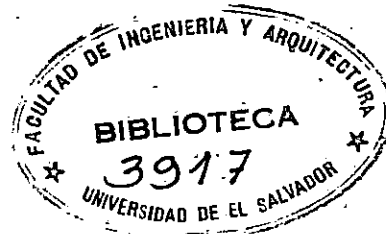


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Ej. 2

T-UES
1501
D352e
1994

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



"ESTUDIO DE LA RED DE REGISTRO DE DATOS CLIMATOLOGICOS EN EL SALVADOR Y PROPUESTAS PARA SU MEJORAMIENTO Y AUTOMATIZACION"

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

FRANCISCO JOSE DELGADO OLIVARES
JOEL PANIAGUA TORRES
ELIA ROXANA RODRIGUEZ LUNA

1510/858

1510/858

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

NOVIEMBRE DE 1994

SAN SALVADOR

EL SALVADOR

CENTRO AMERICA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:
DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL:
LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:
ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO:
ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:
ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A LA OPCION AL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL

**"ESTUDIO DE LA RED DE REGISTRO DE DATOS CLIMATOLOGICOS EN EL
SALVADOR Y PROPUESTAS PARA SU MEJORAMIENTO Y
AUTOMATIZACION"**

PRESENTADO POR:

FRANCISCO JOSE DELGADO OLIVARES

JOEL PANIAGUA TORRES

ELIA ROXANA RODRIGUEZ LUNA

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

COORDINADOR Y
ASESOR :


Ing. JOSE MARIO SORTO

ASESOR :


Ing. HERNAN ROMERO CHAVARRIA

SAN SALVADOR, NOVIEMBRE DE 1994

AGRADECIMIENTOS

A nuestra querida Alma Mater y máximo centro de estudios del país "UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR", por habernos dado el conocimiento y la formación para desempeñarnos como profesionales capaces de servir a nuestro pueblo.

Deseamos hacer patentes nuestros sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que en muchas formas nos ayudaron al desarrollo de este trabajo, aportandonos parte de su valiosa experiencia de manera desinteresada y atenta.

Especialmente queremos expresar nuestra deuda por el apoyo incondicional que recibimos por parte del personal de la DIVISION DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA, quienes en todo momento nos ayudaron en el desarrollo de nuestra investigación.

Enorme agradecimiento a nuestros asesores, Ing. José Mario Sorto e Ing. Hernán Romero Chavarría, quienes con su consejo y su conocimiento han hecho posible la culminación de este significativo paso. Queremos expresar el compromiso que en su nombre hemos adquirido para prestar servicio y colaboración a aquellos que nos lo requieran, así como también por la investigación y promoción de esta importante profesión.

Por el aliento y el interés mostrado, hay tantas personas a quienes debemos su apoyo.

A TODOS NUESTROS MAESTROS, QUE EN SU OPORTUNIDAD CONTRIBUYERON A ESTE LOGRO CON SU EXCELENTE ENSEÑANZA Y LOS VALIOSOS APORTES FRUTO DE SU EXPERIENCIA, NUESTRO ETERNO AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO, por las puertas que constantemente ha abierto para ayudarme.

A mi madre, Any, porque para ella este momento representa la culminación de uno de sus mayores anhelos, y Dios sabe, que sus sacrificios han sido grandes.

A mis hermanos y demás familiares, por el cariño y la comprensión de toda la vida.

A Roxana y Joel, inspirado en cuyo empeño, he reunido ánimos para terminar este paso.

A todos los amigos que me han motivado constantemente.

Mis más sinceros agradecimientos,

Francisco José

DEDICATORIA

Al **Todopoderoso**, por haberme iluminado el camino para llegar a la meta que hoy he alcanzado

A mis padres: **Alfredo y Venancia**, por haberme apoyado en todo este largo camino, brindándome toda la ayuda necesaria

A mis hermanos: **Noe, Jorge, Alfredo**, y en especial a mi hermana **María Luz** por haberme brindado apoyo moral y económico, y a **Daniel**, por haberme dado incentivos para lograr este triunfo.

A todos ellos, gracias

Joel

DEDICO ESTE TRIUNFO:

A DIOS TODOPODEROSO, por darme la oportunidad de terminar esta carrera.

A mis padres, OSCAR AUGUSTO y MARIA CONCEPCION, por todo su sacrificio y muestras de amor en todo momento

A mis hermanos y demás familia, por su apoyo y cariño

A mis compañeros, por la comprensión y ayuda que me brindaron a lo largo de la carrera

Roxana

INDICE

TEMA	Pág.
CAPITULO I. INTRODUCCION	
1.1. JUSTIFICACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. OBJETIVOS	5
1.3. LIMITACIONES	6
1.4. ALCANCES	6
1.5. METODOLOGIA	7
CAPITULO II. CONCEPTOS BASICOS, CLIMATOLOGIA Y CIENCIAS AFINES	
2.1. INTRODUCCION	9
2.2. METEOROLOGIA	9
2.3. EL CLIMA	10
2.3.1. CLASIFICACION DE LOS CLIMAS	12
2.4. TIEMPO	14
2.5. HIDROLOGIA	15
2.6. GEOGRAFIA	18
2.7. MEDIO AMBIENTE	19
2.8. LA ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL	20
CAPITULO III. VARIABLES CLIMATOLOGICAS	
3.1. INTRODUCCION	24
3.2. TEMPERATURA DEL AIRE	25
3.2.1. TEMPERATURA MEDIA DIARIA	25
3.2.2. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	26
3.2.3. TEMPERATURA MEDIA ANUAL	26
3.2.4. TEMPERATURAS NORMALES	26
3.2.5. TERMOGRAFOS	31

3.2.6. TERMOMETRO DE MAXIMA	33
3.2.7. TERMOMETRO DE MINIMA	34
3.3. VIENTO	36
3.3.1. VIENTOS ALISIOS	38
3.3.2. MONZONES	38
3.3.3. MASAS DE AIRE	39
3.3.4. FRENTES	39
3.3.5. HURACANES	40
3.3.6. VIENTOS DIARIOS O LOCALES	41
3.3.7. MEDICION DE LA VELOCIDAD	42
3.3.8. DIRECCION DEL VIENTO	43
3.4. PRESION ATMOSFERICA	47
3.4.1. VARIACIONES DIARIAS DE LA PRESION ATMOSFERICA	49
3.4.2. VARIACIONES ANUALES DE LA PRESION ATMOSFERICA	50
3.4.3. VARIACIONES DEBIDAS A LA ALTURA	51
3.4.4. DISTRIBUCION DE LA PRESION SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE	52
3.4.5. MEDICION DE LA PRESION	54
3.4.6. UNIDADES DE PRESION O BAROMETRICAS MAS UTILIZADAS .	57
3.5. RADIACION SOLAR	57
3.5.1. CARACTERISTICAS DEL ESPECTRO SOLAR Y SU DISTRIBUCION GEOGRAFICA	58
3.5.2. EFECTO DE LA ATMOSFERA EN LA RADIACION SOLAR	62
3.5.3. VARIACION ANUAL DE LA RADIACION RECIBIDA	65
3.5.4. BRILLO SOLAR	66
3.5.5. MEDICION DEL BRILLO SOLAR	66
3.6. PRECIPITACION	69
3.6.1. PLUVIOMETRO DE HELLMANN	72
3.7. HUMEDAD EN EL AIRE	75

3.7.1. MEDICION DE LA CANTIDAD DE VAPOR EN EL AIRE	76
3.7.2. CONDENSACION DEL VAPOR DE AGUA	80
3.7.3. NUBES Y ROCIO	82
3.7.4. CLASIFICACION DE LAS NUBES	82
3.7.5. ROCIO	84
3.7.6. NIEBLA	85
3.7.7. NUBOSIDAD E INSOLACION	85
3.7.8. MEDICION	86
3.8. METODOS ESTADISTICOS	87
3.8.1. ANALISIS DE DOBLE MASA.	87
3.8.2. INTERPOLACION DE LOS DATOS	88
3.8.3. PRECIPITACION MEDIA (POLIGONOS DE THIESSEN)	88
3.8.4. PRECIPITACION MEDIA	89
3.9. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE EL SALVADOR	89
3.9.1. TEMPERATURAS	93
3.9.2. PRESION ATMOSFERICA	94
3.9.3. PRECIPITACION	94
3.9.4. VIENTO	95

CAPITULO IV. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

4.1. INTRODUCCION	97
4.2. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA	98
4.2.1. EN QUE CONSISTE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA	100
4.2.2. OPERACIONES ESPACIALES	103
4.2.3. RELACIONES DE DATOS	103
4.2.4. CONSULTAS TIPICAS	105

4.2.5. DESARROLLO HISTORICO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA	107
4.3. TELEDETECCION	108
4.3.1. VENTAJAS DE LA TELEDETECCION ESPACIAL	109
4.3.2. PRINCIPIOS FISICOS	111
4.3.3. TIPO DE SISTEMAS DE TELEDETECCION	112
4.3.4. PROGRAMAS PERMANENTES DE TELEDETECCION	115
4.3.5. CONTROL INTERNACIONAL	117
4.4. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL Y SU INTEGRACION CON SIG	119
4.4.1. OPERACION Y PRECISION DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	119
4.4.2. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA	120
4.4.3. INTEGRACION SIG - GPS	121
4.5. ORGANIZACION INTERNA DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA	122
4.5.1. ESTRUCTURAS DE INFORMACION EN LOS SIG	126
4.5.2. PROCESAMIENTO DE IMAGENES	128
4.6. IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA	129
4.6.1. PERSONAL INVOLUCRADO EN LA OPERACION DE SIG	131
4.6.2. CONFIGURACION DEL EQUIPO	134
4.7. IMPACTO ORGANIZACIONAL DE LOS SIG	136
4.7.1. DISMINUCION DE LAS REDUNDANCIAS E INCONSISTENCIAS ..	138
4.7.2. INTEGRACION INTERDEPARTAMENTAL	138
4.7.3. FUNCION DE AGREGACION	139
4.7.4. PROBLEMAS PARA LA TRANSFORMACION ORGANIZACIONAL	140
4.8. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA ...	141
4.8.1. DESARROLLO HISTORICO	141

4.8.2. APLICACION AL MANEJO DE RECURSOS HIDRICOS Y DEL USO DE LA TIERRA	142
4.8.3. MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL	143
4.8.4. MAPAS DE TRANSPORTE Y REDES VIALES	144
4.8.5. CATASTRO	145
CAPITULO V. ESTUDIO DE LA RED DE REGISTRO DE DATOS CLIMATOLOGICOS EN EL SALVADOR Y PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO	
5.1. ANTECEDENTES	148
5.1.1. HISTORIA DE LA FORMACION DEL SERVICIO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA	148
5.1.2. EL PAPEL DEL SERVICIO DENTRO DEL MARCO DE PLANIFICACION NACIONAL	150
5.2. ORGANIZACION DEL SERVICIO METEOROLOGICO	152
5.2.1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	152
5.2.2. RECURSOS HUMANOS	153
5.2.3. EQUIPAMIENTO PARA MEDICION Y ANALISIS	154
5.2.4. PROBLEMAS ACTUALES REFERENTES A LA ORGANIZACION ..	156
5.2.5. PLANES Y PROYECTOS DE MODERNIZACION EXISTENTES	157
5.3. DESCRIPCION DE LA RED HIDROMETEOROLOGICA	160
5.3.1. TIPOS DE ESTACIONES Y EQUIPAMIENTO	161
5.3.2. UBICACION DE ESTACIONES Y ESTACIONES SUSPENDIDAS ..	162
5.3.3. PROBLEMAS REFERENTES A LA OPERACION DE LA RED	165
5.3.4. COMENTARIOS AL MANUAL DE INSTRUCCIONES	166
5.4. RECOLECCION, PROCESAMIENTO Y DIFUSION DEL DATO CLIMATOLOGICO	167
5.4.1. SUPERVISION DE LA RECOLECCION DEL DATO	169
5.4.2. MANEJO DE LA INFORMACION RECOLECTADA	170

5.5. ACTIVIDADES REQUERIDAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA RED	172
5.5.1. CAPACITACION	172
5.5.2. MONITOREO DE LAS ESTACIONES	175
5.5.3. RECUPERACION DE ESTACIONES Y AMPLIACION DE LA RED . .	176
5.6. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO	180
5.6.1. ALTERNATIVA 1	180
5.6.2. ALTERNATIVA 2	181
5.6.3. ALTERNATIVA 3	182
5.6.4. SELECCION DE LA ALTERNATIVA OPTIMA	183

CAPITULO VI. DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACION CLIMATOLOGICA

6.1. ANTECEDENTES	186
6.2. USUARIOS POTENCIALES	186
6.3. DESCRIPCION Y JUSTIFICACION DEL SISTEMA	189
6.4. INFORMACION REQUERIDA	190
6.4.1. SUELOS Y VEGETACION	192
6.4.2. RECURSOS HIDRICOS	192
6.4.3. TOPOGRAFIA Y GEOGRAFIA	193
6.4.4. VARIABLES CLIMATOLOGICAS	193
6.5. DISEÑO GENERAL PARA EL SISTEMA DE INFORMACION DEL SERVICIO METEOROLOGICO DE EL SALVADOR	195
6.5.1. SOFTWARE DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA . . .	195
6.5.2. EQUIPAMIENTO	196
6.5.3. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES DEL SISTEMA	197
6.6. SELECCION DEL SISTEMA	199
6.7. EQUIPO REQUERIDO	201
6.7.1. ESTACIONES DE TRABAJO	201
6.7.2. DISPOSITIVOS PARA ALMACENAMIENTO FUERA DE LINEA . . .	202

6.7.3. GPS	203
6.7.4. OTROS PERIFERICOS	204
6.8. TELEDETECCION	204
6.9. RESUMEN DE COSTOS	205
 CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1. CONCLUSIONES	209
7.1.1. RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION	209
7.1.2. CAPACITACION DEL PERSONAL Y OBSERVADORES	209
7.1.3. EQUIPO DE COMPUTACION	210
7.1.4. NORMAS INTERNACIONALES	210
7.1.5. ADMINISTRACION	211
7.1.6. APOYO INTERNACIONAL	211
7.1.7. ANALISIS DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA	212
7.1.8. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE INFORMACION	213
7.2. RECOMENDACIONES	214
7.2.1. DISTRIBUCION DE LA INFORMACION	214
7.2.2. AMPLIACION DE LA RED	215
7.2.3. SOSTENIBILIDAD DE LAS MEJORAS	215
7.2.4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE INFORMACION	216
 RESUMEN	 217
 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	 220

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1. ISOTERMAS DE ENERO	28
2. ISOTERMAS DE MARZO	29
3. ABRIGO METEOROLOGICO ABIERTO, MOSTRANDO LA POSICION DEL ASPIROPSICROMETRO Y TERMOMETRO DE MAXIMA Y MINIMA	30
4. TERMOGRAFO	32
5. DETALLE DEL TERMOMETRO DE MAXIMA	33
6. DETALLE DEL TERMOMETRO DE MAXIMA	34
7. ESQUEMA DE LA CIRCULACION GENERAL DE LA ATMOSFERA	37
8. DIRECCION DE LOS VIENTOS DURANTE EL DIA Y LA NOCHE	41
9. ANEMOMETRO DE ROBINSON	42
10. VELETA Y DISPOSITIVO PARA DETERMINAR VELOCIDAD	44
11. DISTANCIA HORIZONTAL MINIMA EXIGIDA ENTRE EL ANEMOGRAFO Y LOS ARBOLES	45
12. COMPORTAMIENTO DEL VIENTO ANTE UN EDIFICIO	46
13. DISMINUCION DE LA DENSIDAD DEL AIRE Y SU PRESION CON LA ALTURA ..	48
14. TRAZOS DEL BAROGRAFO QUE MUESTRAN LAS VARIACIONES DIARIAS DE LA PRESION ATMOSFERICA AL NIVEL DEL MAR PARA LAS LATITUDES MEDIAS Y EL TROPICO	
15. BAROMETRO DE MERCURIO	54
16. BAROMETRO ANEROIDE	55
17. BAROGRAFO	56
18. ESPECTRO ELECTROMAGNETICO DEL SOL	59
19. GRAFICOS QUE PRESENTAN LA ENERGIA EMITIDA DESDE 1 CM ² DE LA SUPERFICIE DEL SOL Y DE LA TIERRA	61
20. ILUSTRACION DEL FENOMENO DE DISPERSION, QUE PROVOCA EL CAMBIO APARENTE EN EL COLOR DEL SOL Y DEL CIELO	64
21. PLUVIOGRAFO DE FLOTADOR	71
22. FORMA DE COLOCAR EL PLUVIOGRAFO	72

FIGURA	Pág.
23. PLUVIOGRAFO DE HELLMAN	73
24. GRAFICO QUE MUESTRA LA RELACION ENTRE TEMPERATURA Y PRESION DE VAPOR	77
25. HIGROGRAFO	78
26. INTERRELACION DEL SIG CON EL EXTERIOR, MUNDO REAL Y USUARIOS . . .	102
27. ELEMENTOS DE INFORMACION QUE DAN SOPORTE AL SIG	102
28. RELACION DIFUSA DE LOS DATOS	105
29. ESQUEMA DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO	110
30. COMPONENTES DE SOFTWARE DEL SIG	123
31. REPRESENTACION DEL MUNDO REAL POR MEDIO DE MAPAS	124
32. INTEGRACION DE INFORMACION RECOPIADA EN UNIDADES PEQUEÑAS . .	137
33. ESTACIONES CLIMATOLOGICAS TIPO "A" Y "B"	164

SIGLAS UTILIZADAS

AID	Agencia Internacional para el Desarrollo
ANDA	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
ANTEL	Administración Nacional de Telecomunicaciones
AVHRR	Radar Automático de Muy Alta Resolución
CENREN	Centro de Recursos Naturales Renovables
CENTA	Centro de Transformación Agraria
CEPA	Comisión Ejecutiva Portuaria de Acajutla
CNES	Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia
CPU	Unidad Central de Proceso
CRRH	Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Istmo Centroamericano
CZCS	Escáner de Color para Zonas Costeras
DGRNR	Dirección General de Recursos Naturales Renovables
DUA	Dirección de Urbanismo y Arquitectura
ESRI	Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales
FAO	Organización Mundial de la Alimentación
FINNIDA	Agencia Finlandesa de Desarrollo Internacional
GOES	Satélite Ambiental de Operación Geoestacionaria
GPS	Sistemas de Posicionamiento Global
HCMR	Radar de Mapeo de la Capacidad Térmica
IMF	Instituto Meteorológico Finlandés
IMPE	Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil
LARS	Laboratorio de Aplicaciones de Monitoreo Remoto
LIDAR	Radar para Detección y Clasificación de la Luz
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MSS	Escáner Multiespectral
OMI	Organización Meteorológica Internacional
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSPA	Oficina Sectorial de Planificación
PMC	Programa Mundial sobre el Clima

PRIMSCEN	Proyecto Para la Rehabilitación y Mejoramiento de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos del Istmo Centroamericano
PROCAFE	Fundación Salvadoreña par Investigaciones del Café
PROMESA	Proyecto Protección del Medio Ambiente en El Salvador
RESTEC	Centro de Tecnología de Monitoreo Remoto
SAR	Radars de Apertura Sintética
SIG	Sistema(s) de Información Geográfica
SLAR	Radars Aerotransportados de Vistas Laterales
TM	Mapeador Temático
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación
VAG	Vigilancia de la Atmósfera Global
VMM	Vigilancia Meteorológica Mundial

CAPITULO I.

INTRODUCCION

1.1. JUSTIFICACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El medio ambiente sufre un deterioro alarmante en todo el mundo, a la vez que se incrementa la presión sobre los recursos naturales. Se ha puesto en evidencia la necesidad de realizar obras destinadas a conservar el medio ambiente. El Salvador, en estos momentos, cuenta con asistencia técnica y cooperación financiera internacional para la implementación de programas de conservación del Medio Ambiente.

Actualmente en el país se realizan estudios en las áreas de: conservación de suelos, control de la contaminación hídrica, protección contra desastres naturales, áreas protegidas, conservación de la biodiversidad, y otros. Todos los estudios realizados en estos campos requieren del análisis y procesamiento de datos climatológicos, como son: temperatura, precipitación, viento, y otros.

Además, gran cantidad de obras civiles de fuerte impacto social, como son proyectos de transporte, riego y drenaje, producción hidroeléctrica, vías de paso, etc., hacen uso de datos climatológicos (principalmente de la precipitación, pero el resto de parámetros climatológicos tiene, también, una influencia cuantificable en el diseño de las obras).

Los datos climatológicos recopilados en el país son insuficientes y no existen sistemas de información implementados que permitan agilizar las consultas y obtener datos de mejor calidad. Esto evidentemente dificulta la realización de estudios y en cuanto a la construcción de obras hidráulicas, conduce a un sobredimensionamiento de las obras debido a los factores de seguridad incrementados por la poca confiabilidad en las aproximaciones obtenidas. Por otra parte, la conservación del medio ambiente, requiere que se mecanicen la información climatológica para poderla incluir en sistemas de evaluación de impacto ambiental conjuntamente con datos provenientes de otras áreas relacionadas con el manejo de recursos y la planificación regional y urbana.

Existen serias limitaciones en cuanto a la disponibilidad de la información obtenida a través de la red meteorológica nacional además de la inconsistencia de los registros y los grandes períodos sin registro alguno en muchas de las estaciones (algunas de las cuales, actualmente

se encuentran en total abandono). En gran parte el problema de la disponibilidad del dato climatológico tiene su fondo en el conflicto socioeconómico en que se ha encontrado el país en las dos últimas décadas. Ya que la necesidad de priorizar en otros aspectos del quehacer nacional, ha provocado un abandono casi completo de las instalaciones de medición climatológica, y se han hecho muy pocos esfuerzos encaminados hacia la modernización del equipo y los métodos.

Por otro lado hay que resaltar que generalmente se requiere interrelacionar esta información con otros parámetros como capacidad de uso y uso actual de la tierra, población, división político-departamental o catastral, vías de acceso, potencial de explotación minera, disponibilidad de recursos hídricos, geología y otros.

Estas dificultades pueden superarse, utilizando las tecnologías modernas, así como implementando programas de equipamiento y capacitación de las instituciones relacionadas con el registro y almacenamiento de información climatológica.

Un interés primordial del presente estudio, es presentar las especificaciones técnicas para el diseño e implementación de un sistema computarizado para el manejo de la información climatológica, en combinación con otras categorías de datos sobre el medio ambiente, que se constituya en una herramienta de planificación y administración de los recursos naturales. Como resultado de la investigación desarrollada en este estudio se ha llegado a la conclusión de que la tecnología de información adecuada para estos fines es la de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en conjunto con otras tecnologías, como son las Imágenes de Satélite, y los muestreos de campo con auxilio de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

Actualmente, los avances tecnológicos permiten la implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) a costos mucho menores que hace menos de una década, lo cual los convierte en una alternativa viable y de gran utilidad en el manejo de Recursos Naturales y Conservación del Medio Ambiente.

