
11. Distribución de la temperatura en altura, 12 horas T.M.G., 1993.
12. Distribución de la temperatura en altura, 00 horas T.M.G., 1993.

Capítulo 2.

13. Corte transversal del relieve de La Paz y sus alrededores.

Capítulo 3.

- 14a. Circulación del aire en la ciudad.
- 14 b. Resultado de la influencia del viento sobre la atmósfera urbana.
- 14 c. Efecto del tipo de superficie en la temperatura ambiente.
15. Influencia del mar y del relieve en la nubosidad y la precipitación en la zona de La Paz.

Capítulo 4.

16. Termorregulación.
17. Comportamiento térmico de las construcciones.

Capítulo 5.

18. Diagrama de control bioclimático en los edificios.
19. Protección contra el asoleamiento.
20. Generación de corrientes de aire.

GRAFICAS

Capítulo 1.

1. Insolación media diaria.
2. Radiación solar media diaria.
3. Temperatura media mensual.
4. Temperatura máxima mensual promedio.
5. Frecuencia de días con más de 30° C.
6. Frecuencia anual de días consecutivos con más de 30° C.
7. Temperatura mínima promedio.
8. Oscilación térmica mensual.
9. Profundidad media de la inversión térmica.
10. Gradiente de temperatura de la inversión térmica.
11. Frecuencia de las inversiones térmicas superficiales.
12. Frecuencia de días con calima.
13. Frecuencia de días con polvo.
14. Evaporación media mensual del tanque tipo A.
15. Humedad relativa mensual.
16. Tensión mensual del vapor de agua.
17. Frecuencia de días con rocío.
18. Frecuencia de días con niebla.
19. Estado del cielo.
20. Cobertura media mensual de las nubes.
21. Precipitación anual y media anual.
22. Precipitación anual y moda anual.
23. Precipitación mensual.
24. Frecuencia de días con lluvia.
25. Frecuencia de días con lluvia, por intensidades.
26. Intensidad media de la lluvia.
27. Relación de la precipitación anual con la ciclónica.
28. Porcentaje de ciclones tropicales que aportaron lluvia a La Paz.

Capítulo 2.

29. Número de habitantes.

Capítulo 3.

30. Temperatura media y tendencia anual. Observatorio de La Paz.
31. Temperatura media de verano y tendencia anual. Observatorio de La Paz.
32. Temperatura media de invierno y tendencia anual. Observatorio de La Paz.
33. Temperatura máxima promedio y tendencia anual. Observatorio de La Paz.
34. Temperatura mínima promedio y tendencia anual. Observatorio de La Paz.
35. Temperatura media y tendencia anual. Estación climatológica de La Paz.
36. Diferencia de temperatura entre el Observatorio y la estación de La Paz.
37. Temperatura media y tendencia anual. San Pedro.
38. Diferencia de temperatura entre el Observatorio y San Pedro.

39. Temperatura media y tendencia anual. El Cajoncito.
40. Diferencia de temperatura entre el Observatorio y El Cajoncito.
41. Temperatura media y tendencia anual. Bonfil.
42. Diferencia de temperatura entre el Observatorio y Bonfil.
43. Diferencia de la temperatura mínima entre La Paz y San Pedro.

ANEXOS

Capítulo 1.

1. Frecuencia y velocidad del viento. Enero (1992-1994).
2. Frecuencia y velocidad del viento. Febrero (1992-1994).
3. Frecuencia y velocidad del viento. Marzo (1992-1994).
4. Frecuencia y velocidad del viento. Abril (1992-1994).
5. Frecuencia y velocidad del viento. Mayo (1992-1994).
6. Frecuencia y velocidad del viento. Junio (1992-1994).
7. Frecuencia y velocidad del viento. Julio (1992-1994).
8. Frecuencia y velocidad del viento. Agosto (1992-1994).
9. Frecuencia y velocidad del viento. Septiembre (1992-1994).
10. Frecuencia y velocidad del viento. Octubre (1992-1994).
11. Frecuencia y velocidad del viento. Noviembre (1992-1994).
12. Frecuencia y velocidad del viento. Diciembre (1992-1994).
13. Altura del Sol sobre el horizonte.
14. Gráfica Solar.
15. Salidas, puestas del Sol y crepúsculos civiles.
16. Precipitación anual de enero.
17. Precipitación anual de febrero.
18. Precipitación anual de marzo.
19. Precipitación anual de abril.
20. Precipitación anual de mayo.
21. Precipitación anual de junio.
22. Precipitación anual de julio.
23. Precipitación anual de agosto.
24. Precipitación anual de septiembre.
25. Precipitación anual de octubre.
26. Precipitación anual de noviembre.
27. Precipitación anual de diciembre.
28. Anomalías anuales de precipitación con respecto a la moda.
29. Contribución de los ciclones tropicales a la precipitación en La Paz.

Capítulo 4.

30. Tabla para obtener la Temperatura Efectiva.

TABLAS

Capítulo 1.

1. Distribución de la insolación.
2. Distribución de la temperatura.

Capítulo 2.

3. Distribución del uso del suelo en la ciudad de La Paz.
4. Número de habitantes y viviendas en la ciudad de La Paz.
5. Número de vehículos en la ciudad de La Paz.

Capítulo 3.

6. Tendencias de la temperatura en La Paz.
7. Tendencias de las diferencias de temperatura entre el Observatorio y las estaciones climatológicas.
8. Diferencias entre la precipitación urbana de La Paz y las zonas rurales.

Capítulo 4.

9. Proporción metabólica de varias actividades en el ser humano.
10. Balance térmico del cuerpo humano.
11. Resumen de respuestas del ser humano al medio externo.
12. Escala de la temperatura efectiva y complicaciones por una sobrecarga de calor.
13. Distribución de la temperatura efectiva en La Paz.

Capítulo 5.

14. Ropa recomendada en los climas cálidos.