De acuerdo al Almanaque Salvadoreño de 1993, editado por el Centro de Meteorología e Hidrología, existen justificaciones importantes para la realización de estudios sistemáticos sobre el clima. Literalmente indica:

Por el costo significativo de la transferencia tecnológica y por nuestro rezago de productividad, es inaceptable el riesgo de fracaso de la misma [transferencia de tecnología de culturas industrializadas] por no evaluar hasta donde son favorables las características del medio en que la utilizaríamos. Si de ejemplo pensamos en una Agricultura orientándose a la solvencia alimentaria y mayor agroexportación, el apoyo de la Meteorología en la identificación de tecnologías existentes para dichos fines es ineludible - aunque no son las únicas donde ella puede contribuir. La satisfacción de esas políticas dependerá, además de correctas estrategias financieras, comerciales, etc., del alto rendimiento de cultivos, el cual es muy vulnerable por alteraciones del patrón anual de lluvias, de temperatura y humedad del aire. Los eventos atmosféricos destructivos (inundaciones, sequías, vientos rafagosos, contaminación) y los sistemas de riego muy sensitivos a las anomalías de la lluvia también incidirán sobre los rendimientos de cultivos esenciales.

El párrafo anterior deja constancia únicamente de una de las funciones del estudio climatológico, siendo el país tan altamente dependiente de la producción agrícola, no cabe duda de que ésta es una de las más importantes funciones, y la principal razón de la formación de instituciones dedicadas a la investigación climatológica. Sin embargo las posibilidades de aplicación de esta ciencia son más amplias, especialmente en tanto que sirven de base para el análisis hidrológico y los proyectos que en ellos se fundamentan.

El proyecto, en términos generales puede definirse como una propuesta para el desarrollo de una herramienta para el manejo de los recursos naturales en el país. Además tiene la intención de integrarse posteriormente al Sistema de Información Ambiental en desarrollo actualmente en la Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente. Dentro de éste, cumplirá con la función de proporcionar bases de decisión necesarias para el diseño de programas de manejo y

conservación de los recursos naturales, con todos los beneficios que implicaría esto para el país.

1.2. OBJETIVOS

Objetivo General:

Proporcionar un aporte al manejo adecuado de los recursos naturales de El Salvador, mediante el diagnóstico y propuestas de solución para el mejoramiento de la red de registro y manejo de datos climatológicos que permita a los usuarios de dicha información, tanto en el sector público como en el privado mayor eficiencia en la utilización de éstos recursos.

Objetivos Específicos:

1. Resaltar la necesidad del mejoramiento de la red de recolección y almacenamiento de datos climáticos, e identificar los beneficios obtenidos.
2. Presentar las especificaciones técnicas y sugerencias para el diseño del Sistema de Información que recopile en una red de computadoras la información obtenida en todas las unidades de registro de datos sobre manejo de los recursos y los organice de manera que se facilite la utilización de los mismos para fines de investigación y formulación de proyectos.
3. Sugerir mejoras a los sistemas y métodos actualmente utilizados en la recopilación de datos climatológicos del país.
4. Proporcionar un marco conceptual sobre climatología, que pueda ser utilizado como material de apoyo para cursos de hidrología.
5. Proporcionar una introducción a los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones, para que el lector conozca el potencial de los mismos y la tecnología utilizada, así como los requerimientos para la implementación de los mismos.

1.3. LIMITACIONES

El estudio ha requerido del apoyo y colaboración institucional de la División de Meteorología e Hidrología y de la Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente para la recopilación de la información y el estudio organizacional. Debe recordarse que mucha de la información que se intentó recopilar sobre las funciones y recursos de la institución es, hasta cierto grado, confidencial e inaccesible y por lo tanto no se alcanza un alto nivel de detalle en las propuestas.

En lo que respecta al Sistema de Información, únicamente se emite una serie de recomendaciones, ya que la puesta en marcha del sistema de información está fuera del alcance de este trabajo, ya que depende de la disponibilidad de recursos de las instituciones y del estado en general. Sin embargo, consideramos que el diagnóstico de la red de registro y la descripción de los mecanismos institucionales y organizacionales es una primera etapa para la modernización del sistema de información, aún cuando no se implemente inmediatamente.

1.4. ALCANCES

El estudio sugerido no implica la recopilación de los datos climatológicos ni su organización en algún formato particular. Solamente se tratará de analizar el proceso de recopilación y clasificación de datos y señalar sus deficiencias y los puntos clave para mejorar el proceso.

El estudio de las relaciones y mecanismos organizacionales, tanto internos, como externos se ha hecho a un nivel superficial, y sólo en aquellos aspectos que favorecen o complican la recopilación de datos y el intercambio de los mismos.

Únicamente se producirán sugerencias y especificaciones técnicas para el análisis y diseño de los procedimientos para que sea retomado por especialistas de Ingeniería de Sistemas y por Analistas-Programadores para la producción de los programas y la implementación del Sistema.

1.5. METODOLOGIA

Ya que este ha sido básicamente un trabajo de investigación, la metodología general será la recopilación de información bibliográfica y de campo, el análisis, la estructuración de la misma y la obtención de las conclusiones y recomendaciones finales.

La investigación bibliográfica consistió en la recolección y análisis de textos de los temas de Climatología, Hidrología, Recursos Naturales, Sistemas de Información Geográfica, Conservación del Medio Ambiente, principalmente; y cualquier otro tema que se determine que guarda alguna relación importante con el trabajo en cuestión. La investigación bibliográfica se hará en forma continua, hasta la finalización del estudio.

También se harán entrevistas a las oficinas de las instituciones relacionadas con la investigación: la División de Meteorología e Hidrología, la Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente, la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, PROCAFE, la secretaría del proyecto PRIMSCEN en el país, y la administración de la Dirección de Recursos Naturales Renovables.

CAPITULO II.

CONCEPTOS BASICOS, CLIMATOLOGIA Y CIENCIAS AFINES

2.1. INTRODUCCION

Este capítulo trata de dar a conocer de una manera clara y breve los diferentes conceptos básicos de algunos fenómenos que se producen debido a la existencia de las variables físicas que tienen lugar dentro de la atmósfera terrestre.

También se pretende definir las ciencias relacionadas con el estudio de estas variables atmosféricas para diversos fines.

El objetivo de este capítulo es dar al lector una idea general, y una base común sobre los términos que estarán incluidos en el desarrollo de este documento.

Creemos que es de vital importancia el hecho de incluir estos conceptos básicos de climatología y ciencias afines para que el lector interesado, conozca exactamente el área de trabajo de estas ciencias, e identifique claramente la diferenciación entre términos como Clima y Tiempo, que suelen utilizarse como sinónimos en muchas ocasiones.

2.2. METEOROLOGIA

[Refs. 5, 31]

La Meteorología es una rama de la Geofísica que tiene por objeto el estudio detallado de la envoltura gaseosa de la tierra, o sea, la atmósfera.

Le corresponde a ella establecer las características, magnitudes, propiedades y movimientos de la atmósfera terrestre y estudiar las causas de los fenómenos físicos que en ella se producen.

Es evidente que el campo de estudio de la Meteorología es sumamente amplio, puesto que abarca todos los fenómenos físicos que ocurren en la atmósfera, desde la superficie del suelo hasta el límite superior de la misma.

Basados en el concepto de que la Meteorología es una ciencia que trata de estudiar las causas de los fenómenos físicos que se producen en la atmósfera, y que a la vez estos fenómenos atmosféricos constituyen los elementos del "tiempo", podemos concluir que la Meteorología "Es una ciencia que estudia las causas del comportamiento y manifestación de los elementos del tiempo", la meteorología es utilizada en el trabajo muy importante de dar los pronósticos del tiempo.

El apoyo que la Meteorología presta a los usuarios se convierte en un aumento sensible de la producción de bienes y servicios, sobre todo de aquellos relacionados con la producción agrícola. Gracias a la aplicación de informes y pronósticos se puede tomar providencias para que los cambios severos que se suceden en la atmósfera sean previstos, de manera que sus efectos negativos sean minimizados, y las condiciones favorables sean aprovechadas para obtener el mayor beneficio.

2.3. EL CLIMA

[Ref. 5]

El clima es la influencia media que ejercen los factores humedad, temperatura, luz solar, viento y presión atmosférica y cuya manifestación diaria constituye el "tiempo". En cualquier localidad dada, estas variables atmosféricas se modifican cada una en mayor o menor grado de acuerdo con la zona geográfica, la topografía, la proximidad a las cordilleras montañosas, los grandes volúmenes de agua o las corrientes oceánicas, los suelos, la vegetación, el hombre y el tiempo.

El clima, aún en un estado relativamente estático, es una entidad sumamente compleja, que varía ampliamente de un lugar a otro.

El clima, incluye variables atmosféricas en la masa del aire libre, encima de las superficies de la tierra. En la práctica, éstas se miden a unos cuantos metros sobre el nivel del mar, e interpretan los datos reunidos bajo condiciones estandarizadas, con la precaución necesaria para evitar interferencias indebidas provenientes de objetos naturales o hechos por el hombre.

Se acostumbra reunir la información sobre temperatura, precipitación, humedad relativa, viento, presión atmosférica, brillo solar, evaporación, etc., como máxima o mínima absoluta, o un cuadro promedio del "tiempo" o el clima para una localidad o región dada. Dichos datos, si están disponibles, pueden ser útiles para los agricultores en cada fase de su trabajo. Sin embargo, desafortunadamente las estaciones meteorológicas son escasas en cualquier país y, a veces, están situadas a distancias considerables, de tal manera que sus observaciones realmente representan una serie de condiciones locales, que pueden o no ser típicas de otras localidades o de aquellas que se encuentran en áreas amplias.

Tomando en consideración todos estos fenómenos naturales o variables atmosféricas, y sabiendo que el clima es un fenómeno natural que varía de un lugar a otro, podemos entonces definir el concepto "clima". Existen varias definiciones acerca de lo que debe entenderse por clima; una de las más generalizadas es aquella que lo describe como:

"El conjunto de los fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre."

Esta definición del clima contiene tres puntos muy importantes:

- 1) El clima no es la temperatura, ni la lluvia, ni el viento, etc. sino el conjunto de todos estos fenómenos meteorológicos.
- 2) Los valores meteorológicos, tales como los correspondiente a lluvia, humedad del aire, temperatura, velocidad del viento, etc., oscilan continuamente de un año para otro, pero la climatología se basa en datos promedios, resultantes de muchos años de observaciones regulares y continuas.
- 3) El clima corresponde al estado de la atmósfera registrado no en cualquier nivel de la misma, sino sólo en las capas de aire en contacto inmediato con la superficie terrestre.

Pero es de mencionar que, a pesar de la naturaleza compleja de aquella parte del medio que se llama "clima", las variables atmosféricas mayores son: la humedad, la temperatura y la radiación solar.

2.3.1. CLASIFICACION DE LOS CLIMAS

Se ha reconocido cinco grandes grupos de climas, los cuales son los siguientes:

GRUPO A: Climas Tropicales húmedos

Este existe en las bajas latitudes ecuatoriales en donde hay una región sin invierno, con temperaturas constantemente altas y lluvia adecuada, dentro de este grupo se establecen dos tipos de climas basados en diferencias de precipitación:

- a) Tropical Húmedo: el cual es un clima constantemente húmedo.

- b) Tropical Húmedo y Seco: este es de sabana tropical, con verano lluvioso y una estación seca cuando el sol está bajo.

GRUPO B: Climas Secos

Este existe en dirección de los polos, a través de los trópicos y hasta muy adentro de las latitudes medias, este grupo es dividido en los siguientes tipos:

- a) Desértico de latitud media, este es un tipo árido o desértico.

- b) Estepario de latitud media, este tipo es semiárido o estepario.

GRUPO C: Climas Mesoternales Húmedos

Esto sucede en las latitudes medias húmedas, dentro de este grupo se encuentran los tipos:

a) Subtropical de verano seco, es subtropical, subhúmedo de verano seco.

b) Subtropical húmedo, éste es con verano cálido.

GRUPO D: Climas Microternales Húmedos

Estos se caracterizan por los contrastes de temperatura, está asociado con grandes masas de tierra en latitudes medias relativamente altas, por lo que recibe los efectos de los vientos del oeste en verano y de los vientos polares en invierno.

Este grupo se denomina también húmedos continentales, se divide en los siguientes tipos:

a) Continental húmedo, este tiene veranos cálidos (el mes más cálido por encima de los 22°C)

b) Continental húmedo, este tiene verano muy corto y frío e invierno largo y riguroso.

GRUPO E: Climas Polares.

Esto sucede en latitudes mayores sin verano. Estos están dominados durante todo el año por vientos polares, aquí se reconocen dos tipos:

a) Tundra: en la que el mes más cálido alcanza una temperatura superior a 0°C pero inferior a 10°C.

b) Capa de Hielo: donde todos los meses se registran temperaturas inferiores a 0°C

Según lo indicado por Kendrew, "la descripción de clima no es, en modo alguno, real si no están representadas en ella todos los matices que se producen a causa de la variación de los factores meteorológicos y los cambios estacionales que son los más destacados".

La variación meteorológica que se produce de día a día, lugar a lugar y estación a estación es promovida por un número de causas determinadas del clima, entre ellas figura la latitud, distribución de tierra y agua, masas semipermanentes de baja y alta presión, viento, altitud, barreras montañosas, corrientes oceánicas y tormentas de varias clases.

Las variaciones en cantidad, intensidad y distribución estacional de temperatura, precipitación y humedad, presión atmosférica y vientos producidas por las causas determinantes del clima, proporcionan el fundamento para la existencia de una variedad de climas.

2.4. TIEMPO

[Ref. 5]

Tiempo es el estado atmosférico presente durante un lapso por lo general breve o en un instante determinado. Se puede decir, por ejemplo, que en este momento, hay un tiempo hermoso, ayer el tiempo se mantuvo ventoso; el tiempo en los últimos tres días fue seco; el tiempo durante el año pasado se manifestó muy lluvioso, etc. El término Tiempo se vincula siempre a un estado atmosférico transitorio que puede ser normal o no, para la localidad o región considerada.

El tiempo puede diferir mucho de un día a otro, de un año a otro, pero el clima es algo estable como ya se definió anteriormente.

El estado del tiempo durante un lapso determinado: una hora, dos días, una semana, etc. se caracteriza por la presencia e intensidad de un conjunto de fenómenos meteorológicos, por lo general perceptibles, cada uno de ellos por nuestros sentidos.

Estos fenómenos meteorológicos, que en forma conjunta constituyen y caracterizan el estado del tiempo, aisladamente representan los elementos de él.

Los elementos fundamentales del tiempo son:

- Radiación Solar
- Temperatura
- Presión atmosférica
- Viento
- Evaporación
- Humedad del aire
- Nubosidad
- Precipitación
- Fenómenos eléctricos
- Fenómenos ópticos, acústicos, etc.

En las estaciones meteorológicas observadoras, por medio de instrumentos adecuados se procede a valorar y registrar los distintos aspectos de cada uno de los elementos del tiempo.

Los fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado atmosférico y reciben el nombre de elementos del "tiempo", son los mismos que, al sucederse en el curso de los días, estaciones y años, constituyen los elementos del "clima", cuyos valores sólo son susceptibles de ser calculados eficazmente cuando se dispone de observaciones practicadas sin interrupción durante varios años.

En conclusión, el tiempo es estudiado por la meteorología, el clima por la climatología.

2.5. HIDROLOGIA

"Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos" .[Ref. 35]

Fijar la fecha exacta del nacimiento de una ciencia es siempre difícil. Esto se aplica particularmente a la hidrología, cuyo origen puede encontrarse en varias esferas: la geografía física, la meteorología, la geología, la hidráulica, etc.

Las fases iniciales de la hidrología se vinculan, por una parte, a las primeras obras de ingeniería de la antigüedad que servían para abastecer de agua a las ciudades o para regar, y por otra parte, a los intentos de eminentes eruditos por comprender el medio físico que rodea al hombre.

Entre los conceptos básicos de la hidrología, el del ciclo hidrológico puede considerarse fundamental. Por evidente que este ciclo pueda parecer hoy, hubo de transcurrir mucho tiempo para que se lograra comprender su mecanismo, y ni siquiera los intelectos más brillantes del Renacimiento pudieron evitar algunas hipótesis falsas.

Se puede aceptar que hacia fines del siglo XVII ya existían casi todos los elementos necesarios para fundar la hidrología, pero no se reconocía a ésta como ciencia específica, y sólo se llegó a ese reconocimiento a medida que fue evolucionando en el transcurso de los tres siglos siguientes.

Fue hasta el siglo pasado en que la hidrología alcanzó un reconocimiento definitivo como disciplina. Su consolidación fue acompañada durante los últimos sesenta o setenta años por la publicación de una serie de manuales de hidrología, registrándose de esta manera el progreso científico que sucedía con la aparición de revistas especializadas y con la creación de centros e institutos de investigación hidrológica.

En nuestro país, el día 1o de Enero de 1889, el Dr. Darío González (Director del Instituto de Segunda Enseñanza) hizo las primeras observaciones meteorológicas en San Salvador, dando inicio en forma oficial a la Meteorología en nuestro país.

En Enero de 1953, por la fusión del Departamento de Meteorología del Instituto Tropical de Investigaciones (ITIC) con el Departamento de Meteorología y Sismología del Observatorio Nacional, se creó el Servicio Meteorológico Nacional, que cuenta con instalaciones meteorológicas, distribuidas en todo el territorio, registrando datos de lluvia, viento, temperatura, radiación solar, etc. [Ref. 31]

En cuanto a estudios hidrológicos, el trabajo más importante realizado en el país es el estudio de la cuenca del río Lempa hecho por la Harza Engineering Co., iniciado en el año 1942, previo a la construcción de la presa "5 de Noviembre". Para llevar a cabo estos trabajos se formó la Comisión Ejecutiva del Río Lempa (CEL).

La Dirección General de Obras Hidráulicas (ahora Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados), ha tenido a su cuidado el abastecimiento de agua potable en todas las comunidades de la República, haciendo estudios de las demandas necesarias y midiendo los caudales de las fuentes y pozos de los cuales se proveen, realizando estudios, también de las aguas subterráneas, principalmente de la zona metropolitana y sus alrededores.

La Cuenca del Río Sucio también ha sido ampliamente estudiada, habiendo varios proyectos de riego y drenaje de esta zona.

Las compañías de alumbrado eléctrico de San Salvador y Sonsonate han hecho mediciones de caudal en algunos ríos de las cuencas del Acelhuate y del Sensunapán respectivamente. Se hizo un estudio de las aguas subterráneas del valle del río Grande de San Miguel, ejecutado por la comisión del mismo nombre. [Ref. 35]

Todos los trabajos mencionados fueron hechos para un fin particular y las evaluaciones obtenidas son bastante empíricas, por carecer de datos con suficiente tiempo de observación, para llegar a conclusiones más apegadas a la realidad.

Debido a esas dificultades, fue que en 1956 se fundó la Sección de Estudios Hidrológicos en el Departamento de Ingeniería de la Dirección General de Agricultura; cuyo primer jefe fue el Ing. Enrique Jovel y con el asesoramiento del Dr. Jean Burz, se formó un plan hidrométrico nacional, definido y ordenado, localizando estaciones de aforo fijas que reúnen las condiciones esenciales para un buen control.

En 1982, los Servicios Meteorológico e Hidrológico fueron integrados como un sólo servicio, siguiendo la opinión científico-técnica, de que el agua en la atmósfera y en la superficie

terrestre deben ser estudiadas de manera unificada ya que son fases de un sólo ciclo natural: El Ciclo Hidrológico. [Ref. 31]

2.6. GEOGRAFIA

[Ref. 20]

La Geografía de un país, para alcanzar créditos científicos correctos, tiene que ser el resultado de una faena sólo posible a través de los esfuerzos de muchas instituciones y el trabajo de investigadores especializados en diferentes campos de la ciencia. En efecto, para integrar y darle unidad a una geografía, es necesario que diversas disciplinas científicas se orienten hacia una meta común: explicar la relación hombre-tierra.

En la Geografía, sin embargo, debemos reunir no solamente las relaciones del hombre con su naturaleza, sino también las relaciones del hombre con sus semejantes. En la Geografía hay, pues, una "sustancia natural" y una "sustancia social". Y no es posible concebir aisladas, estas "sustancias", porque tanto los hechos naturales como los sociales (el habla, las organizaciones humanas o las manifestaciones artísticas) tienen un trasfondo motivador que está en el marco telúrico, convertido en hábitat por los seres individuales o comunitarios que lo habitan.

La Geografía es aquella disciplina que describe la forma, el contenido y la función del espacio como lugar, región o área, interconectadas en si mismas, e interrelacionadas con el hombre.

La Geografía es indudablemente una disciplina de síntesis y pretende la explicación global de todos los hechos que pueden ser localizados, medidos, clasificados y cartografiados. Su meta es estudiar las cambiantes interrelaciones de estos hechos.

2.7. MEDIO AMBIENTE

No ha sido sino hace un tiempo relativamente corto que el interés en preservar los recursos naturales y mantener un medio ambiente libre de contaminación se ha generalizado.

Debieron transcurrir algunos años para que la humanidad cobrara conciencia sobre la vinculación que suele existir entre el deterioro ecológico y el fracaso económico, al menos en aquellos países cuyas economías dependen en alto grado de la explotación de sus recursos naturales. Tal es el caso del territorio salvadoreño, que está perdiendo sus recursos naturales renovables, no sólo por la erosión, sino también por la contaminación del agua y del aire, y la despreocupación general por rehabilitar y detener el empobrecimiento de los suelos. Nuestro macro-ecosistema se deteriora rápidamente a causa de una cultura de "desechar lo usado", por otro lado la ineffectividad o inexistencia de leyes protectoras de la vida biológica superior y útil a su hábitat, no promueven la implementación de soluciones en este campo. Ciertamente que todo el planeta está enfrentando estos problemas. En El Salvador, no obstante, la cuestión puede ser catastrófica, si no se toman medidas que obliguen al uso racional de los recursos naturales renovables, la rehabilitación y conservación de la flora y fauna, y la protección de aguas de ríos, lagos y costa marina. El drama se explica por la relación que existe entre una población altísima y un territorio de poca extensión. [Ref. 20]

Existen aún otras motivaciones que deberían impulsar a la humanidad a respetar la naturaleza. Una de ellas es la dimensión ética, esto es, la convicción de que el hombre no es el dueño absoluto de la naturaleza, sino que, al ser una de tantas especies que pueblan este planeta, debe saber compartir los escasos recursos que existen en la tierra.

Existe también otra razón poderosa que alienta a la conservación de los ecosistemas: el placer estético que produce la contemplación de los diferentes componentes de la naturaleza: los ríos, lagos, bosques, mares y montañas, si están bien cuidados, no sólo pueden ser la base para un turismo próspero sino que son esenciales para que el hombre se reconozca y se recree en la naturaleza. [Ref. 32]

2.8. LA ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL

[Ref. 23]

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) es un organismo especializado de las Naciones Unidas. Este organismo, que coordina las actividades meteorológicas a nivel internacional, remonta su historia a 1873, año en que se creó la Organización Meteorológica Internacional (OMI), su antecesora. La función de ésta ha sido coordinar el intercambio gratuito y expedito de datos e información meteorológica entre los países miembros. La OMM garantiza el suministro a nivel internacional de información científica acreditada sobre el estado y el comportamiento de la atmósfera, el clima que ésta produce y su interacción con los océanos así como la consiguiente distribución de los recursos hídricos en la Tierra. También tiene como responsabilidad asistir a los distintos países en la aplicación de información meteorológica, climatológica, oceanográfica e hidrológica, permitiéndoles así aprovechar sus recursos de manera más eficaz, lo que es sumamente importante para lograr un desarrollo sostenible.

La OMM concierta los esfuerzos internacionales mediante los siguiente programas:

- ▶ La Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM) realiza observaciones meteorológicas en tierra, en el mar y desde el espacio, elabora predicciones y avisos meteorológicos e intercambia información en tiempo real a nivel mundial;
- ▶ La Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) controla la composición atmosférica, incluidos el ozono, el anhídrido carbónico y otros gases de efecto invernadero, así como de los contaminantes atmosféricos y suministra información sobre los cambios de origen natural o humano en la concentraciones de componentes atmosféricos;
- ▶ El Programa Mundial sobre el Clima (PMC) controla el clima mediante el Sistema Mundial de Observación del Clima, realiza actividades de investigación, gestiona datos climáticos y aplicaciones de la información y se ocupa del impacto del clima y de las respuestas al mismo;
- ▶ El Programa de Aplicaciones de Meteorología abarca los servicios meteorológicos al público, le meteorología agrícola, la meteorología aeronáutica y la meteorología marina;
- ▶ El Programa de Hidrología y Recursos Hídricos normaliza las operaciones de medida y las evaluaciones de recursos hídricos;

- ▶ El Programa de Enseñanza y Formación Profesional presta asistencia a los países en desarrollo y organiza actividades para la formación profesional del personal de meteorología, hidrología y otras disciplinas conexas;
- ▶ El Programa de Cooperación Técnica presta asistencia a los países en desarrollo para medir y evaluar su tiempo y clima, la calidad del aire y los recursos hídricos, teniendo en vista el desarrollo nacional, y contribuye a la información mundial de datos.

Después de la atmósfera, el agua ha sido la principal preocupación de la OMM durante más de 30 años. Esta preocupación por el agua se pone de manifiesto en el Programa de Hidrología y Recursos Hídricos, gracias al cual se presta asistencia a los servicios hidrológicos de los distintos países para la gestión de los recursos hídricos y la preservación del medio ambiente acuático.

El perfeccionamiento de las redes de instrumentos y de los métodos de observación para la medida del caudal de las corrientes fluviales, la calidad del agua, las aguas subterráneas, etc. es una de las facetas del programa, a la cual se añade la aplicación de modernos sistemas de concentración de datos, como los que utilizan satélites. Otras de sus facetas consiste en la mejora del almacenamiento y procesos de dichos datos, por ejemplo en sistemas de computadoras personales, y la construcción de modelos realistas de predicción del caudal de los ríos y de la calidad de sus aguas. También puede citarse la utilización de datos para evaluar los recursos hídricos de una región o una cuenca fluvial, o para verificar si la cantidad de agua disponible es suficiente para satisfacer la demanda para uso doméstico, regadío u otros fines, y si dicha demanda es viable. Resulta evidente que, sin una evaluación continuada de los recursos hídricos y el control que ello supone, es imposible administrar y aprovechar racionalmente el precioso líquido.

El aprovechamiento racional del agua reviste una particular importancia dado que, si bien los recursos hídricos mundiales son considerables, la cantidad de agua utilizable es mucho menor y tiene un límite. En varias regiones ya se ha alcanzado ese límite y, debido al rápido aumento actual de la demanda, también se lo alcanzará en muchas otras, por lo que una parte cada vez mayor de la Tierra va a soportar una grave escasez durante el próximo siglo. Tal escasez pone

de relieve la importancia de un conocimiento serio y preciso de los recursos hídricos y la labor que llevan a cabo los servicios hidrológicos para lograr dicho nivel de conocimiento.

Como el crecimiento demográfico es cada vez más acuciante, es indispensable que los limitados recursos hídricos disponibles se administren de la mejor manera posible. Para cimentar dicha gestión, las mediciones básicas del nivel y el caudal de agua se suman a la metodología elaborada por la OMM y la UNESCO para la evaluación de los recursos hídricos a nivel regional, nacional e internacional. Una gestión equitativa de los recursos hídricos de las 200 principales cuencas fluviales y lacustres en el mundo tendrá que contar también con las actividades de medición y evaluación normalizada promovidas por el Programa de Hidrología y Recursos Hídricos de la OMM.

CAPITULO III.

VARIABLES CLIMATOLOGICAS

3.1. INTRODUCCION

Este capítulo intenta describir las condiciones que rigen el comportamiento de las variables climatológicas, así como también la forma en que son medidas dentro de las estaciones de registro. Se presentan, además, las normas empleadas para la cuantificación y clasificación de las variables.

Debemos recordar que el análisis científico se basa en la cuantificación de los efectos y las causas que producen un fenómeno. Esto, aún en un ambiente controlado, a veces resulta difícil, y las conclusiones obtenidas a veces son engañosas. Cuánto más difícil es el análisis cuando el sistema que se pretende estudiar es tan amplio como el clima, con toda la extensión que supone la atmósfera terrestre aún cuando concentremos el estudio en un lugar geográfico delimitado. Cada una de las variables que componen el estudio meteorológico y climatológico obedece a una o más causas al mismo tiempo que afecta a las otras por medio de interrelaciones complejas. Por otro lado, sus variaciones son sólo cualitativamente perceptibles por nuestros sentidos.

Por lo tanto es importante estudiar las condiciones "controladas" bajo las cuales deben medirse las variables climatológicas, el equipo a utilizar y las normas de medición de manera que se obtenga la mayor consistencia posible en los registros, ya que la experimentación con las variables climatológicas está todavía más allá de las posibilidades actuales de las ciencias.

Es importante tener siempre presente la cualidad geográfica de las variables climatológicas. Es fácil observar cómo las zonas climáticas están muy estrechamente relacionadas con zonas geográficas de características orográficas y topográficas particulares; de allí que cualquier estudio que se realice sobre la climatología está condicionado al estudio paralelo de las características geográficas de la región bajo análisis.

Este capítulo hace mención de los métodos para tipificación e inferencia de la información climatológica, los cuales serán abordados con mayor detalle posteriormente en el desarrollo del estudio.

3.2. TEMPERATURA DEL AIRE

[Ref. 5]

Los rayos del sol atraviesan la atmósfera casi sin calentarla; pero la tierra absorbe ese calor y al devolverlo en una forma especial calienta las capas inferiores del aire y éstas transmiten el efecto a las inmediatas superiores y así sucesivamente.

La temperatura del aire puede definirse como su grado de calor. Puede apreciarse subjetivamente, aunque con escasa precisión. Así es posible decir que un cuerpo está más caliente que otro, pero no se puede asegurar cuánto. Se prefiere para la determinación exacta de las temperaturas el uso de termómetros.

3.2.1. TEMPERATURA MEDIA DIARIA

La temperatura del aire, en un día, sufre muchas modificaciones. Esto se debe a las diferentes posiciones que adopta el sol, al paso de las nubes, a la dirección del viento, etc. Cuando se desea comparar la temperatura de dos días distintos, esa gran variedad de valores es un gran inconveniente. Por ello, para condensar en forma sencilla las temperaturas habidas durante el día, se recurre a la temperatura media diaria. La cual puede ser calculada mediante los métodos siguientes:

- a) Sumando y promediando las temperaturas bihorarias registradas en el día. Pero este método solamente se puede aplicar en las Estaciones Observadoras que efectúan observaciones con termógrafo.
- b) Sumando y promediando las tres observaciones diarias de las 7h, las 14h y las 21h.
- c) Sumando y promediando las temperaturas mínima y máxima del día. Este último método es muy sencillo y da promedios muy satisfactorios.

3.2.2. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

Cuando se desea comparar las temperaturas de dos meses, como dentro de cada mes se han registrado temperaturas muy diversas, la comparación resulta muy complicada; por ello, todas las temperaturas habidas en el mes se condensan en un sólo valor: la temperatura media mensual; la cual se calcula sumando la temperatura media diaria de todos los días y dividiendo esta suma entre el número de días que posee el mes.

3.2.3. TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Para caracterizar las temperaturas habidas durante todo un año se recurre a la temperatura media anual. Esta temperatura se calcula sumando las doce temperaturas medias mensuales y esta suma se divide entre doce (número de meses).

3.2.4. TEMPERATURAS NORMALES

Los valores normales son índices eminentemente climatológicos y sirven para estudiar, comparar y clasificar los climas. Para calcular esta clase de promedios es indispensable que en el lugar considerado se hayan efectuado observaciones continuadas durante muchos años, treinta por lo menos, aunque lo ideal es disponer de series de cuarenta, cincuenta o más años. La temperatura normal, como su nombre lo indica, representa la temperatura media típica que corresponde al clima de la localidad.

Para calcular las temperaturas normales diarias se procede así: supóngase que se desea efectuar este trabajo para una localidad de la cual se dispone de 40 años de observaciones, por ejemplo 1931-1970.

Se comienza por conocer la normal del 1o de Enero; para ello se suma la temperatura media del 1o de Enero de 1931 a la media del 1o de Enero de 1932, más la media del 1o de Enero de 1933 y así siguiendo hasta llegar al 1o de Enero de 1970.

La suma de estos 40 valores se divide entre 40 y el promedio resultante será la temperatura normal del 1o de Enero.

De la misma manera se procede para los 364 días del año.

La temperatura normal mensual es la temperatura media que debiera registrarse en un mes dado del año si el tiempo fuera el mismo todos los años.

Para calcular la normal anual, suponiendo la misma serie de años que en los cálculos anteriores, se suman las temperaturas medias anuales de los 40 años y luego se divide entre 40.

Los valores normales de temperatura se emplean para la construcción de isotermas. Una Isotherma es la línea que uno los puntos de la tierra que tienen una misma temperatura. El método de las isotermas surgió como una necesidad para simplificar y sintetizar los valores de temperatura y a su vez facilitar la interpretación de su distribución geográfica.

Al analizar la distribución geográfica de la temperatura, se usan especialmente las isotermas anuales, las de julio y las de enero, ya que son los meses más cálido y frío respectivamente. El trazo de las isotermas anuales se presenta de forma bastante irregular y esas irregularidades están originadas por las siguientes causas.

1) La distribución de tierras y mares:

La temperatura se eleva más fácilmente sobre los continentes que sobre los mares. Las pérdidas son también más rápidas sobre los continentes.

2) Las corrientes marinas:

Las corrientes marinas ya sean frías o cálidas, modifican considerablemente la distribución de la temperatura y, en consecuencia, el trazado de las isotermas anuales. Por dicha razón la costa pacífica de sudamérica tiene una temperatura media anual más baja que la costa atlántica.

3) La altitud:

Los altiplanos están recubiertos por una atmósfera poco densa y muy transparente. La cantidad que reciben durante el día es muy grande, si bien las pérdidas durante la noche son intensas.

En comparación con la atmósfera libre, en los altiplanos situados cerca del ecuador, la ganancia de calor es mayor que las pérdidas, por eso resultan regiones relativamente cálidas y, en consecuencia, las isotermas se alejan del ecuador.

Salvo las irregularidades anteriores, la temperatura anual, va disminuyendo desde las regiones ecuatoriales a las polares.

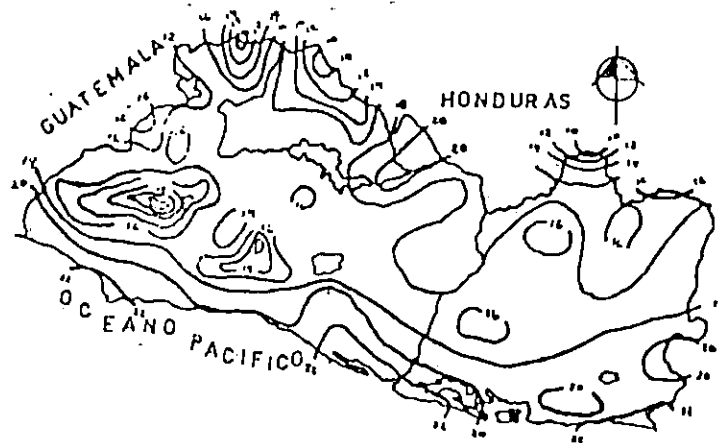


Figura 1 Isotermas de Enero [Ref. 31]

En El Salvador, el mes de Enero es el mes más frío del año, por lo tanto se tomaron estos valores para elaborar el trazado de las Isotermas del mapa (Ver Figura 1). Los vientos boreales "Nortes" que hacen su irrupción en nuestra área desde los últimos días de octubre, al debilitarse temporalmente son una de las causas de que en este período se produzcan las más bajas temperaturas del año.

Como se observa en el mapa (Ver Figura 1), los valores más bajos de temperatura mínima se registran en los lugares más altos del país; los que a veces son tan bajos que en algunos de estos lugares se provocan "heladas". Este es el caso de Los Naranjos donde la temperatura ha descendido hasta 4°C, causando en las plantaciones de café (principal cultivo de la zona) cuantiosos daños. En la ciudad capital San Salvador, la temperatura ha descendido hasta

valores de 8°C. En general, en este mes los días son predominantemente soleados y frescos y durante la noche, el ambiente se torna aún más frío y agradable. [Ref. 31]

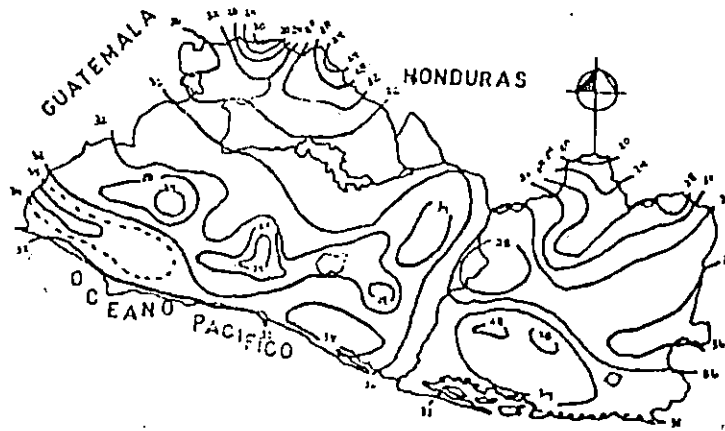


Figura 2 Isotermas de Marzo [Ref. 31]

El mes de marzo es uno de los meses más calientes en nuestro país, tal como lo demuestran las isotermas del mapa (Ver Figura 2). En este mes la atmósfera alcanza un alto grado de turbiedad producida por la fuerte concentración de polvo, bruma seca y, además, humo que procede principalmente de las "quemadas" que hacen los agricultores al preparar tierras de cultivo en anticipación a la cercana estación lluviosa. [Ref. 31]

Los aparatos de medición que se utilizan para medir la temperatura son: termógrafos, termómetros de máximas y termómetro de mínimas, pero estos deben estar colocados en una caseta protectora. A continuación se describen cada uno de ellos, así como las condiciones que deben cumplir y el mantenimiento y cuidado a que deben someterse. Antes de todo debe construirse una caseta protectora o abrigo meteorológico (Ver Figura 3), que es aquella construcción que, además de ofrecer protección física a ciertos instrumentos, asegura uniformidad en las observaciones de algunos elementos climáticos al presentar una "atmósfera" sin corrientes de viento y libre de efectos de radiación. Varía en forma y sistema de instalación, pero el Programa de Investigación Agrometeorológica de la Universidad de Costa Rica ha venido usando últimamente una forma de caseta que presenta suficiente espacio para los instrumentos y es muy satisfactoria.

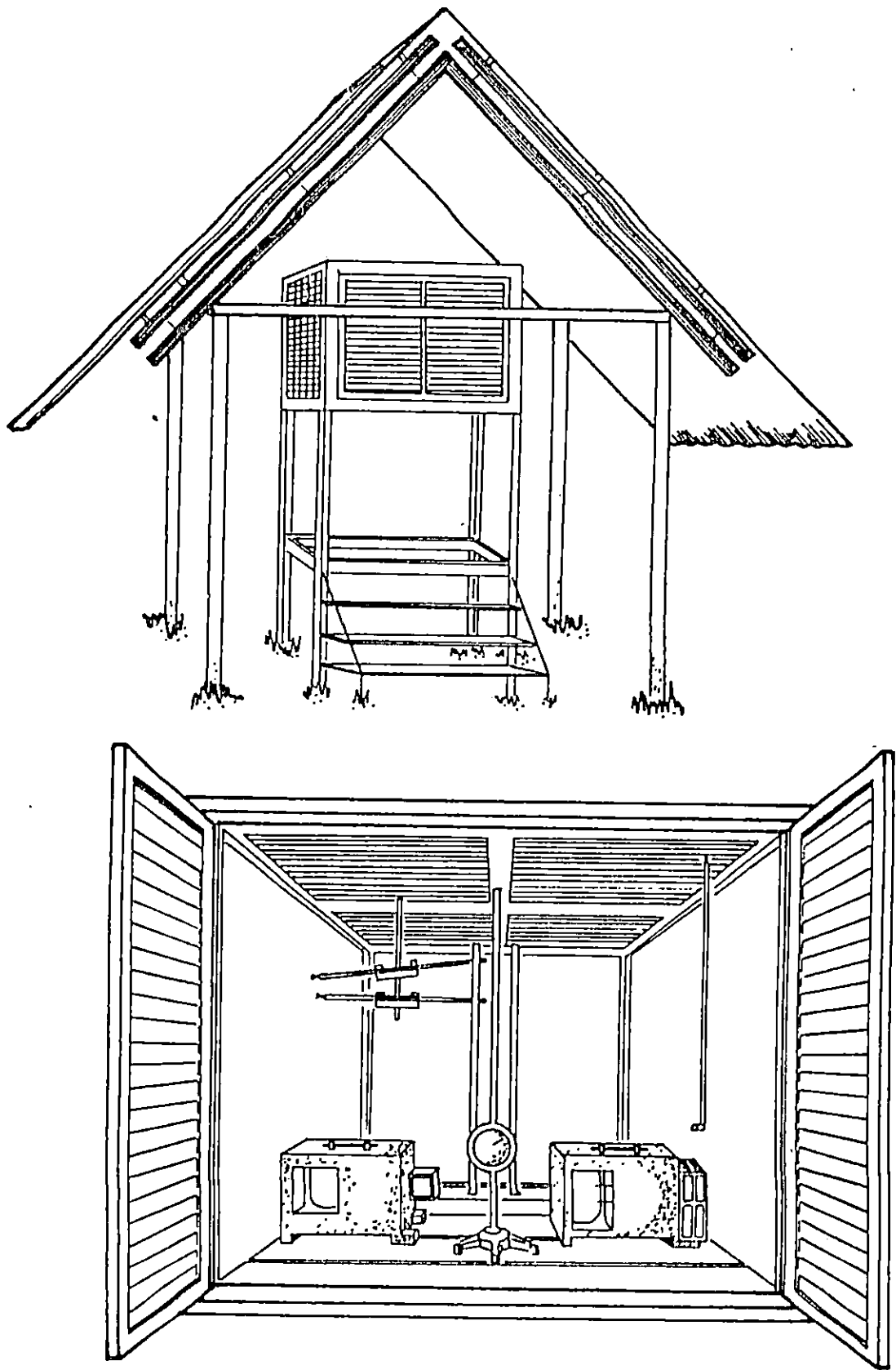


Figura 3 Abrigo meteorológico Abierto, mostrando la posición del aspirpsicrómetro y termómetro de máxima y mínima [Ref. 5]

La estructura sobre la cual se pone la caseta puede ser de madera y debe estar fijada al suelo por medio de bases de cemento; en esta forma se logra que la caseta este firme. Para evitar movimientos bruscos en la caseta al abrir su puerta, ésta debe estar dividida de forma que una mitad abra hacia la izquierda y la otra mitad hacia la derecha. Esta puerta debe estar orientada hacia el norte y toda la caseta con dirección norte-sur.

El material de construcción de la caseta es de madera y todas las piezas metálicas, como tornillos, clavos, bisagras, etc. deben ser de bronce o cualquier otro material inoxidable. Debe tener doble techo y doble piso dejando un espacio entre ellos para la ventilación, lo cual evita el calentamiento del interior de la caseta.

Si se usa material acanalado en el techo para proteger la caseta de la lluvia, éste debe ser plástico y pintado de blanco, siempre instalado sobre el techo superior de madera. Las bisagras de la puerta deben estar debidamente aceitadas ya que éstas deben abrir suavemente, la caseta se debe volver a pintar de blanco las veces que sea necesario, o al menos antes de empezar la estación lluviosa. [Ref. 5]

3.2.5. TERMOGRAFOS

Todos los sistemas para medir la temperatura hacen uso de las propiedades térmicas de diferentes sustancias. Uno de estos sistemas consiste de un anillo bimetálico cortado, que tiende a abrirse con el calor y a cerrarse al enfriarse. Un extremo del anillo está fijo y el otro libre, lo que permite registrar las variaciones térmicas. El extremo libre está unido por una serie de piezas y uniones al brazo marcador y a la plumilla, la cual imprime sobre la gráfica las variaciones térmicas (Ver Figura 4). Conviene comprar termógrafos con gráficas o bandas en grados centígrados. Al pedir estos instrumentos a la casa productora, se deben especificar los márgenes o límites de lectura necesarios para la región en que se van a usar.

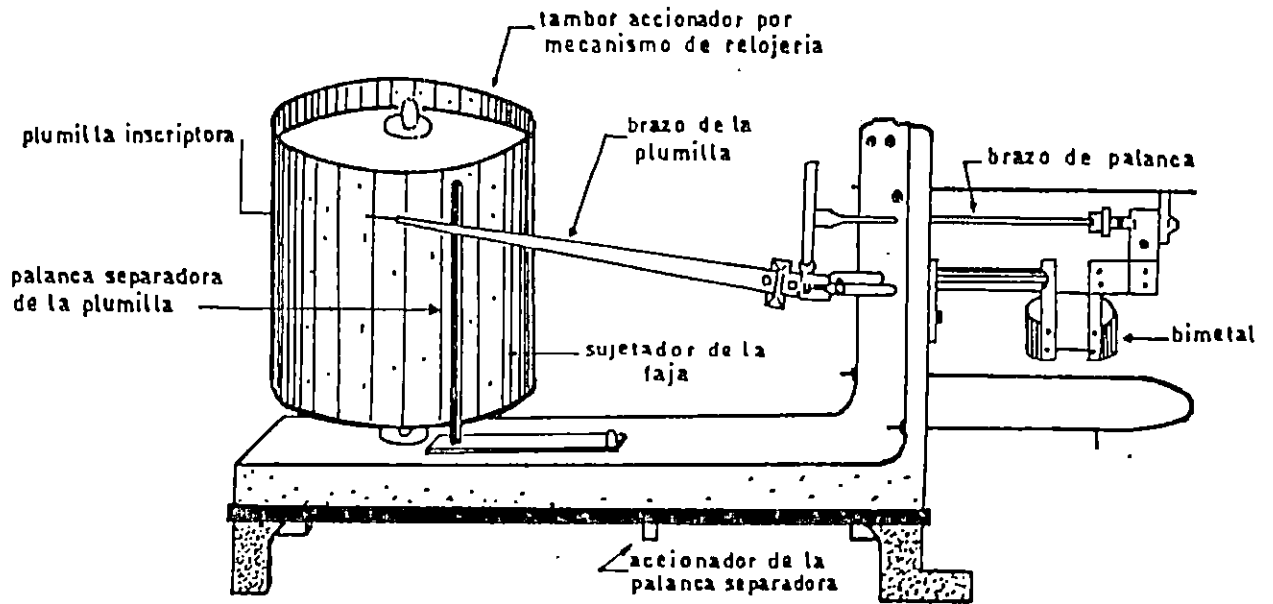


Figura 4 Termógrafo [Ref. 5]

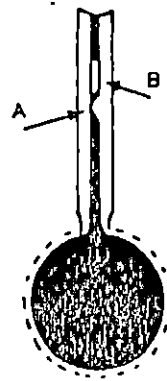
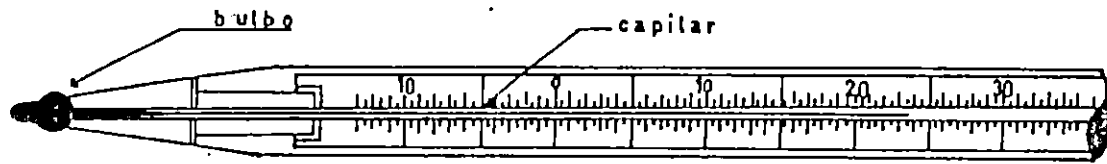
Los termógrafos deben estar instalados dentro de casetas protectoras, a una altura no menor de 1.50 mt ni mayor de 2.0 mt para fines climatológicos. Debe estar ubicado dentro del lugar que se desea medir pero en un punto representativo, evitando la cercanía a lugares calientes, corrientes de aire motivados por edificios o cualquier otra causa que motive la alteración de la temperatura local.

Para el montaje de este instrumento lo único que se debe de hacer es soltar las piezas que vienen amarradas, ya que comunmente vienen totalmente armado de fábrica.

Para calibrarlo, lo mejor es disponer de una cámara térmica de control; otro método es dejarlo trabajando y ajustarlo con las temperaturas extremas (máxima o mínima); lo cual no es del todo exacto, ya que los termómetros son más sensibles y reaccionan más rápido ante los cambios de temperatura que los termógrafos.

El termógrafo exige poco mantenimiento, especialmente si se tiene bien instalado y protegido contra la acción de animales, personas, etc. Las partes en movimiento se deben limpiar de polvo y aceitar al menos una vez por año, sin usar aceite pesado ni en exceso.

3.2.6. TERMOMETRO DE MAXIMA



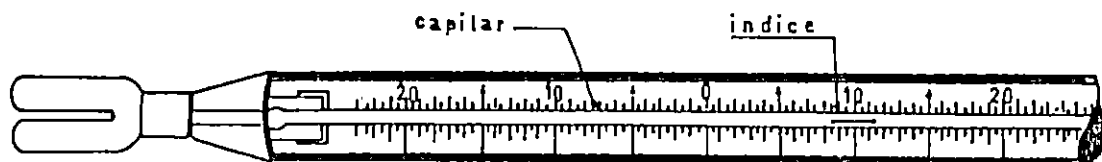
El tubo termométrico lleva una estrangulación en A; cuando baja la temperatura y el mercurio retrocede, la columna se rompe en B.

Figura 5 Detalle del Termómetro de Máxima [Ref. 5]

Emplean mercurio como elemento térmico y son los que se usan para medir la temperatura máxima. Presentan una constricción en el conducto capilar, que permite que salga el mercurio del bulbo pero no que regrese; al ocurrir la máxima el mercurio en la constricción se rompe, no pudiendo regresar al bulbo. Este sistema permite saber cual es el punto máximo en que se alcanza su dilatación, obteniéndose en esta forma la temperatura máxima, una vez que se ha leído la temperatura por movimientos centrífugos, se logra el retorno del mercurio al bulbo. Para lograr esto, se toma el termómetro por el extremo opuesto al bulbo y se agita de arriba hacia abajo, con el cuidado de no golpearlo contra ningún obstáculo y sobre todo, de hacerlo con ritmo, suave y sin sacudidas violentas; cuando no se tiene cuidado con lo anterior, la constricción se agrieta y el mercurio puede regresar hasta 1 grado centígrado y esto constituye un significativo error. Por eso, a veces se sugiere colocar el termómetro de máxima con el bulbo ligeramente hacia arriba, teniendo el cuidado de regresar la barra de mercurio

suavemente hasta que tope la constricción y luego leer inmediatamente. Este método es bueno pero normalmente se prefiere instalarlo con el bulbo más bien en un nivel o plano inferior, observando con detalle el termómetro cada cierto tiempo con el fin de notar cualquier defecto, ya sea en la constricción o en el capilar (Ver Figura 5).

3.2.7. TERMOMETRO DE MINIMA



Es de alcohol y lleva en su interior un índice de esmalte AB, que deja pasar el líquido libremente cuando crece la temperatura y es arrastrado por el menisco M, cuando disminuye.

Figura 6 Detalle del Termómetro de Mínima [Ref. 5]

El líquido termométrico es alguna sustancia orgánica como $C_6H_5CH_3$ (tolueno), C_5H_{12} (pentano), C_2H_5OH (Alcohol etílico), etc. Estas sustancias a pesar de ser menos exactas que el mercurio, se prefieren por tener un punto de congelación cercano a los $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante el transporte o al estar expuesto al sol, es frecuente observar que la columna del capilar se rompe en pequeñas secciones. Si este accidente no es notado a tiempo, se incurre en un error en la lectura, ya que los espacios entre la columna afectan el resultado exacto.

Cuando el rompimiento de la columna sucede se debe proceder inmediatamente a unirla, para lo cual hay varios métodos: cogiendo el termómetro por la parte superior (bulbo hacia abajo), golpearlo en movimiento vibratorio, suavemente y contra la mano o algún objeto de hule, por espacio de 5 minutos. La posición del termómetro es a veces mejor si se le tiene 45 grados de inclinación cuando se le está golpeando, en lugar de la posición vertical. Cuando la columna se ha unido, se le debe dejar en posición vertical, con el bulbo hacia abajo por una hora al menos.

Si el método anterior no da resultado, se debe sumergir el bulbo en hielo seco (CO_2), dejando el resto del termómetro a la temperatura ambiente. Déjese en el hielo seco hasta que se una la columna. Si no se tiene hielo seco, una mezcla de hielo y sal da el mismo resultado, pero se tiene que dejar por más tiempo.

El termómetro de mínima se debe de instalar horizontalmente para que el marcador indique la temperatura mínima alcanzada. El marcador o índice es un pequeño filamento de color que se halla dentro del líquido del termómetro y por efecto de la tensión superficial del menisco es arrastrado hacia el bulbo hasta el punto más bajo que se registre; al subir la temperatura, la columna de líquido se dilata y se aleja del marcador, que queda indicando la temperatura mínima en su extremo más alejado al bulbo. El índice queda fijo cuando la columna del líquido se dilata y cuando se contrae, ejerce presión sobre el marcador, haciéndolo descender hasta la temperatura mínima.

Luego que se ha leído la temperatura mínima, se debe mover el marcador, hasta alcanzar de nuevo el menisco, para lo cual se usa un imán o se le hace descender colocando el bulbo hacia arriba, operación que debe ser hecha con suavidad (Ver Figura 6).

En los termómetros la unidad de medida utilizada es el grado centígrado (C); en algunos países se emplea el grado Fahrenheit (F). Se pueden emplear termómetros con los siguientes límites.

Termómetros de máxima: desde -30°C hasta 50°C

Termómetros de mínima: desde -40°C hasta 40°C

Las escalas deben estar subdivididas al menos cada medio grado centígrado.

Los termómetros se deben instalar siguiendo las mismas instrucciones dadas para los termógrafos.

3.3. VIENTO

[Ref. 5]

Las diferencias de temperatura en el seno de la atmósfera originan diferencias de presión, es decir, que el aire se hace más pesado por enfriamiento y más liviano por calentamiento. El aire calentado se dilata (o se hace más ligero) y toma un movimiento ascensional, lo que determina que el aire más frío, más denso (o más pesado), venga a ocupar en movimiento descendiente el lugar que deja el aire caliente, reemplazándolo parcial o totalmente.

De esta manera se genera el viento, que puede considerarse como aire en movimiento. Su causa estriba, pues, en una ruptura de equilibrio de la presión entre masas de aire contiguas y su duración está determinada por el tiempo que tarda en restablecerse la igualdad de las presiones.

Como las variaciones de las presiones están determinadas por cambios de temperatura, puede afirmarse que en última instancia, la causa del viento reside en las variaciones de ésta, y que los rayos solares proporcionan la energía necesaria para producir el movimiento de las masas de aire.

Si los vientos están originados por las diferencias de presiones entre regiones vecinas, evidentemente, sobre la superficie de la tierra, la dirección resultante del viento debe estar en perfecta relación con la distribución geográfica anual de la presión atmosférica. Esto es lo que se observa en realidad al efectuarse el estudio de los vientos.

Sobre la banda ecuatorial existe una faja de bajas presiones y al lado de ella, entre los 15° y 40° de latitud, una faja de altas presiones (Ver Figura 7).

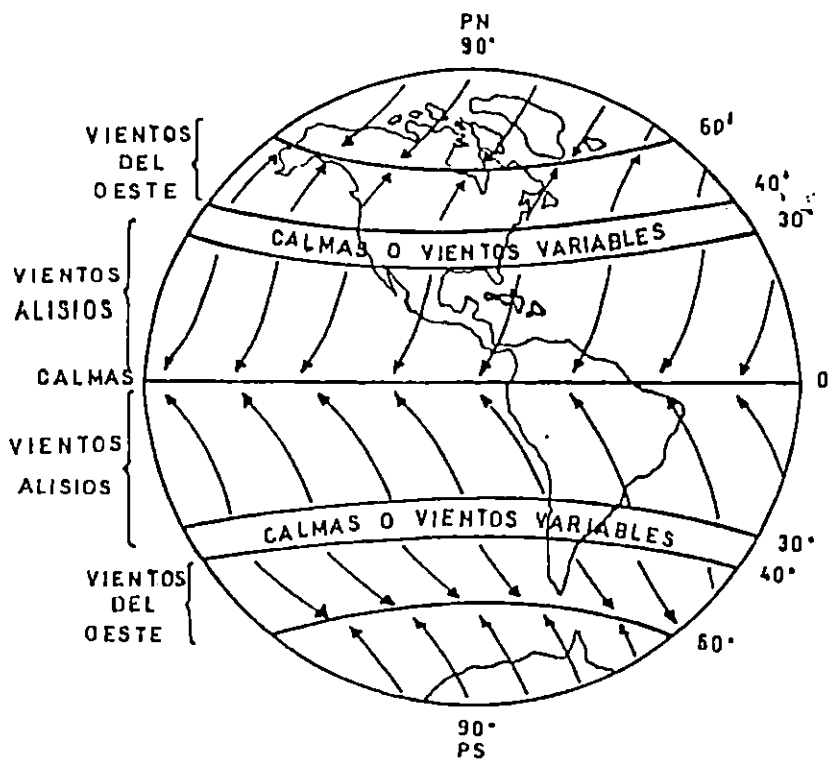


Figura 7 Esquema de la circulación general de la atmósfera [Ref. 5]

Como el viento sopla siempre desde las altas hacia las bajas presiones, para las regiones del hemisferio norte se tiene que:

- a) En las zonas vecinas al ecuador, tiende a producirse viento norte, pero por efecto de la rotación de la tierra, ese viento resulta desviado hacia la derecha, siendo su dirección real del noroeste. Estos vientos del NE o alisios se observan desde el ecuador hasta la latitud de 30° y especialmente sobre los océanos. Sobre la banda ecuatorial predominan las calmas.
- b) Inmediatamente después de la faja de altas presiones, a partir de la latitud 40°, se extiende una banda de bajas presiones por lo tanto, tiende a producirse viento sur que, desviado hacia la derecha, resultan del SO, o del O.

- c) A partir de los 70° , la presión atmosférica comienza a subir hasta el polo; de acuerdo con ello, tiende a producirse viento norte que al desviarse hacia la derecha, resulta viento noreste.

En el hemisferio sur, la circulación del aire es semejante a la del hemisferio norte, pero debe tenerse presente que los vientos siempre son desviados hacia la izquierda.

3.3.1. VIENTOS ALISIOS

Llámase alisios los vientos sumamente regulares y constantes que soplan en las vecindades de las regiones ecuatoriales; provienen del noreste en el hemisferio norte. Si el alisio sopla del mar hacia la tierra, las lluvias son abundantes, como sucede en la región Atlántica en Centro América. La presencia de la Cordillera Central hace disminuir las lluvias sensiblemente hacia el Valle Central. En cambio, si el alisio sopla de la tierra al mar, las lluvias son sumamente raras, hallándose verdaderos desiertos aún sobre las costas.

3.3.2. MONZONES

En ciertas comarcas del Africa y sobre todo en el Sur y Sur-este de Asia reina un régimen más regular de vientos periódicos, que soplan la mitad del año en cierto sentido y la otra mitad en sentido contrario. Tales vientos se llaman monzones.

Durante el verano se calienta la tierra más que el mar, y sobre ella el aire al dilatarse toma un movimiento ascensional, que es compensado por la llegada del aire marino más fresco y por lo tanto, más pesado. Este constituye el monzón de verano, que tiene la virtud de refrescar algo la atmósfera y de aportar abundantes lluvias.

En invierno, las condiciones se invierten, pues el aire que se encuentra sobre la tierra es el que se enfría más, soplando el monzón desde la tierra al mar.

La inversión de los monzones, que se realiza aproximadamente después de haber transcurrido los seis meses, va acompañada de terribles tempestades giratorias llamadas tifones.

3.3.3. MASAS DE AIRE

Una masa de aire se define como un extenso volumen de aire que posee cierta homogeneidad horizontal en cuanto a temperatura y humedad se refiere.

La condición necesaria para que ese gran cuerpo presente tal homogeneidad horizontal es que permanezca inmóvil o se mueva muy lentamente sobre una región para permitir que las capas de aire obtengan ciertas características térmicas e hídricas, acordes con las de la superficie sobre la cual se encuentran.

Las masas de aire pueden ser calientes o frías, si se las compara con la temperatura superficial de la región que atraviesan. Son masas de aire frío las que se mueven sobre áreas calientes. Estas masas experimentan, debido a un calentamiento de las capas bajas, movimientos ascendentes que pueden dar lugar a la formación de nubes. Es decir, que presentan inestabilidad. Se denominan masas de aire caliente a las que poseen mayor temperatura que la superficie de la región. Estas masas se enfrían por debajo y se tornan más densas, adquiriendo estabilidad.

3.3.4. FRENTE

Una masa de aire presenta pequeñas variaciones horizontales de sus características físicas, en comparación con los notables cambios de propiedades que se producen en el límite con otra masa de aire de distinta región de origen. Esta zona de contacto o de transiciones rápidas se denomina superficie de discontinuidad o frente.

Para que se establezca un frente es necesaria la presencia de masas de aire con distintas temperaturas y contenidos de humedad y que ellas converjan por efecto de la circulación atmosférica. Cuando estas dos condiciones dejan de cumplirse ocurre el debilitamiento y la desaparición de los frentes.

Según como se forma la superficie de discontinuidad, se distinguen dos tipos principales de frentes: el caliente y el frío.

Cuando una masa de aire cálido, por su mayor velocidad desplaza a una masa de aire frío y asciende activamente sobre ella, se establece un frente caliente.

Por el contrario, cuando el aire frío se introduce como una cuña agresiva por debajo del aire cálido, desplazándolo y obligándolo a ascender, se forma un frente frío.

3.3.5. HURACANES

Se denomina huracán a un sistema de vientos que fluyen con gran fuerza destructiva alrededor de un centro de presiones bajas. Los huracanes traen consigo lluvias intensas y prolongadas que ocasionan inundaciones con perjuicios adicionales a los ocasionados por el viento. Los huracanes tienen dos movimientos, uno de rotación y otro de traslación.

Tres son las condiciones fundamentales, necesarias para la formación de los huracanes:

- ▶ Fuente de energía
- ▶ Presencia del desplazamiento superficial ciclónico del viento en gran escala
- ▶ Presencia de un desplazamiento vertical del viento

La fuente principal de energía para los ciclones tropicales es el calor que se desprende de la condensación del vapor de agua. Se ha determinado que los ciclones tropicales se forman solamente sobre los océanos y mares, en los que la temperatura de la capa superior del agua no es menor de 26°C.

De acuerdo con la velocidad del viento, los ciclones tropicales se clasifican como:

- 1) Depresión con velocidad del viento menor de 17 m/s.
- 2) Tormenta, con velocidad del viento de 17 m/s a 23 m/s.
- 3) Tormenta fuerte, con velocidad del viento de 23 m/s a 32 m/s.
- 4) Huracán, con velocidad del viento mayor de 32 m/s.

La velocidad máxima del viento de los huracanes muy fuertes, puede alcanzar de 60 m/s a 100 m/s y aún más.

3.3.6. VIENTOS DIARIOS O LOCALES

Entre los vientos diarios deben mencionarse la brisa de montaña y la de valle, que se producen en valles angostos y orientados según el meridiano.

Durante el día (Ver Figura 8), debido a la radiación solar, las laderas de las montañas se calientan mucho, lo mismo que el aire en contacto con ellas. Este calentamiento causa una dilatación del aire que disminuye su densidad. El aire caliente y liviano pronto es desalojado y obligado a elevarse por el aire menos caliente y más denso de los alrededores. En altura, la masa aérea que se ha elevado se vuelca sobre el valle, produciendo una sobrepresión que empuja el aire hacia las cumbres y originando un viento ascendente llamado brisa del valle.

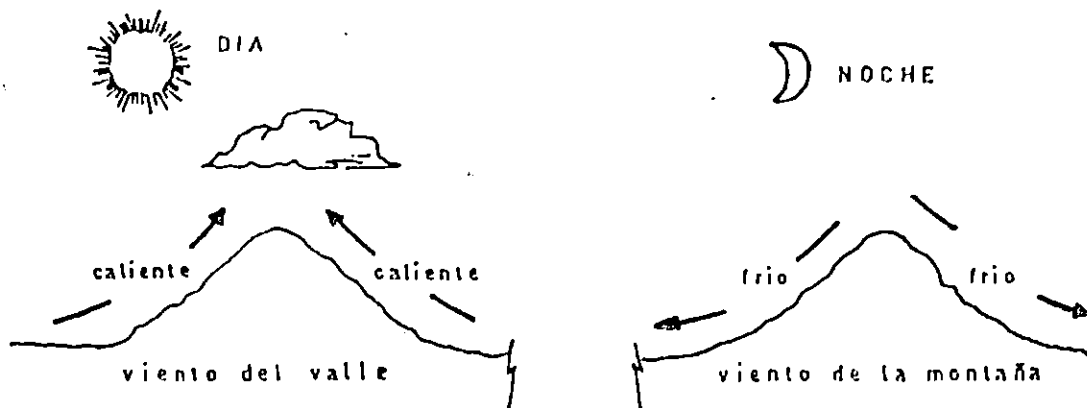


Figura 8 Dirección de los vientos durante el día y durante la noche
[Ref. 5]

Durante la noche (Ver Figura 8), el proceso es inverso. Las laderas se enfrían mucho y consecuentemente, también lo hace el aire en su contacto, que se contrae y aumenta su densidad. Este aire frío y pesado inicia un movimiento descendente hacia el valle y se llama brisa de montaña.

La acumulación de aire frío en el valle origina una corriente aérea ascendente que, en lo alto, se vuelca hacia las cumbres. Se cierra así el anillo de circulación producido.

3.3.7. MEDICION DE LA VELOCIDAD

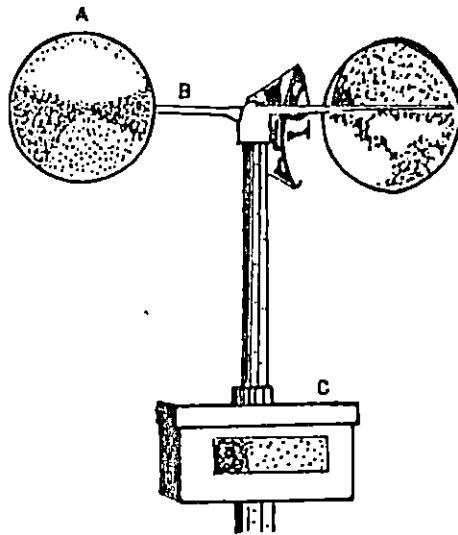


Figura 9 Anemómetro de Robinson: A. Semiesferas; B. Brazo; C. Mecanismo registrador de la distancia recorrida por el viento [Ref. 5]

La velocidad del viento se mide por medio de instrumentos llamados anemómetros. El más usado es el llamado molinete de Robinson (Ver Figura 9). Este aparato se compone de tres brazos horizontales que forman ángulos de 120 y están fijados sobre un eje vertical que puede girar libremente, lo que muestra la Figura 9. En los extremos de estos brazos existen unas mitades de esfera, orientadas hacia un mismo lado.

Los anemómetros, generalmente, están contruidos de tal forma que cuando el viento recorre cinco metros el molinete da una vuelta. Lo más frecuente es que el aparato de Robinson registre continuamente la velocidad del viento, es decir, que sea un anemógrafo. En tal caso el eje vertical del molinete, por medio de tornillos sin fin y engranajes, hace girar una rueda dentada grande sobre la cual se ha insertado un número conveniente de agujas, las cuales cierran o abren un circuito eléctrico cada 1000 metros recorridos.

Al cerrarse el circuito, la corriente eléctrica, engendrada por dos o tres pilas, actúa sobre un electroimán que atrae, entonces, una barra de hierro sobre la que se haya fija la pluma inscriptora; pocos segundos después las agujas de la rueda abren el circuito, la corriente se interrumpe, el electroimán deja de actuar; debido a ello, la barra de hierro (y su pluma)

accionada por un resorte, vuelve a su posición primitiva de estabilidad. La pluma hace su inscripción sobre una faja de papel enrollada sobre un cilindro horizontal que gira. Esta faja se cambia todos los días a las 07 horas.

En las estaciones observadoras donde no se dispone de anemómetro, el observador estima la velocidad del viento por medio de una escala de valores; para ello, se basa en el efecto que produce el viento sobre los árboles, edificios, el mar, etc. Mejor es usar el dispositivo, anexo a la veleta que muestra la Figura 10.

3.3.8. DIRECCION DEL VIENTO

La dirección del viento se observa con ayuda de la veleta. La veleta debe ser móvil, para poder orientarse con el menor viento. El aparato debe estar perfectamente equilibrado y su eje de rotación en correcta posición vertical.

La veleta debe estar colocada de 8 m a 10 m sobre el nivel suelo, libre de la influencia de los árboles, plantaciones y edificios, que desvían la dirección, o bien producen remolinos.

El instrumento se compone de dos partes esenciales:

- a) Dos láminas verticales, formando entre ellas un ángulo de unos 20° , estas láminas son las que orientan la veleta;
- b) Una flecha situada en el plano de la bisectriz de las dos láminas. La punta de la flecha indica el punto de donde procede el viento.

Como hay dos componentes en las mediciones del viento, se necesitan dos unidades para su anotación:

Velocidad: m/seg ó km/hora.

Dirección: es suficiente para los fines de la climatología considerar sólo las direcciones N-NE-E-SE-S-SW-W-NW y calmas. La dirección es aquel punto que indica de donde sopla el viento; o sea, que cuando el viento viene del norte y va para el sur, se dice que su dirección es norte.

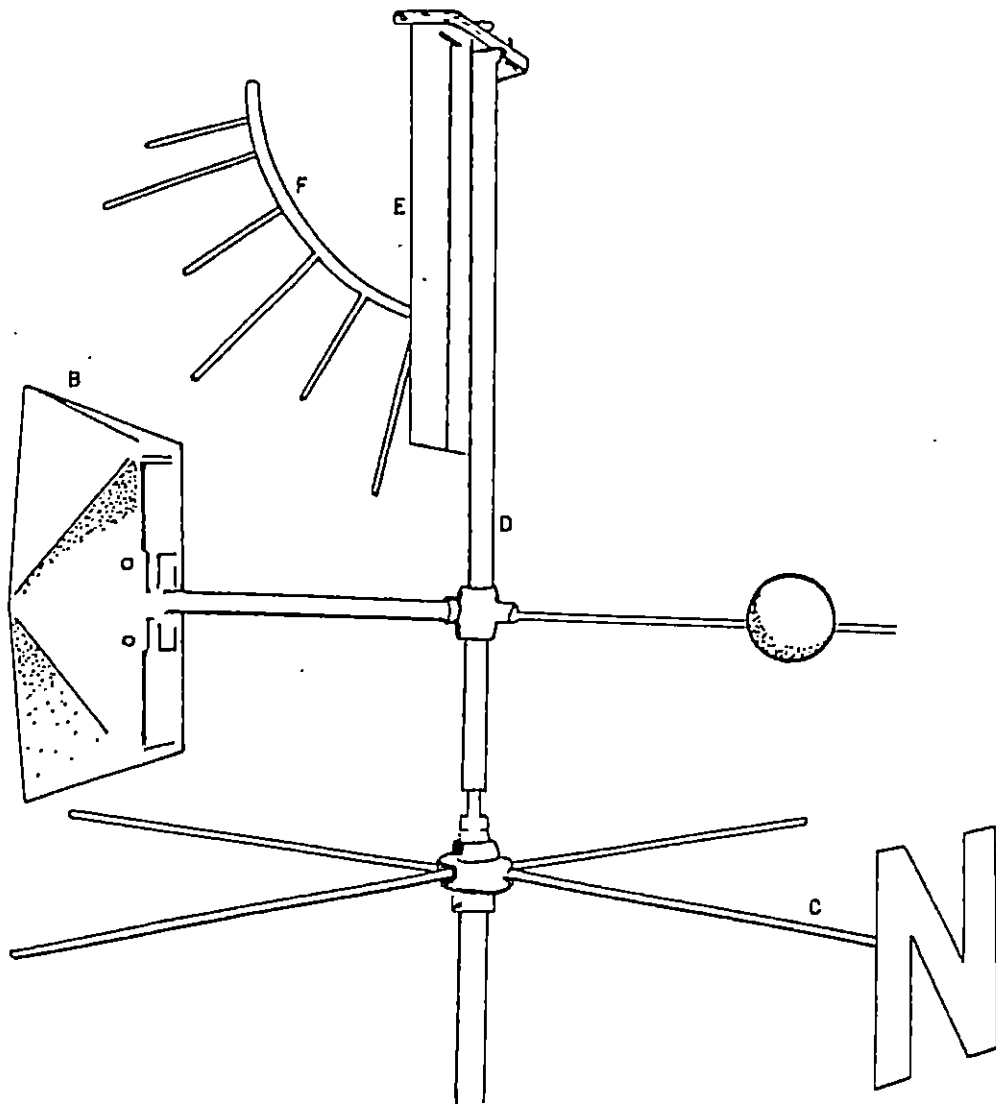


Figura 10 Veleta y dispositivo para estimar velocidad. A. Punta indicadora; B. Láminas verticales; C. Brazo indicador; D. Eje; E. Placa móvil; F. Puntos paros de la escala [Ref. 5]

Estos aparatos hay que colocarlos sobre una estructura especial que tiene que estar diseñada y calculada de acuerdo a la altura a que se deseen colocar los elementos medidores. Usualmente se aconseja instalar los elementos medidores a una altura de 8 a 10 metros sobre

el suelo, en un punto representativo de la zona, sin corrientes de aire ni obstáculos producidos por condiciones ajenas al área vecina en que el instrumento se instala.

Cuando hay árboles o edificios, éstos deben quedar a una distancia no menor de dos veces la altura de ellos mismos al sitio del instrumento; por ejemplo, véase la Figura 11 que demuestra esta relación.

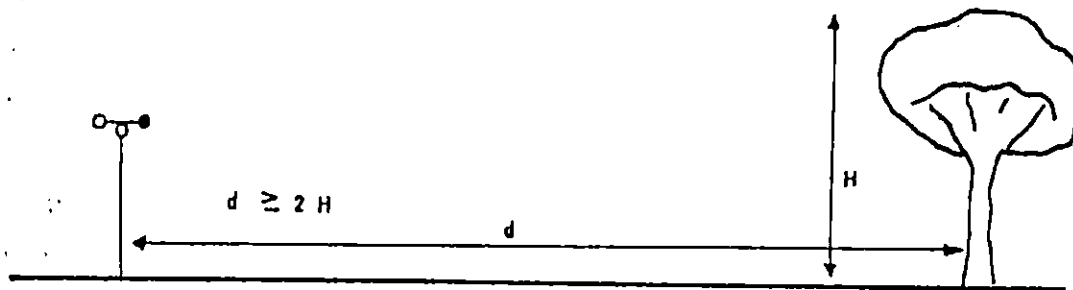


Figura 11 Distancia horizontal mínima exigida entre el anemógrafo y los árboles [Ref. 5]

A veces en climatología estos instrumentos se instalan por comodidad o a propósito en las terrazas de los edificios. En este caso, hay que tener cuidado con el comportamiento del viento ante el edificio, recordando que éste adquiere aquí no sólo una mayor velocidad en la cumbre del edificio, como resultado de la mayor presión que ejerce el mismo en ese punto, sino que también hay turbulencia provocada por la componente vertical que le imprime el obstáculo. Este fenómeno se presenta gráficamente en la Figura 12.

Cuando se tenga que usar la terraza de un edificio, se debe tener una torre que alcance la zona no perturbada por el edificio, es decir, que alcance la zona de velocidad "normal" del viento; además, la torre misma no debe ofrecer mucha resistencia al viento.

Para su mantenimiento se recomienda revisar el instrumento en forma periódica con el fin de limpiarlo, aceitar las partes que lo requieran y fundamentalmente cambiar toda pieza en la que puedan preverse fallos. Nunca se puede esperar a que una pieza falle totalmente porque eso implica pérdida de observaciones, además del posible error que pueda haber ocurrido en las observaciones a causa del desajuste de la pieza, error que es difícil de corregir. En general y

Para su mantenimiento se recomienda revisar el instrumento en forma periódica con el fin de limpiarlo, aceitar las partes que lo requieran y fundamentalmente cambiar toda pieza en la que puedan preverse fallos. Nunca se puede esperar a que una pieza falle totalmente porque eso implica pérdida de observaciones, además del posible error que pueda haber ocurrido en las observaciones a causa del desajuste de la pieza, error que es difícil de corregir. En general y hasta donde sea posible, conviene cambiar todas aquellas piezas que sea necesario, antes de su agotamiento total.

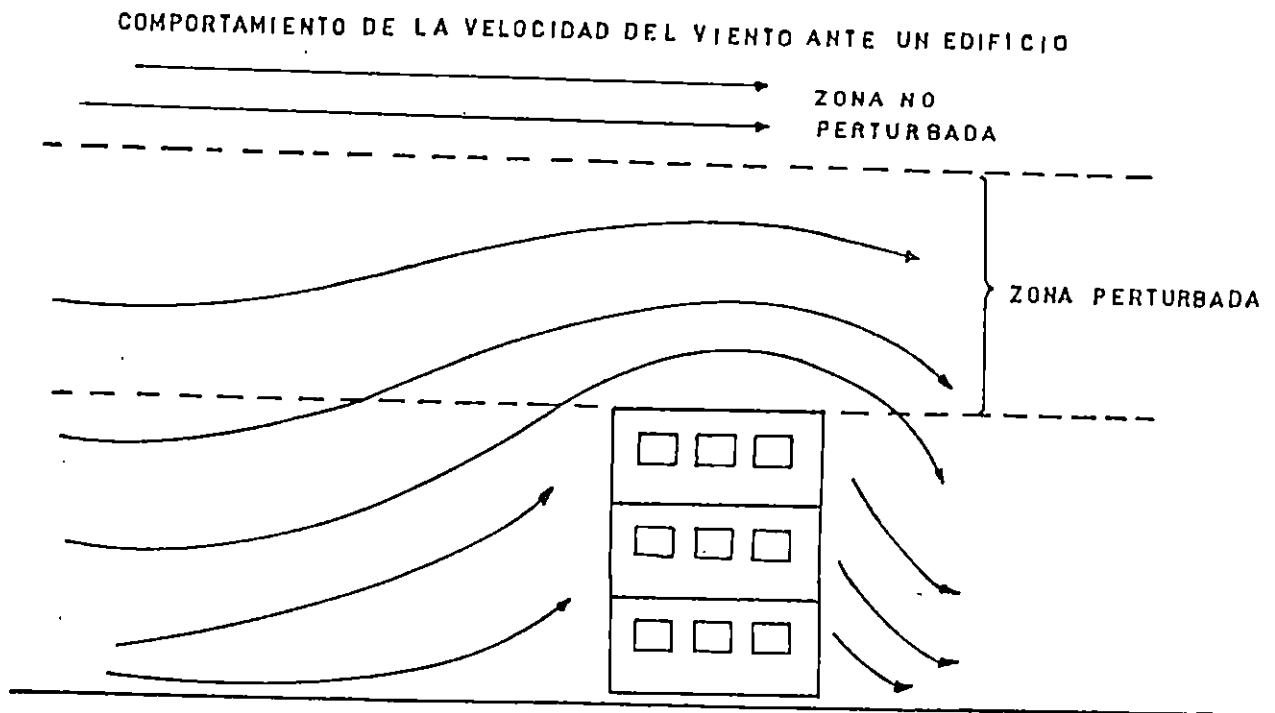


Figura 12 Comportamiento del viento ante un edificio [Ref. 5]

3.4. PRESION ATMOSFERICA

[Ref. 5]

Se define como presión atmosférica o simplemente presión del aire, al peso de las moléculas de aire las cuales producen una fuerza sobre la superficie terrestre. El concepto de presión del aire es simplemente otro medio de describir el fenómeno de las moléculas del aire chocando contra una superficie.

Las moléculas del aire, al chocar contra la superficie de un objeto, provocan un empuje sobre él, este empuje, dividido por el área de la superficie que lo recibe, es lo que denominamos "presión" y que tiene la siguiente expresión:

$$\text{Presión} = \text{Fuerza}/\text{Area}$$

Billones de moléculas de aire constantemente chocan contra el cuerpo humano. Al nivel del mar las moléculas del aire producen una fuerza promedio de 1 kg/cm^2 . Esta fuerza es igual en todas las direcciones y por eso sus efectos se neutralizan. Por ejemplo, la presión del aire que empuja la mano por detrás es la misma que empuja la palma. Las personas no son aplastadas por la fuerza porque otros billones de moléculas también producen un empuje (fuerza) de dentro hacia afuera.

La presión a cualquier nivel de la atmósfera puede ser medida en términos del peso total del aire sobre ese nivel. A alturas superiores hay menos moléculas, por lo que la presión atmosférica siempre disminuye con la altura (Ver Figura 13).

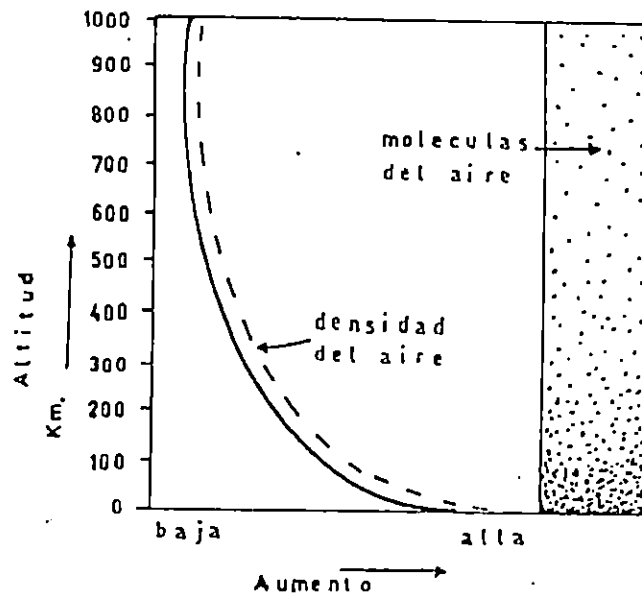


Figura 13 Disminución de la densidad del aire y su presión, con la altura [Ref. 5]

La presión atmosférica disminuye a medida que aumenta la elevación sobre el nivel del mar. Se ha demostrado que la disminución es de un milibar (mb) por cada 8 metros de altura.

Para que los datos de presión atmosférica sean aprovechados, es preciso que estos se reduzcan, mediante el cálculo, a los que se obtendrían a nivel del mar.

La presión o fuerza que la atmósfera ejerce sobre un centímetro cuadrado puede ser medida, como todas las fuerzas, en gramos, kilogramos, dinas, etc.

La presión atmosférica en la cima de una montaña es menor que en el valle, pues hay menos volumen de aire encima. Por otra parte, el aire caliente pesa menos que el aire frío, y el aire húmedo menos que el seco. Así, pues, en un mismo lugar, la presión atmosférica varía según la naturaleza de las diferentes capas de aire que gravitan sobre aquel lugar.

El aire, además de ser elástico y expandible, es también un cuerpo pesado. En la atmósfera, las capas superiores presionan sobre las capas inferiores comprimiéndolas. Para que haya equilibrio en una masa dada de aire, es necesario que la fuerza elástica del aire sea igual a la presión que soporta por el efecto de las capas superiores.

En Meteorología se emplea el término de presión atmosférica para designar, indiferentemente, la fuerza elástica del aire o la presión que soporta.

Una manera muy generalizada de expresar la presión atmosférica es la de indicar la altura de la columna de mercurio que equilibra dicha presión. Esa altura se mide en milímetros; el valor normal de la presión así expresada es de 760 mm al nivel del mar.

Aún cuando, por lo general, la presión atmosférica se mide en una unidad física que se denomina milibar (mb). La presión atmosférica normal es de 1,013 milibares, un milibar equivale a la fuerza de mil dinas por centímetro cuadrado ($1,000 \text{ dinas/cm}^2$), por lo tanto, el milibar representa algo más de un gramo por centímetro cuadrado.

3.4.1. VARIACIONES DIARIAS DE LA PRESION ATMOSFERICA

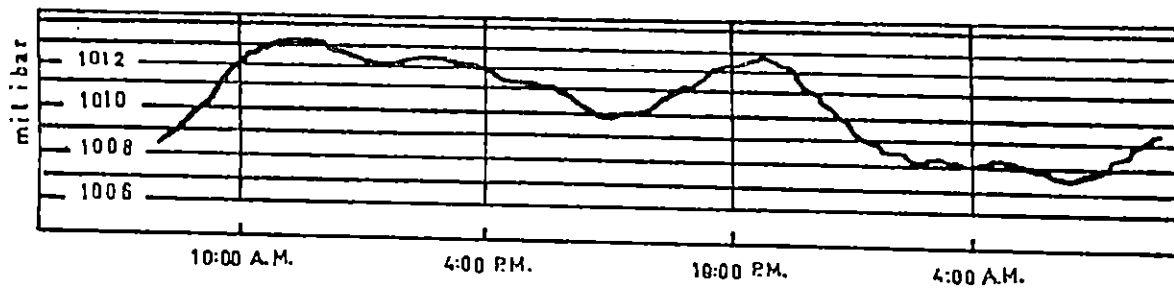
En los países tropicales, la presión atmosférica sufre una variación diaria muy regular. La presión sube desde las 4h hasta las 10h; luego baja hasta las 16h y vuelve a subir hasta las 22h, para bajar nuevamente hasta las 4h es decir, que la presión es máxima a las 10 de la mañana y a las 10 de la noche; es mínima a las 4 de la madrugada y a las 4 de la tarde, en esta doble oscilación, el valor más alto es el de las 10h y el más bajo es el de las 16h.

En las regiones templadas, el fenómeno es menos neto y su amplitud menor, sin embargo se manifiesta claramente al calcular las presiones normales horarias.

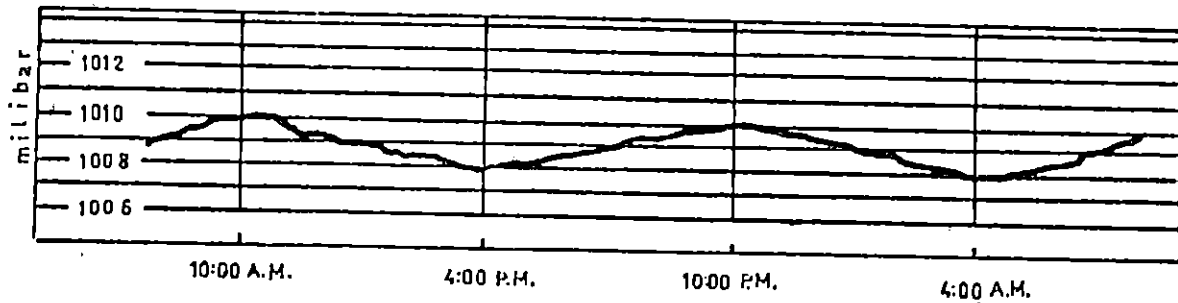
La variación diaria de la presión aun no ha sido explicada de manera completa y satisfactoriamente.

La marcha diaria de la presión no es igual en todas las épocas del año. En general, en verano, la máxima de la mañana se produce más temprano y la mínima de la tarde se retrasa.

La variación diaria disminuye con el aumento de la latitud, especialmente en verano, la amplitud diaria es mayor en el interior de los continentes (Ver Figura 14).



Trazo del barógrafo en latitudes medias



Trazo del barógrafo en el trópico

Figura 14 Trazos del barógrafo que muestran las variaciones diarias de la presión atmosférica al nivel del mar para las latitudes medias y el trópico [Ref. 5]

3.4.2. VARIACIONES ANUALES DE LA PRESION ATMOSFERICA

La presión atmosférica sufre una variación bastante regular en el curso del año.

Este comportamiento se debe, en gran parte, a la marcha de la temperatura; en invierno (clima de zona templada) el aire está frío y, por lo tanto, es más denso, por consiguiente, la presión aumenta; en verano ocurre a la inversa, el aire está caliente y enrarecido y la presión disminuye.

La amplitud anual de la presión, o sea, la diferencia entre las normales del mes con presión máxima y del mes con presión mínima, disminuye con la altura sobre el nivel del mar.

Además de las variaciones regulares (diaria y anual) la presión atmosférica acusa continuamente otra variación irregular. Esta variación irregular es debida al pasaje frecuente de centros de altas y bajas presiones sobre la localidad.

Los centros de bajas y altas presiones son los que producen los continuos cambios de tiempo que se experimentan de un día a otro. En general, los centros de alta presión o "anticiclones" determinan tiempo bueno con vientos suaves y temperaturas bajas; no obstante, a veces se presentan anticiclones calientes. Los centros de baja presión, depresiones o ciclones, originan, en cambio tiempo cálido, nublado, con lluvias y vientos fuertes. También existen ciclones o depresiones fríos.

La Meteorología moderna no habla de cambios de tiempo originado por el pasaje de centros de bajas y altas presiones, sino como resultantes de la circulación de masas de aire: polar marítimo, polar continental, tropical continental, tropical marítimo, etc.

3.4.3. VARIACIONES DEBIDAS A LA ALTURA

La observación indica que en los mares la presión que ejerce el agua aumenta con la profundidad. Esto se puede verificar sumergiendo un depósito con plomo, un globo de caucho lleno de aire; a medida que el globo llega a mayores profundidades, su volumen disminuye visiblemente. La disminución del volumen se debe al aumento de la presión que ejerce el agua, cuyo efecto es comprimir el aire que llena el globo.

La atmósfera es un gran océano gaseoso y su presión también aumenta a partir del límite superior, alcanzando su mayor intensidad en el fondo, o sea, sobre la superficie terrestre. Como consecuencia, a medida que un observador se aleja de la superficie terrestre, ya sea escalando una montaña o por medio de una aeronave, comprueba que la presión atmosférica disminuye. El aumento de la presión no es proporcional a los metros descendidos, como ocurre en el seno de los mares.

Laplace demostró que en el aire en reposo, la presión disminuye en progresión geométrica cuando la altura crece en progresión aritmética o, dicho de otro modo, la presión disminuye

muy rápidamente con el aumento de la altura. De acuerdo a esta ley, a 5,000 mts de altura la presión se haya reducida a la mitad, y a un cuarto a los 10,000 mts; a 55,000 mts la presión debe ser prácticamente nula.

En resumen: la variación de la presión en la atmósfera y en los mares es muy distinta, la causa de ella es que el aire es fácilmente compresible.

A mayor elevación, el aire está sometido a menor presión y, por ello, se expande; el resultado es que su densidad disminuye con la altura.

De todo lo dicho surge que, con el aumento de la altura, la presión disminuye por dos razones:

- 1) Por encima del punto considerado queda una capa menor de atmósfera.
- 2) Esa capa está constituida por aire más liviano que el de las capas inferiores.

3.4.4. DISTRIBUCION DE LA PRESION SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Si se observa un planisferio con las isobaras anuales puede notarse:

- 1) Sobre la banda ecuatorial que se extiende desde la latitud 15°N hasta la latitud 15°S, la presión barométrica, es baja; inferior a 760mm, o sea, a 1013 mb.
- 2) Desde la latitud 15°S hasta latitud 40°S existe una faja de altas presiones; los valores más elevados se registran sobre los mares, donde se forman verdaderos centros de altas presiones. A cada lado de América del Sur existe uno de estos centros de altas presiones.
- 3) A partir de la latitud 40°S, donde la presión anual es de 760 mm, aproximadamente, el barómetro baja rápidamente hasta la latitud de 65°-70°, donde la presión es solamente de unos 745 mm.

- 4) Por último, merced a la información barométrica obtenida en las regiones antárticas, se aprecia un aumento de la presión desde la latitud 70° hasta el polo sur, 90°S .

La presión que antecede corresponde a la presión normal anual sobre el hemisferio sur, que es típicamente marino. En el hemisferio norte la distribución anual de la presión sobre los océanos es bastante semejante a la indicada para el hemisferio austral. Sobre los grandes continentes, en cambio, la distribución de la presión es muy diferente a la descrita.

La mayor diferencia consiste en la ausencia del descenso de presión entre 40° y 70° de latitud.

De acuerdo a que el aire frío es más pesado que el caliente, la presión atmosférica debería ir en aumento continuo desde el ecuador hasta los polos.

Sin embargo, ello se cumple solamente desde el ecuador, donde la presión es baja, hasta la latitud 30° , donde la ya mencionada faja de presiones tiene sus valores más elevados a partir de los 30° de latitud. Se ve que la presión en lugar de subir, baja hasta latitud 65° - 70° .

La razón es que la distribución de la presión atmosférica no está determinada solo por causas térmicas, sino por causas de origen dinámico.

3.4.5. MEDICION DE LA PRESION

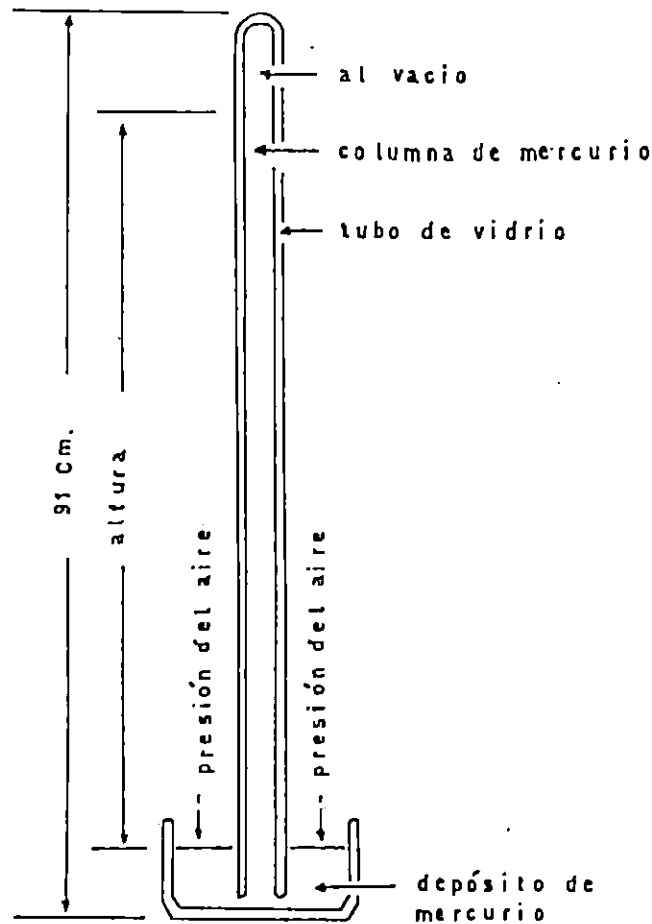


Figura 15 Barómetro de mercurio. La altura de la columna es la medida de la presión atmosférica [Ref. 5]

Para medir el peso del aire sobre un lugar, se usa el barómetro, por esto, la presión atmosférica se llama presión barométrica. Evangelista Torricelli, un estudiante de Galileo, inventó el barómetro de mercurio en 1643, su barómetro, que es muy parecido a los que se usan hoy en día, consiste en un tubo de vidrio de 91 cm de largo, abierto en un extremo y cerrado en el otro. Sacando el aire del tubo y cubriendo el extremo abierto, Torricelli sumergió este extremo abierto en un recipiente con mercurio; quitó la cobertura del extremo abierto y el mercurio subió por el tubo, hasta cerca de los 76 cms sobre el nivel del mercurio en el recipiente. Torricelli concluyó correctamente que el peso de la columna de mercurio en el tubo

estaba equilibrado por el peso del aire sobre el mercurio del recipiente y, por lo tanto, su peso era la medida de la presión atmosférica (Ver Figura 15).

El barómetro más comúnmente utilizado en la práctica es el Barómetro Aneroide, que no contiene ningún líquido o dentro del instrumento hay una pequeña caja de metal, flexible, que se llama celda aneroida. Antes de que la celda sea sellada, parte de su aire es extraído para que los pequeños cambios externos en la presión del aire hagan que la celda se contraiga o expanda.

El tamaño de la celda es calibrado para medir diferentes presiones y los cambios en su tamaño es amplificado por palancas y transmitido por un brazo que indica la presión atmosférica del momento. (Ver Figura 16).

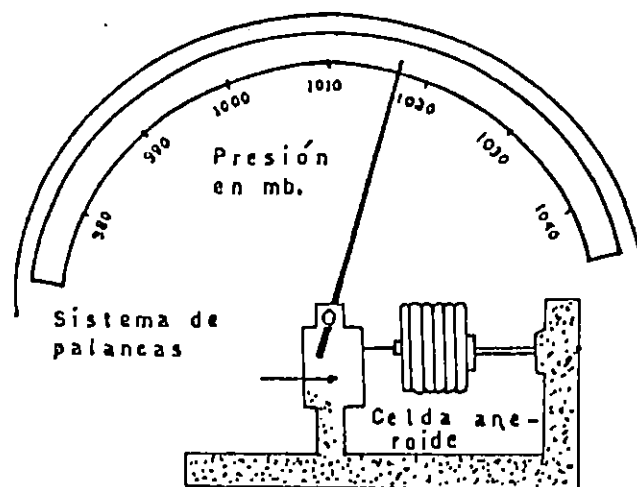


Figura 16 Barómetro Aneroida [Ref. 5]

Dos tipos especiales de barómetros son los constituidos por el Altimetro y el Barógrafo. Los altímetros son barómetros aneroides que miden la presión pero están calibrados para indicar la latitud.

Los barógrafos son barómetros aneroides registradores, básicamente, el barógrafo consiste en un brazo indicador que oscila con las variaciones de presión y lleva adherida una pluma que descansa sobre un papel debidamente pautado adosado a este tambor que gira lentamente por medio de un mecanismo interno de relojería; de esta forma, las variaciones producidas en la presión van quedando grabadas en la gráfica mediante un trazo continuo.

Los barógrafos están contruidos de manera que las variaciones de temperatura, prácticamente, no alteren sus indicaciones; por lo tanto, sus valores, en principio, son comparables a las lecturas del barómetro de mercurio, reducidas a cero grados. Las variaciones de la gravedad tampoco afectan a sus valores, por ello no se efectúan las correcciones por latitud y altitud. (Ver Figura 17).

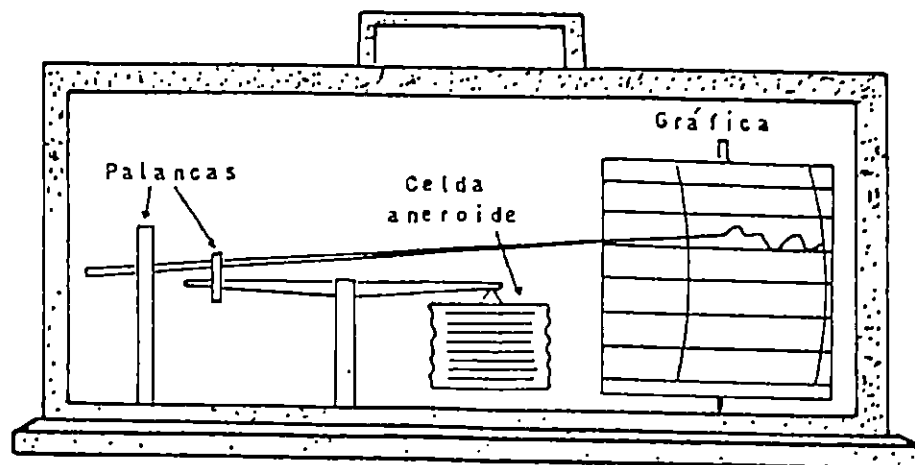


Figura 17 Barógrafo [Ref. 5]

3.4.6. UNIDADES DE PRESION O BAROMETRICAS MAS UTILIZADAS

- ▶ Libras por pulgada cuadrada.
- ▶ Bar: Por definición, es una fuerza de un millón de Dinas actuando en un área de 1 cm^2 (1 Dina es la fuerza requerida para mover un objeto con una masa de un gramo, de tal manera que su velocidad se incremente constantemente a una velocidad de 1 cm/seg). Debido a que el bar es una unidad relativamente grande ya que los cambios de la presión atmosférica en la superficie son muy pequeños, la unidad más usada para la presión de la superficie es el milibar (mb), o milésima parte de un bar, de ahí que $1 \text{ bar} = 1,000 \text{ mb}$.
- ▶ Pascal: es la unidad de presión designada por el sistema internacional (SI) de medidas, en honor a Blaise Pascal (1623-1662) cuyos experimentos sobre la presión atmosférica permitieron un gran avance en el conocimiento de la atmósfera. Un Pascal (Pa) es la fuerza de 100,000 dinas actuando en un metro cuadrado; por ello:

$$1 \text{ bar} = 1,000 \text{ mb} = 100,000 \text{ Pa}$$

El valor estándar de la presión atmosférica es el que existe al nivel del mar (cero metros de altitud) y es:

$$1,013.25 \text{ mb} = 101,325 \text{ Pa}$$

3.5. RADIACION SOLAR

[Ref. 5]

La energía que emite el sol, o radiación solar, recibida en la superficie terrestre, es la fuente de casi todos los fenómenos meteorológicos y de sus variaciones en el curso del día y del año.

La unidad de medida más usada actualmente para la radiación es la caloría por centímetro cuadrado por minuto ($\text{cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$). Y una caloría se puede definir como la cantidad de calor requerida para aumentar la temperatura en $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ de un gramo de agua al pasar de $14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, al nivel del mar.

La radiación solar es la fuente de energía para los procesos biológicos que ocurren en la naturaleza: A estos pertenecen, fundamentalmente, la actividad vital de las plantas, los animales y el hombre.

El crecimiento y desarrollo de las plantas, de los cultivos agrícolas, es un proceso de asimilación y transformación de la energía solar, y por ese motivo la producción agrícola es posible solamente bajo determinado mínimo de energía solar sobre la superficie terrestre.

Todas las manifestaciones climáticas de la atmósfera tienen su causa primaria en la energía solar recibida por la tierra. Esta energía se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética.

El conjunto de la radiación electromagnética tiene características ondulatorias y se desplaza a una misma velocidad de $300,000\text{ km/seg}$.

3.5.1. CARACTERÍSTICAS DEL ESPECTRO SOLAR Y SU DISTRIBUCION GEOGRAFICA

La energía solar recibida difiere según la región y la estación del año, debido a la forma esférica de la tierra y a la inclinación de su eje de rotación sobre sí misma, respecto al plano elíptico de rotación alrededor del sol.

Las regiones que captan más energía son aquellas en que los rayos del sol inciden perpendicularmente, tal como sucede prácticamente durante todo el año en las regiones ecuatoriales. En las demás regiones, a medida que se alejan del ecuador a los polos, los rayos del sol inciden cada vez más oblicuamente, con la consecuente disminución de la energía solar absorbida.

La radiación solar que llega al límite superior de la atmósfera está formada por rayos de distinta longitud de onda y su valor por centímetro cuadrado por minuto, "rayos perpendiculares a la atmósfera" es de dos calorías. Este valor de dos calorías por centímetro cuadrado por minuto se llama Constante Solar.

Las tres longitudes de onda en que se puede dividir la radiación solar corresponden a los rayos:

- 1) Ultravioletas o Químicos: no son visibles y su longitud de onda es muy pequeña, menor de 0.35 micrones.
- 2) Luminosos: son los únicos visibles y su longitud de onda varía entre 0.36 y 0.76 micrones. Estas longitudes de onda corresponden al violeta y al rojo respectivamente, y
- 3) Térmicos o caloríficos: tampoco son visibles y su longitud de onda es mayor de 0.76 micrones.

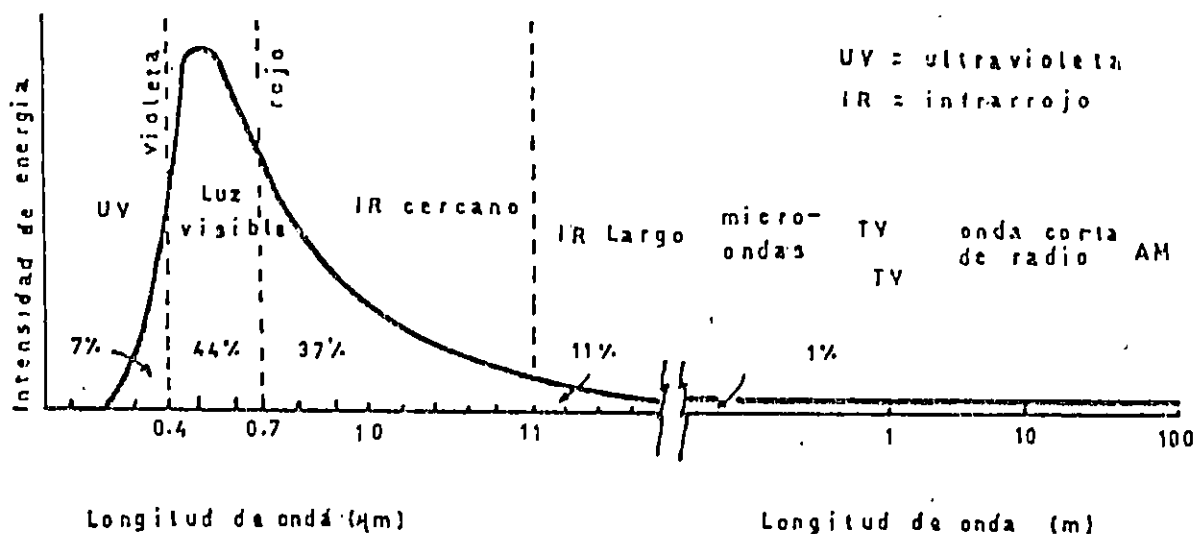


Figura 18 Espectro electromagnético del sol. Los números debajo de la curva representan el % de energía emitida por el sol en las diferentes regiones del espectro [Ref. 5]

Las tres radiaciones citadas (químicas, luminosas y térmicas), cuando son recibidas sobre una superficie ennegrecida con negro de humo se transforman casi enteramente en calor. (Ver Figura 18).

La distribución en porcentajes de la radiación solar puede estimarse para las longitudes de onda de:

Menos de 0.4 (ultravioleta)	= 7% - 9%
De 0.4 a 0.7 (región visible)	= 41% - 44%
Más de 0.7 (infrarojo)	= 50% - 47%

Desde luego que estos valores varían de acuerdo con la altitud solar o ángulo de incidencia de los rayos solares. Así, cuando el sol está perpendicular, la parte visible constituye hasta un 49%; pero cuando está a 20 de altitud, ésta se reduce hasta un 29%.

Tanto el sol como la tierra se comportan como cuerpos negros, los cuerpos negros absorben toda la energía que incide sobre ellos y, a su vez, emiten energía proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

Este principio es definido en la ley Stefan-Poltzman que dice:

El total de energía emitido por un cuerpo negro es proporcional a (T^4)

$$I \propto T^4$$

donde:

T = temperatura en °K

I = energía total emitida (o intensidad)

Inclusivo si la cantidad de radiación recibida del sol es igual que la emitida por la tierra, de acuerdo con el balance calórico existente, las dos clases de radiación son fundamentalmente diferentes en calidad. La intensidad total de radiación solar (I) es repartida sobre un amplio margen de longitudes de onda. De acuerdo con la ley de Wien, el producto de la temperatura (T) por la longitud de onda correspondiente a la que emite la máxima intensidad de radiación (λ_{max}) es constante.

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,897$$

λ_{\max} = longitud de onda (micrones μ)

T = temperatura ($^{\circ}$ K)

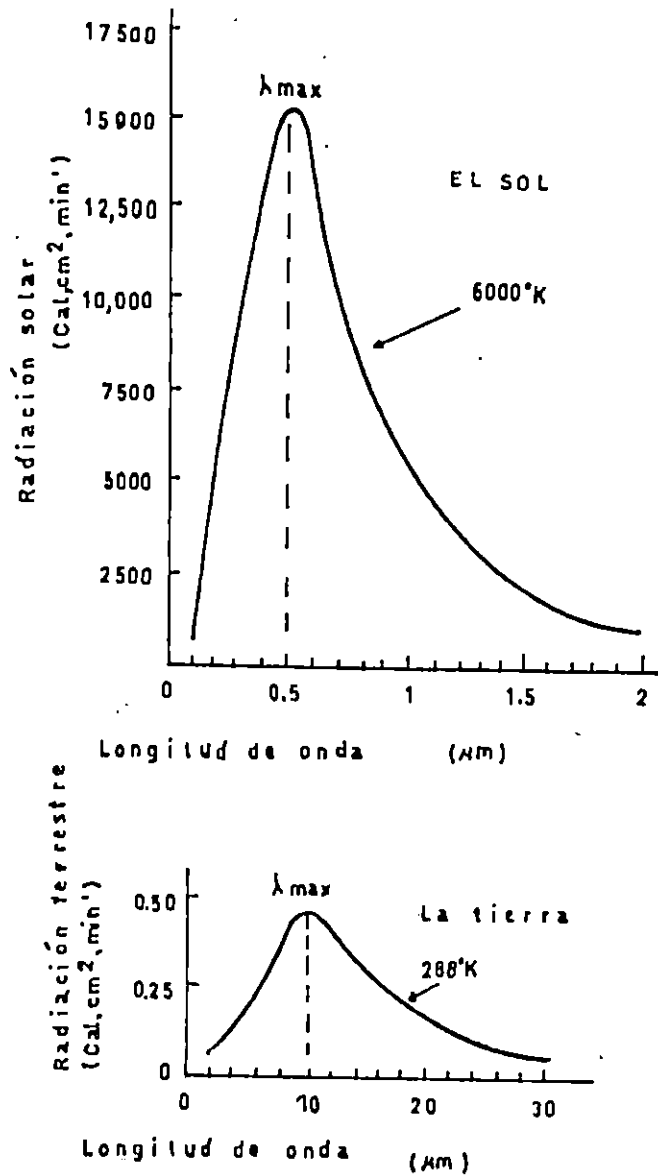


Figura 19 Gráficos que presentan la energía emitida desde 1 cm² de la superficie del sol y de la tierra [Ref. 5]

Así, a más alta sea la temperatura del cuerpo, la máxima intensidad de radiación solar será desplazada hacia las longitudes de onda corta.

Se ha establecido que la temperatura de la superficie del sol es de 6,000 °K mientras que la de la tierra es de, 283 °K (10 °C) ello quiere decir que, de acuerdo a la ley de Wien se tiene:

$$\begin{aligned}\lambda_{\max}\text{sol} &= 2,897/6,000 &= 0.48\mu \\ \lambda_{\max}\text{tierra} &= 2,897/283 &= 10\mu\end{aligned}$$

3.5.2. EFFECTO DE LA ATMOSFERA EN LA RADIACION SOLAR

No toda la radiación solar incidente en el límite de la atmósfera llega a la superficie terrestre. Esto se debe a que la atmósfera actúa sobre ella, produciendo distintos fenómenos como: absorción, reflexión, dispersión, etc.

1) Absorción:

Se denomina así al proceso por el cual un flujo de radiación penetra en un cuerpo y se transforma en energía térmica, aumentando la temperatura del mismo. La radiación solar, al atravesar la atmósfera sufre una absorción selectiva, en la cual deben distinguirse los tres hechos notables que son:

- a) las radiaciones de longitud de onda muy corta (rayos ultravioleta) son casi enteramente absorbidos por el ozono de la atmósfera.
- b) La atmósfera se deja atravesar fácilmente por las radiaciones luminosas de longitud de onda mayor (rojo, anaranjado y amarillo) y difícilmente por las luminosas de longitud de onda menor (violeta y azul).
- c) Las radiaciones de longitud de onda muy larga, o radiaciones térmicas, son absorbidas en forma variable, según la cantidad de vapor de agua y anhídrido carbónico existente en la atmósfera, cuando más abundante, más debilitadas resultan dichas radiaciones.

2) Reflexión:

Se produce cuando una radiación, al incidir sobre un cuerpo, es desviada o devuelta, sin modificarse sus caracteres.

La atmósfera refleja una parte de la radiación solar a través de sus componentes (gases, partículas sólidas, etc); otra parte llega a la tierra, donde es absorbida o reflejada.

La radiación solar reflejada varía considerablemente para las distintas superficies, según vemos a continuación:

Bosque	10%
Océano	12%
Campo arado	15%
Arena seca	20%
Pradera	25%
Nubes	75%
Nieve fresca	80%

Estos porcentajes representan valores medios de radiación reflejada, respecto de la radiación total incidente sobre las mencionadas superficies

3) Dispersión:

Es un fenómeno similar a la reflexión, diferenciándose de ésta en que la radiación modifica sus caracteres al ser devuelta o desviada.

Cuando un haz de rayos solares atraviesa una habitación oscura, es dispersado en todas direcciones por el polvo atmosférico; del mismo modo, la radiación solar es dispersada en la alta atmósfera por las moléculas de los gases del aire. Los rayos

luminosos de onda más corta violeta, azul) son más fácilmente dispersados, dando así el color azulado al cielo.

Los demás rayos luminosos (rojo, anaranjado y amarillo) llegan directamente al suelo, dado que casi no son dispersados por las moléculas de los gases del aire. Sin embargo su dispersión suele notarse cuando deben atravesar un espesor de atmósfera de considerable magnitud, por ejemplo en los crepúsculos, en estos casos, el cielo presenta un color que va del amarillo al rojo intenso.

La reflexión y dispersión de los rayos solares dan como resultado la radiación solar difusa. A ella corresponden, por ejemplo, las primeras luces antes de la salida del sol.

Merced a la radiación solar difusa, el pasaje del día a la noche y viceversa, se hace en forma paulatina y no brusca. (Ver Figura 20).

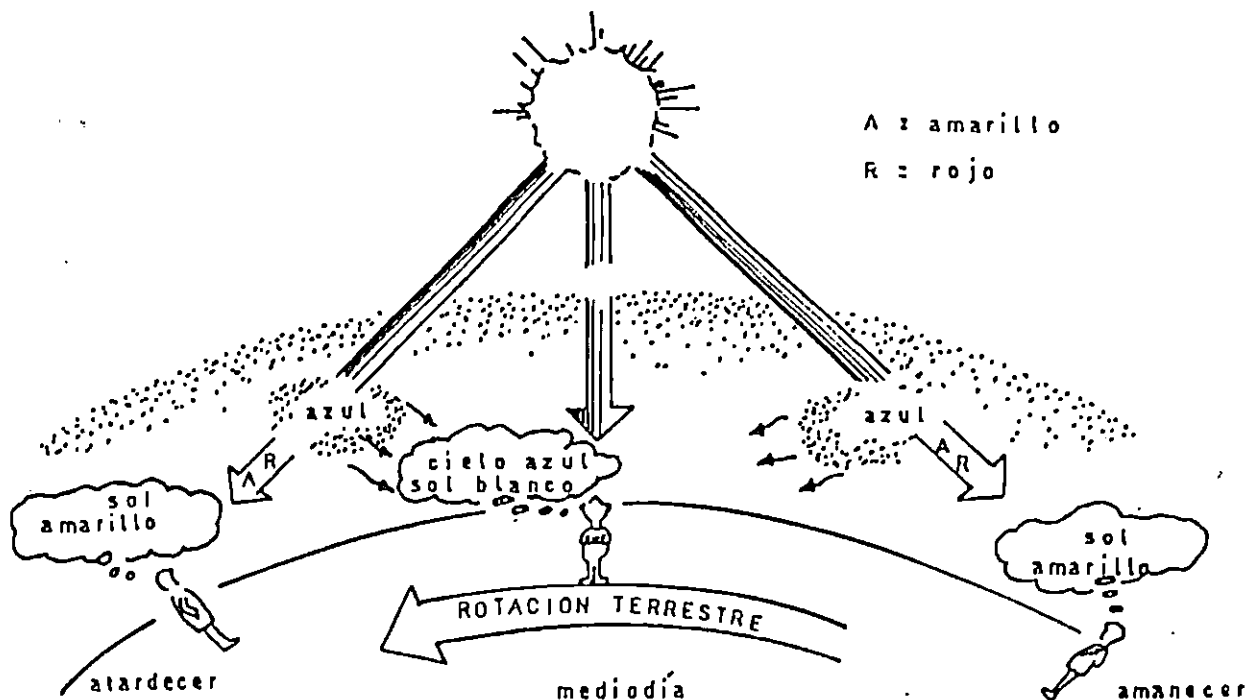


Figura 20 Ilustración del fenómeno de dispersión, que provoca el cambio aparente en el color del sol y del cielo. [Ref. 5]

3.5.3. VARIACION ANUAL DE LA RADIACION RECIBIDA

En cualquier punto de la tierra, la cantidad de calor diaria recibida por centímetro cuadrado de suelo horizontal, varía según la época del año (aun en el supuesto de que la transferencia del aire fuera invariable durante el año), ello se debe a que:

- a) los rayos solares llegan a la superficie de la tierra con distinta inclinación, según la época del año.
- b) la duración del día es diferente según la época del año (hacen excepción los puntos situados sobre el ecuador, donde el día astronómico siempre dura 12 horas).
- c) los días son más largos cuando los rayos solares son más perpendiculares.

Estos tres fenómenos son debidos exclusivamente a que el eje de rotación de la tierra forma un ángulo de $23^{\circ} 27'$ con la perpendicular trazada por su centro a la órbita terrestre. Además debe tenerse presente que, al desplazarse la tierra, su eje siempre se traslada paralelamente así mismo.

La resultante geográfica de todo lo enunciado es:

- 1) la cantidad de calor solar recibida diariamente disminuye desde el ecuador a los polos, en otoño, invierno y primavera.
- 2) en verano es a la inversa; esa cantidad aumenta desde el ecuador a los polos (si la atmósfera tiene muy buena transparencia, es decir igual a 1.0). Recuérdese que en verano la duración del día crece con la latitud.
- 3) cuando mayor es la latitud, mayor es la variación de las cantidades en el curso del año.

3.5.4. BRILLO SOLAR

El brillo solar es algo de difícil y precisa definición; por ello se dice que hay "brillo solar" cuando la banda del heliógrafo lo registra, pero lo cierto es que ese registro no ocurre cuando algo se interpone entre el aparato medidor y el sol; pero, sin embargo, siempre habrá luz solar; por lo que luz y brillo son cosas diferentes. Las nubes y la contaminación atmosférica pueden obstaculizar que la banda del heliógrafo se quemara, y por lo tanto, no quedaría registrado el brillo solar.

Es decir, la ausencia del "brillo solar" no implica ausencia de luz e inclusive ésta puede ser suficiente para que el proceso fotosintético se realice a su ritmo normal, sin que haya brillo solar con intensidad suficiente para ser registrado por la banda.

Brillo solar es casi sinónimo de cielo despejado; al menos lo es para el lugar en que se haya el heliógrafo.

Su unidad de medida es la hora, no indica intensidad sino duración de brillo solar.

3.5.5. MEDICION DEL BRILLO SOLAR

a) Actinógrafo

Este instrumento mide la energía solar en calorías $\text{cm}^{-2}\text{min}^{-1}$. El elemento medidor está constituido por una superficie blanca y otra negra, las cuales, al exponerse a la acción de la energía calórica absorben diferentes cantidades de radiación solar.

b) Actinógrafo de Robizch

Este fue descrito en 1932, está basado en principios físicos, pero los problemas que presentan no han sido superados, por lo que sólo se recomienda para lecturas diarias totales, con lo cual se obtiene una exactitud de 5 a 10%.

La parte sensible del Actinógrafo consta de tres placas bimetálicas colocadas horizontalmente, una a lado de la otra. La placa central es negra y las laterales son blancas, para evitar que la negra absorba la radiación difusa. Las placas están colocadas de tal forma que una diferencia en temperatura entre ellas produce un movimiento proporcional al de la pluma.

El lugar donde se haya la parte sensible (placas) es hermético y de no serlo, debe usarse un deshumectante (normalmente sílice), que debe ser cambiado cada vez que sea necesario. La sílice seca es de color azul y cuando se humedece se vuelve rosada, es entonces cuando debe ser cambiada y extrayéndole la humedad puede ser reutilizada.

La medida de la radiación solar se hace con planímetro (instrumento utilizado para leer figuras planas).

El actinógrafo está calibrado con un instrumento patrón a una determinada latitud; entonces, cuando éste ha de trabajar a una latitud diferente a la de calibración necesita un factor de corrección para aplicar a las lecturas.

Cada actinógrafo lleva un certificado de contraste que da el valor del factor por el cual hay que multiplicar las lecturas de acuerdo a la latitud y declinación aparente del sol. Para el actinógrafo "FUES", de registro semanal, un milímetro cuadrado de la banda corresponde a 0.962 cal gr/cm². Se multiplica el área comprendida por la curvatura a la línea cero y las ordenadas extremas por el número de minutos del intervalo (semana, día) considerado y obtendremos la radiación solar recibida.

La unidad de medida es la Caloría cm⁻² min⁻¹ pudiendo obtenerse totales diarios en calorías cm⁻²

c) Heliógrafo

Heliógrafo o heliopirógrafo es un instrumento que mide la duración diaria del "brillo solar", si bien existen varios modelos, el más usado es el de Campbell Stokes, el cual no es sensible a la energía difusa.

Este heliógrafo está constituido por dos partes:

- 1) Una esfera de vidrio que concentra los rayos del sol sobre un punto de la gráfica, lográndose así el registro de la duración del brillo solar.
- 2) El cuerpo o resto del instrumento, no sólo soporta la esfera de vidrio, sino que tiene una serie de piezas que deben ser ajustadas a la hora de su instalación.

3.6. PRECIPITACION

[Ref. 34]

El vapor de agua al condensarse puede formar núcleos de gotitas de agua o de cristales de hielo, el peso y tamaño de estas gotitas o cristales es tan pequeño, alrededor de 0.01mm de diámetro, que, basta un lento movimiento ascendente del aire para mantenerlos flotando; pero cuando las condiciones son favorables, el tamaño y peso de las partículas de agua aumentan lo suficiente, para vencer la resistencia del aire y caen a la tierra; una gran cantidad de estas partículas se evaporan en su recorrido, debido a que el aire situado abajo de la nube no está saturado, y sólo aquellas partículas de mayor tamaño son capaces de llegar a la superficie de la tierra, considerándose que el tamaño promedio de estas últimas es alrededor de 0.1 mm de diámetro.

Para que la precipitación se produzca, es condición esencial, que se forme una corriente ascendente del aire y de acuerdo a los factores que intervienen en su formación, la precipitación se clasifica así:

- 1) Por Convección: son lluvias que se originan por el enfriamiento, debido a la expansión de una masa de aire húmeda, cuando éste asciende arrastrado por corrientes convectivas a una capa más alta y de menor presión.
- 2) Orográficas: cuando los accidentes del terreno y la presión del viento obligan a una masa de aire húmedo a elevarse por la ladera de una montaña, con la consiguiente expansión y descenso de temperatura al encontrarse en capas de menor presión.
- 3) Ciclónicas: son debidas al conjunto de fenómenos de este tipo que hacen que las masas de aire calientes y muy húmedas, asciendan rápidamente al incorporarse al torbellino ciclónico, con lo cual se expanden y bajan de temperatura.

Como se ha visto, la precipitación es el resultado de un gran número de factores como son: el viento, clima, topografía, posición geográfica, etc. La precipitación tiene distintas formas: lluvia, nieve, granizo, escarcha, etc.

-Lluvia: consiste de gotas de agua líquida en su mayoría con un diámetro mayor de 0.5mm.

-Escarcha: es una capa de hielo, por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsas de aire, que se forman en superficies expuestas por el congelamiento de agua superenfriada que se ha depositado en forma de lluvia o llovizna.

-Nieve: está compuesta de cristales de hielo blancos o traslúcidos principalmente de forma compleja, combinados hexagonalmente y a menudo mezclados con cristales simples; algunas veces los conglomerados forman los copos de nieve, que pueden llegar a tener varios centímetros de diámetro.

-Bolitas de nieve: también llamadas granizo suave, consisten de partículas de hielo redondeadas, blancas u opacas, con una estructura similar a la de copos de nieve y de 2 a 5mm de diámetro.

-Granizo: es precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que se producen por nubes convectivas. Pueden ser esféricas, cónicas o de forma irregular y su diámetro varía de 5 a más de 125mm.

-Bolas de hielo: están compuestas de hielo transparente o traslúcido. Pueden ser esféricas o irregulares, o algunas veces cónicas y por lo general tienen menos de 5mm de diámetro.

La cantidad de precipitación que cae sobre una superficie se determina por la altura medida en mm, en que dicha precipitación, en forma líquida hubiese cubierto el suelo sino se hubiese infiltrado, escurrido o evaporado. Para llevar a cabo la determinación de la altura de la precipitación, se recoge sobre una pequeña parte de la superficie correspondiente a la precipitación y se mide a intervalos determinados. El valor resultante de la observación se estima como valor promedio para la totalidad del campo bajo observación.

Los pluviógrafos son aparatos registradores que, además de medir la cantidad de lluvia, indican la intensidad de caída. Se entiende por intensidad de caída los milímetros llovidos en la unidad de tiempo, por ejemplo, en un minuto, en una hora, etc.

El pluviógrafo más conocido es el de Hellmann, en el cual el agua de lluvia recogida se dirige a un recipiente dotado de un flotador; este flotador está sólidamente unido a una pluma inscriptora que actúa sobre una faja de papel reticulado. La faja de papel o banda está colocada sobre un cilindro metálico, que, por medio de un aparato de relojería, da una vuelta por día.

Hay varios sistemas usados en los pluviógrafos para medir el agua de lluvia y es por esto que se clasifican según el principio de medición que empleen. El más usado es el de flotador con sifón (Ver Figura 21).

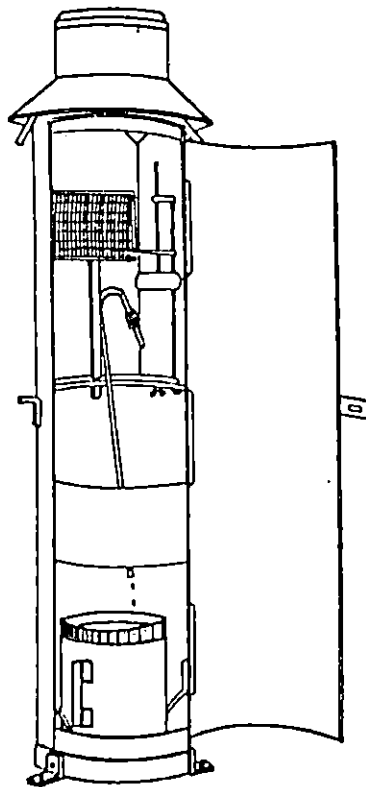


Figura 21 Pluviógrafo de flotador [Ref. 5]

La unidad de medida que se usa es el milímetro, lo que corresponde en volumen a igual número de litros por metro cuadrado. Usualmente las gráficas vienen con divisiones de 1mm y subdivisiones de 0.1 mm.

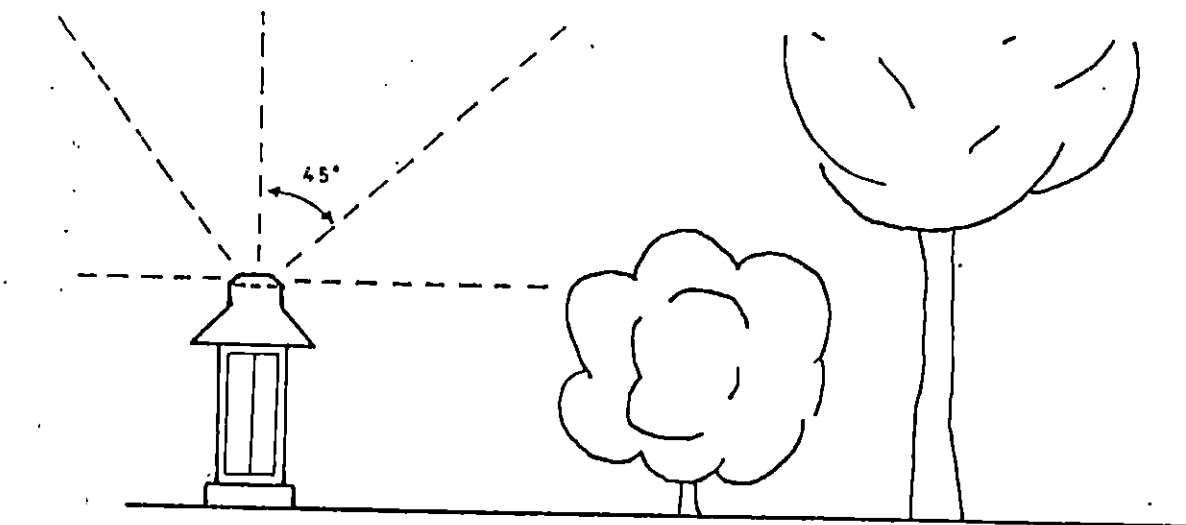


Figura 22 Forma de colocar el pluviógrafo [Ref. 5]

Ya sea como instrumento solo o dentro de una estación observadora, éste debe estar situado de tal forma que no haya obstáculos sobre él que afecten la entrada normal de la lluvia en la superficie receptora. Se aconseja que haya un espacio libre no menor de 45 grados se entiende lo siguiente, expresado en forma esquemática en la Figura 22.

El pluviógrafo se debe fijar con tornillos al suelo, sobre una pequeña base de cemento, o bien se coloca y amarra con tres alambres, para lo cual el instrumento trae en la parte superior tres agarraderas.

3.6.1. PLUVIOMETRO DE HELLMANN

Recibe el nombre de pluviómetro el instrumento destinado a medir la cantidad de lluvia.

El pluviómetro puede ser usado solo y debe ser empleado como complemento del pluviógrafo. Sirve para calcular el error en el total de lluvia dado por el pluviógrafo, y como sustituto para evitar que se pierdan los datos de lluvia en caso de cualquier daño en el pluviógrafo, el cual, como todo equipo mecánico, puede fallar en cualquier momento, especialmente en su parte de relojería.

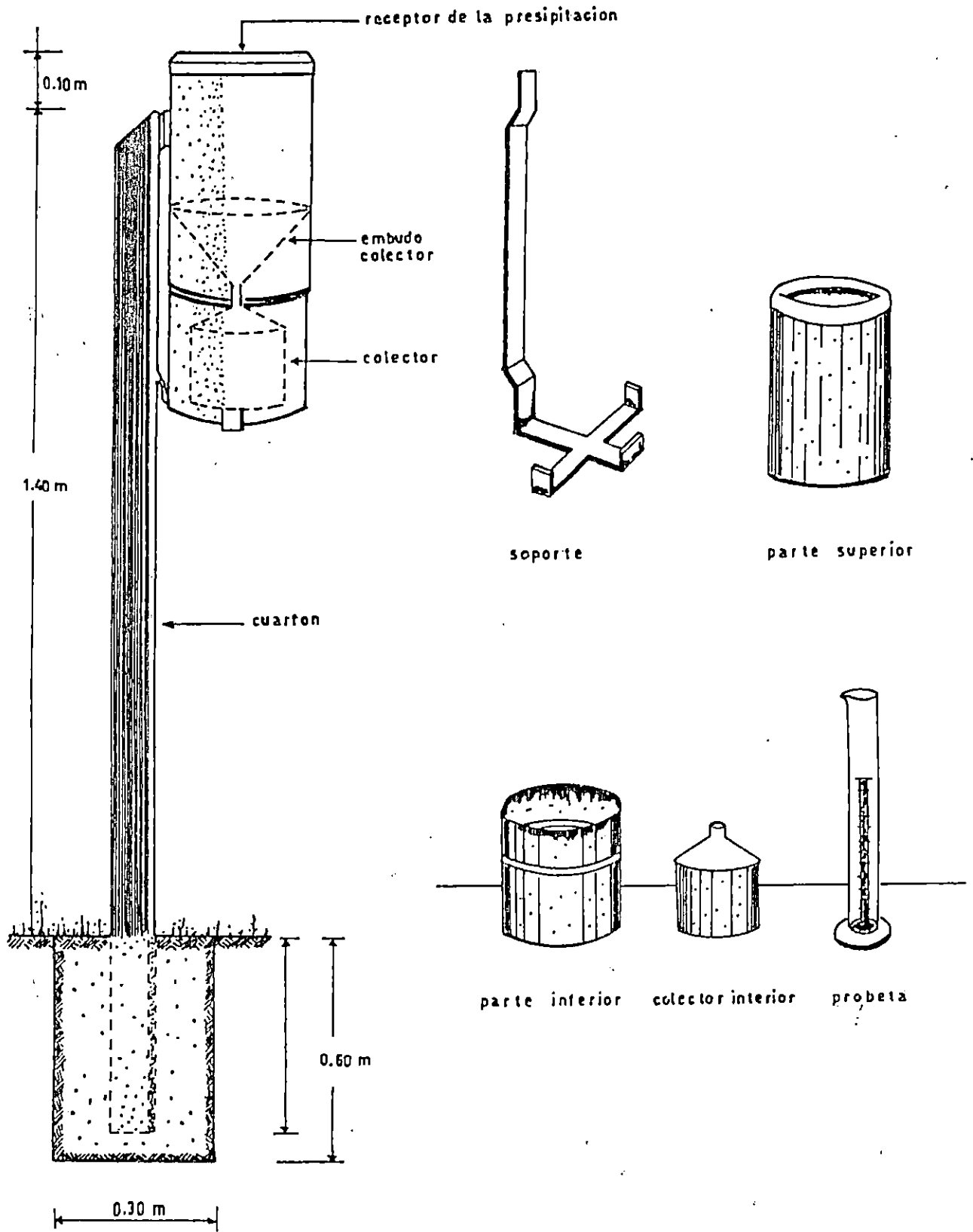


Figura 23 Pluviómetro de Hellman [Ref. 5]

El pluviómetro consta esencialmente de dos partes principales:

- a) un cilindro metálico receptor.
- b) una probeta graduada.

El cilindro metálico tiene una longitud de 45.5 cm. y un diámetro de 17.6 cm.

En la parte superior, termina en una boca receptora que tiene un diámetro de 15.97 cm., o sea una superficie receptora de 200 cm².

El agua de lluvia que cae a través de la boca receptora, por medio de un embudo, es recibida en el recipiente colector, donde queda almacenada hasta la hora de la observación.

Para medir la lluvia se vierte el agua acumulada en el colector dentro de la probeta, graduada en milímetros y décimas de milímetro, con una capacidad de 10mm. Se debe tener el cuidado de no olvidar cuántas veces se miden 10mm, pues es frecuente en aguaceros fuertes medir 4 o más probetas. Un error de este tipo es muy significativo, no sólo en el dato en sí, sino en la poca confiabilidad de los datos tomados por un observador poco atento.

Los pluviómetros se pueden clasificar como de probeta y de reglilla. En los de reglilla se mide la profundidad del agua colectada en el cilindro mediante una reglilla marcada en pulgadas. Tanto la probeta como la reglilla deben ser las correspondientes para cada modelo.

En el reticulado de la faja el eje de las abscisas indica las 24 horas del día y el eje de las ordenadas los milímetros de lluvia, de 0 a 10.

El valor en el eje de las ordenadas llega solamente a 10mm, porque al alcanzar dicha cantidad el recipiente, por medio de un sifón, se vacía automáticamente y luego, si la lluvia continúa, el flotador comienza a funcionar de nuevo.

El pluviómetro se debe fijar bien en alguna base, ya sea inferior o lateral. Si es lateral, la superficie recolectora debe quedar unos 10 cms sobre el extremo de la base o poste y este

extremo debe tener un corte de 45 grados, siendo la cara de la parte alta para unir el pluviómetro.

El mantenimiento del pluviómetro es mínimo, pues no tiene ningún mecanismo complicado. Las probetas o las reglillas deben estar a la sombra.

3.7. HUMEDAD EN EL AIRE

[Ref. 5]

La humedad del aire es una de las características importantes de las condiciones agrometeorológicas. Se expresa habitualmente como humedad absoluta (tensión del vapor de agua que se encuentra en el aire expresada en milímetros de columna de mercurio o en milibares); humedad relativa (relación en tanto por ciento entre tensión real del vapor de agua en la atmósfera y la tensión del vapor de agua del aire saturado, a una misma temperatura); y déficit de humedad (diferencia entre la tensión saturante y la tensión real del vapor de agua a una temperatura y presión dadas).

Aunque invisible, en la atmósfera, siempre existe vapor de agua. La mayor o menor cantidad de vapor acuoso existente en la atmósfera tiene grandes consecuencias meteorológicas y climáticas pues:

- a) El vapor de agua absorbe muy fácilmente las radiaciones térmicas; por lo tanto, el aire húmedo se calienta más que el aire seco bajo la acción directa de los rayos solares.
- b) El vapor de agua, ya sea al formarse o al condensarse, produce variaciones considerables en la temperatura del aire. Un kilogramo de vapor de agua, al formarse o al condensarse, puede enfriar o calentar en un grado 2,000 metros cúbicos de aire.
- c) La cantidad de vapor de agua existente en la atmósfera regula la velocidad con que se evapora el agua sobre la superficie terrestre y de los mares.

- d) El vapor de agua, por su condensación o congelación, produce numerosos fenómenos meteorológicos, por ejemplo: nubes, niebla, nieve, lluvia, granizo, etc.

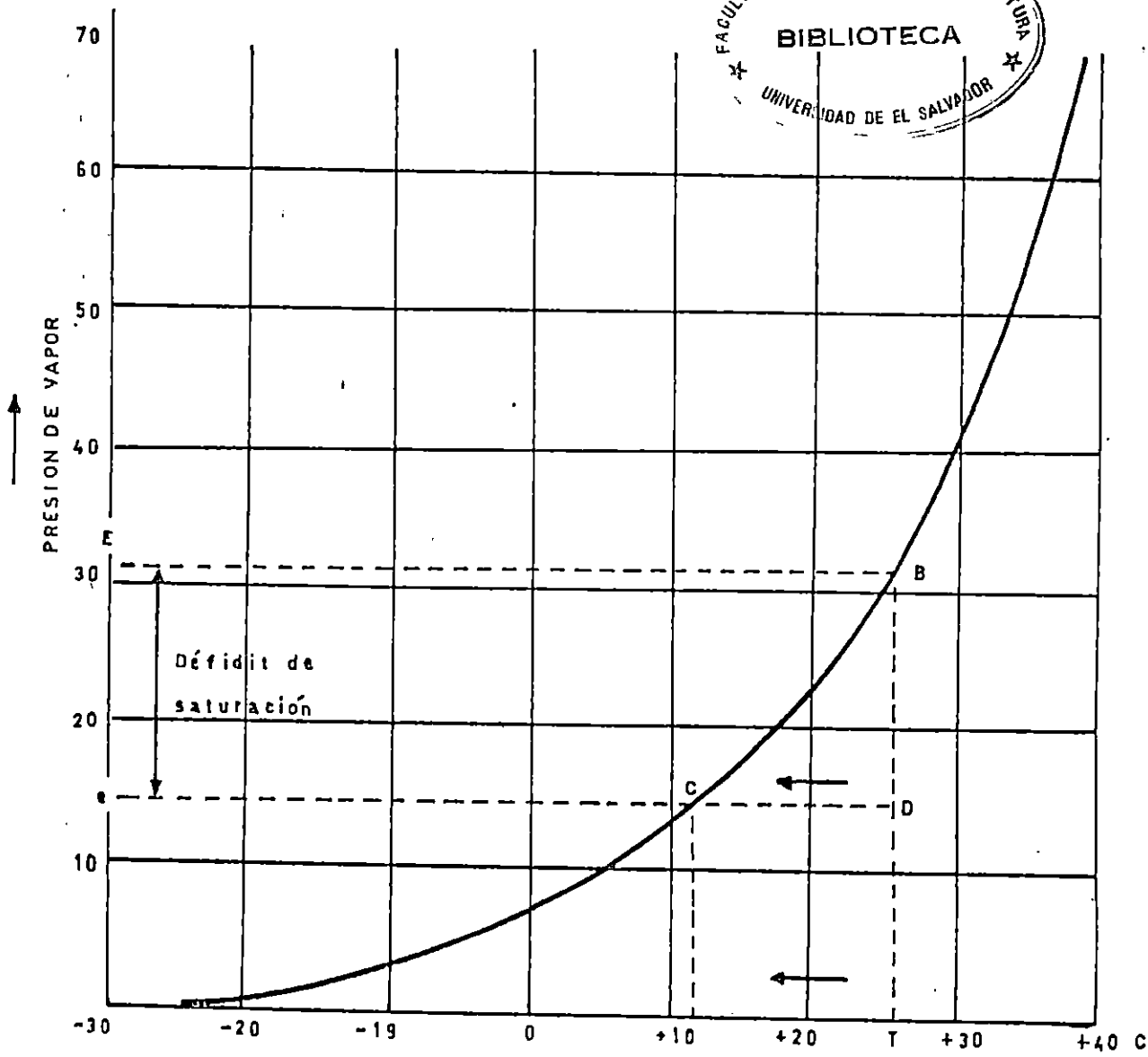
3.7.1. MEDICION DE LA CANTIDAD DE VAPOR EN EL AIRE

La cantidad de vapor acuoso existente en la atmósfera se puede expresar en distintas formas, pero meteorológicamente se expresa como Tensión del vapor, Humedad relativa, Humedad absoluta, Déficit de Saturación

- a) Tensión de Vapor

Se llama "tensión de vapor de agua" a la fuerza de expansión (=presión) que posee dicho vapor.

Como la tensión de vapor de agua es una presión, su intensidad se expresa en las mismas unidades usadas para la presión atmosférica. Dicho en otras palabras, la tensión del vapor se expresa en milímetros de mercurio del barómetro o en milibares. La relación que existe entre la presión de vapor y la temperatura del aire se muestra en la siguiente gráfica.



Tr = Temperatura del punto de rocío

Figura 24 Gráfico que muestra la relación entre temperatura y presión de vapor [Ref. 5]

La tensión del vapor acusa una variación diaria algo diferente según las localidades, estaciones, etc. y una manifiesta variación anual, muy semejante a la de la temperatura.

La tensión de vapor disminuye notablemente con la altitud. Ello es explicable si se recuerda que la temperatura del aire también disminuye con la altura.

La tensión del vapor disminuye del ecuador hacia los polos.

La causa radica en que, con la altitud, disminuye la temperatura y, en consecuencia, la capacidad del aire para mantener vapor acuoso.

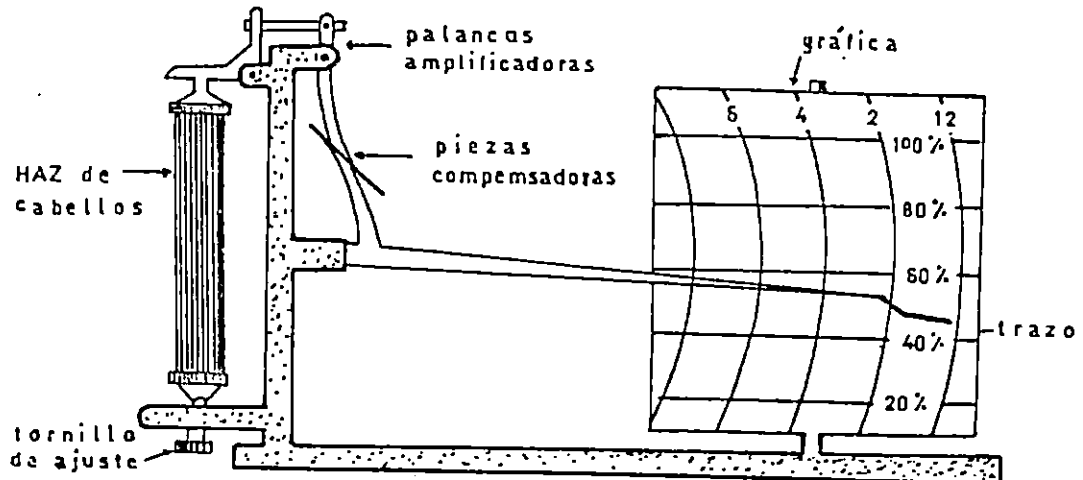


Figura 25 Higrógrafo [Ref. 5]

b) Humedad Relativa

Se entiende por "humedad relativa" al cociente porcentual entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire a una determinada temperatura y a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire podría contener a la misma temperatura.

La humedad relativa se expresa siempre en porcentaje y su valor difícilmente puede exceder de 100%

En resumen, la humedad relativa no está indicando cual es la cantidad de vapor de agua existente en valores absolutos. Esta indica que iguales valores de humedad relativa representan cantidades diferentes de vapor de agua, consecuencia de temperaturas diferentes del aire. Este hecho puede observarse en el siguiente cuadro:

La humedad relativa del aire presenta valores diferente según las horas del día, las épocas del año, la altitud, y la latitud.

Humedad Relativa de Acuerdo a la Cantidad de Vapor contenida a Diferentes Temperaturas

Temperatur a °C	Vapor de Agua en gr/cm ³				
	59.3	34.3	18.7	4.8	4.9
40	100%	57%	31%	17%	8%
30		100%	55%	29%	14%
20			100%	52%	26%
10				100%	50%
0					100%

c) Humedad Absoluta

Humedad absoluta de una masa de aire es la cantidad de gramos de agua que se recogería de 1m³ de ese aire al producirse la precipitación total del vapor que contiene, por efecto de un enfriamiento lo suficientemente intenso.

Por ejemplo: cuál es la humedad absoluta de una masa de aire muy húmedo (saturado) y que posee una temperatura de 20 °C?

Enfriando 1 m³ de ese aire a 50 °C bajo cero grados, se condensa prácticamente todo su vapor acuoso. Si luego se pesa la precipitación, se comprobará que el peso es de 17 gramos. Por lo tanto, la humedad absoluta de dicha masa de aire es 17 gr/m³

Si la masa de aire muy húmedo (saturado) en lugar de acusar una temperatura de 20 °C posee una de 35 °C, la humedad absoluta será mucho mayor, 39 gr/m³, si por el contrario, la temperatura fuera de 3 °C, la humedad absoluta será de 6 gr/m³.

Tratándose de aire no saturado, la humedad absoluta será tanto menor cuando más alejado se encuentre de la saturación.

d) Déficit de Saturación

Concretando: la humedad absoluta de una masa de aire está dada por los gramos de vapor de agua existentes en un metro cúbico de la misma. La cantidad de vapor de agua que le falta a una masa de aire para quedar saturada recibe el nombre de "déficit de saturación"; se expresa en milímetros o milibares de la tensión de vapor faltante, la humedad del aire, varía continuamente en el tiempo y en el espacio, las variaciones más notables son: diaria, anual, causada por la altura, causada por la latitud.

3.7.2. CONDENSACION DEL VAPOR DE AGUA

El vapor de agua que siempre existe en la atmósfera, aunque invisible, bajo determinadas condiciones físicas pasa al estado líquido y visible, como en las nubes, nieblas, lluvias y rocío. Este cambio de estado, de vapor a líquido, se le llama condensación. La condensación siempre es la consecuencia de un enfriamiento de una masa de aire.

El enfriamiento se produce, en la atmósfera, en tres formas distintas:

a) Condensación por expansión del aire

La Física enseña que, cuando un gas se expande, se enfría, al estudiar la presión atmosférica se vio que su valor disminuye notablemente con la altura. Se comprende sin dificultad que toda vez que en la atmósfera se establece una corriente ascendente, el aire, al estar sometido progresivamente a una presión menor, se expande y, en consecuencia, se enfría.

En la atmósfera se producen corrientes ascendentes principalmente en dos casos:

- 1) en los centros ciclónicos o de baja presión y en los frentes fríos y cálidos que los acompaña.
- 2) cuando el viento incide sobre la falda de una montaña.

b) Condensación por Enfriamiento Directo del Aire

El aire se calienta o se enfría muy poco. Las formas más directas de enfriamiento son aquellas debidas:

- 1) al paso del aire caliente sobre una región fría.
- 2) a la irradiación del suelo en las noches despejadas.

La primera forma teóricamente, puede dar origen a lluvias abundantes pero en la realidad no es así, porque en general las diferencias de temperatura no son muy marcadas entre regiones vecinas, además si el fenómeno persiste, la temperatura de la región fría se irá elevando y la causa de la condensación tiende a desaparecer.

La segunda forma, por su origen, se produce en una pequeña capa de algunos metros solamente y, por otra parte, el enfriamiento no es muy intenso en general,

C) Condensación por Mezclas de Masas de Aire

Es la menos importante en la producción de lluvia. Se calcula que para que se produzca una lluvia de apenas 1 mm, dos masas de aire saturadas y con temperaturas de 0 C y 20 C deben mezclarse totalmente hasta una altura de 6850 metros, estas condiciones nunca se dan en la naturaleza.

3.7.3. NUBES Y ROCIO

En realidad, las nubes y nieblas están constituidas por gotitas que caen, pero, debido a su pequeñez, caen muy lentamente.

La lentitud de caída se debe al siguiente hecho: cuando más pulverizado se haya un cuerpo, mayor es su superficie de contacto con el aire y, en consecuencia, mayor es la resistencia que éste opone a la caída.

Considerando con el diámetro medio de las gotitas de las nubes es de 0.01 mm, se calcula que la velocidad de caída es sólo un centímetro por segundo.

Se comprende fácilmente que el menor viento ascendente es capaz de mantener a la nube en suspensión.

En aire calmo y, con mayor razón, en una corriente descendente, las gotitas caen continuamente, y al llegar a las capas inferiores, más cálidas, se evaporan.

3.7.4. CLASIFICACION DE LAS NUBES

Las nubes presentan muy diversas formas y aspectos; para facilitar la designación se les ha clasificado en géneros.

Cada uno lleva un nombre especial, cirrus, alto cumulos, etc., los géneros han sido establecidos de acuerdo, principalmente a:

- 1) Forma
- 2) Constitución (agua o hielo)
- 3) Altura
- 4) Origen
- 5) Propiedades

Los géneros de nubes están íntimamente relacionados con las condiciones generales de la atmósfera en un momento dado, en especial con la ubicación de los centros de altas y bajas presiones y con los frentes: de aquí el interés que para la predicción del tiempo tiene el poder individualizarlos con exactitud y rapidez.

La clasificación actual deriva de la primitiva propuesta por Howard en 1803, este autor estableció tres tipos fundamentales:

Cirrus: nubes muy altas formadas por cristales de hielo, de color blanco uniforme, y no presentan sombras. Estas nubes, generalmente, tienen aspecto de plumas, pinceles, estrías, penachos o filamentos.

Cumulus: nubes que tienen generalmente forma de copos o bolas y la base horizontal. Los cumulus siempre tienen bordes netos. Estas nubes están originadas por corrientes ascendentes y cambian rápidamente de forma.

Stratus: nubes uniformemente grises, de formas confusas, un stratus es una niebla que se haya a cierta altura. El llamado "tiempo gris", durante el invierno, está producido por una espesa capa de stratus. Los stratus no producen lluvias, pero sí lloviznas.

En base a estos tres tipos se han establecido los diez géneros de nubes que, por acuerdo internacional, se registran en todos los observatorios.

Los diez géneros son:

Género	Abreviatura
1) CIRRUS	Ci
2) CIRROSTRATUS	Cs
3) CIRROCUMULUS	Cc
4) ALTOCUMULUS	Ac
5) ALTOSTRATUS	As
6) STRATOCUMULUS	Ss
7) CUMULONIMBUS	Co
8) NIMBOSTRATUS	Ns
9) CUMULUS	Cu
10) STRATUS	St

El nimbostratus constituye el género más importante, pues produce la lluvia o nieve. Está constituido por una masa de nubes sombrías, grises o negruscas, sin formas netas, con bordes desgarrados.

Aparte del nimbostratus, el que más interesa es el género cumulonimbos; nubes en forma de montaña o torres, de gran desarrollo vertical, que generalmente provocan fuertes tormentas de agua y granizo

A fin de facilitar la identificación de los géneros de nubes, a cada observatorio se le suministra una lámina mural, con los estados nubosos del cielo.

3.7.5. ROCIO

El rocío, depósito de gotitas de agua sobre el césped, vegetación baja y determinados objetos, es frecuente observarlo en las montañas, posteriores a las noches de calma y despejadas. El rocío se forma cuando el aire que rodea la planta se enfría hasta llegar a su punto de rocío.

Es decir, el rocío no cae como la lluvia sino que se forma directamente en las hojas, flores, etc.

El rocío no se produce cuando el cielo está nublado, ni cuando el viento sopla a velocidades apreciables. La calma favorece su formación.

3.7.6. NIEBLA

Las diminutas partículas higroscópicas del aire son efectivas como núcleos de condensación, en torno a los cuales se forman las gotitas de agua. Cuando se enfrían las masas de aire de alto contenido de humedad, inmediatas a la superficie, se puede formar niebla.

Las nieblas son verdaderas nubes situadas a ras del suelo; quitan la transparencia según el diámetro de sus gotitas y el número de las mismas por metro cúbico. Como es fácil medir ambas cosas, la opacidad de la niebla se indica por la distancia a la cual oculta los objetos.

3.7.7. NUBOSIDAD E INSOLACION

La mayor o menor abundancia de nubes que se observan en los distintos climas es lo que se indica con el nombre de grado de nubosidad o, simplemente nubosidad.

La nubosidad se puede establecer directamente o indirectamente, por medio de las horas que brilla el sol (insolación). En el primer caso el observador aprecia, mentalmente, la fracción del cielo cubierta por nubes. La fracción se aprecia en octas, por lo tanto la nubosidad se anota de 0 a 8 grados; la cifra 0 indica un cielo totalmente despejado, la cifra 8 señala un cielo completamente cubierto, 4 significa un cielo seminublado, etc.

La nubosidad se puede conocer indirectamente registrando las horas que brilla el sol, o sea la heliofanía; los instrumentos que cumplen esta función se llaman heliógrafos o heliofanógrafos, estos registran la duración de la insolación y no su intensidad calorífica.

3.7.8. MEDICION

a) Higrógrafo

Registra continuamente la humedad relativa del aire. El elemento sensible de este aparato son cinco haces de cabellos especiales dispuestos verticalmente, los cuales experimentan una dilatación regular en función de la humedad transmitiendo este movimiento a un sistema de palancas y registrando el valor de la humedad relativa en una hoja de papel especial.

Unidad de medida: la humedad relativa del aire es expresada en términos de porcentajes.

b) Psicrómetro: (Termómetro de bulbo seco y húmedo)

Este aparato es utilizado para determinar ya sea la humedad relativa del aire o la tensión de vapor, este aparato está formado por dos termómetros, colocados uno a la par del otro, la diferencia entre ambos consiste en que el de bulbo húmedo está forrado con una tela higroscópica, algodón, la cual tiene que estar húmeda al momento de hacer la medición. Hay unos que tienen ventilación artificial, conocidos como Psicrómetros de Assmann y otros sin ventilación artificial, los que hay que hacer girar con la mano para su ventilación, llamados de onda.

Los termómetros de que está constituido este aparato son, termómetros comunes de mercurio, uno de los cuales tiene su bulbo envuelto en una fina maseína que, por medio de una mecha de algodón, se haya en contacto con un vasito con agua, de este modo, dicho termómetro se encuentra siempre rodeado de una fina película de agua, por lo que se llama termómetro húmedo. Al otro se le da el nombre de termómetro seco, ambos se colocan a 1.7 mts de altura sobre el suelo en la casilla meteorológica y separados 10 cms entre sí.

Unidad de medida: los termómetros pueden tener sus escalas desde -35 hasta 50 grados centígrados, con divisiones de un décimo de grado. La humedad relativa se da en porcentajes en las tablas respectivas que traen los instrumentos.

3.8. METODOS ESTADISTICOS

[Ref. 24]

El hidrólogo se encuentra a menudo con el problema de analizar e interpretar una gran cantidad y diversidad de datos dispersos, unas veces registros incompletos, muestras poco representativas y otras, con escaso valor informativo. Para realizar su labor efectiva y eficiente tiene que emplear los métodos de análisis estadístico. Los métodos estadísticos pueden definirse como la recopilación, representación, análisis e interpretación de los datos numéricos.

3.8.1. Análisis de Doble Masa.

Un método gráfico para identificar o ajustar las inconsistencias en el registro de una estación por comparación de su tendencia con otras estaciones es el análisis de doble masa. Los valores acumulados anuales o estacionales de una estación dada se llevan a una gráfica contra aquellos de otras estaciones que se consideran reales. Las tendencias y cambios de pendiente de una curva de doble masa pueden ser originados por cambios en la duración o situación de la estación de registro, o cambios en el procesamiento de datos, etc.

Cuando un análisis de doble masa da a conocer un cambio en pendiente, un propósito es hacer el ajuste indicado por el cociente de las dos pendientes de la curva doble masa. Otro propósito es el de investigar qué razones hay para dichos cambios de pendiente. Los puntos de la estación en estudio, pueden ser ajustados mejor cuando haya cambios de pendiente en intervalos de pocos años. Sin embargo, hay que reconocer que tales cambios en períodos cortos ocurrirán por casualidad, y ningún segmento menor de cinco puntos puede aceptarse como válido, pues se considera que cinco años de registro continuo pueden dar al menos una idea de la tendencia en la ocurrencia de un fenómeno. En general, un cambio de pendiente se

acepta como real solamente si hay largos períodos de registro que sean representativos desde el punto de vista estadístico.

3.8.2. Interpolación de los datos

Al preparar los datos hidrológicos, para su análisis, a menudo encontramos registros incompletos. Para llenar estos lapsos en una serie temporal, o espacios vacíos en un mapa y utilizar registros parciales, por lapsos faltantes de un récord, pueden estimarse por la interpolación de los registros de estaciones vecinas y con condiciones parecidas: clima, topografía, régimen de escurrimiento, etc. Es, sobre todo, un asunto de criterio personal el decidir hasta que punto pueden interpolarse los datos faltantes y estimar su cuantía. No debe abusarse en la interpolación de los registros faltantes, puesto que se vuelve una operación casi subjetiva y a veces mecánica, alejada de la realidad fenomenológica.

3.8.3. Precipitación media (Polígonos de Thiessen)

La precipitación es un fenómeno que se estima en base a los pluviómetros o de los pluviógrafos diseminados en varios puntos de una cuenca hidrográfica. Para operar con estos datos estadísticos aislados es necesario efectuar una integración en el espacio, es decir, asociarlos con áreas de influencia que representan fielmente la distribución de las precipitaciones. Generalmente se usa el método de los polígonos de Thiessen, cuando el espaciamiento es irregular y tratándose de zonas con escasos accidentes topográficos.

Para determinar el polígono correspondiente a cada estación, se unen por medio de rectas a las estaciones adyacentes y enseguida se trazan las medianas. Estas últimas constituyen los lados del polígono. Las superficies de c/u de estos polígonos forman los factores de ponderación, y se mantienen invariables para una determinada cuenca, mientras todas las estaciones aportan ininterrumpidamente sus datos. De esta manera, se facilita el cálculo, pues basta multiplicar la precipitación de caída durante un cierto intervalo de tiempo en un punto con el factor de ponderación de este punto o estación y sumarla a las estaciones restantes, dividiendo finalmente la suma de estos productos entre la superficie total de la cuenca. Se

aprovechan las estaciones que están fuera de la cuenca, ocupando para la estimación la parte de los polígonos que queda dentro de la cuenca.

3.8.4. Precipitación media

Este método es muy usado, ya que es el más preciso y el más laborioso. Consiste en trazar para un período elegido, sea este una hora, 6 horas, 12 horas, 1 día, 1 mes, 6 meses, 1 año, etc., curvas de igual precipitación. Generalmente las curvas correspondientes se trazan para milímetros de precipitación. Se integran luego las superficies comprendidas entre dos isoyetas consecutivas, multiplicando cada superficie por el promedio de dos isoyetas limítrofes. Sumando estos productos y dividiendo la suma por la superficie total de la cuenca se obtiene la precipitación media.

3.9. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE EL SALVADOR

[Ref. 9, 20, 31]

El Salvador se encuentra ubicado sobre la costa del Océano Pacífico en Centro América, entre los 13°10' y 14°26' de latitud norte. Está limitado al Oeste por Guatemala, al norte y este por Honduras y al sur por el Océano Pacífico, con una extensión superficial ligeramente superior a los 20,000 km².

Las características físicas principales de El Salvador son: la llanura costera; limitada por dos sierras de montañas costeras; la cadena de volcanes, el valle central de interior y la región alta en la frontera con Honduras.

La más notable de estas características es la cadena de conos volcánicos, situados paralelos a la costa y aproximadamente a unos 30 km del mar. Los volcanes se han formado a lo largo de una extensa línea fallada que se extiende desde Guatemala a Nicaragua; varios de estos volcanes tienen elevaciones de más de 2,000 mt, siendo el de Santa Ana el más alto, con una elevación sobre el nivel del mar de 2,385 mt.

A lo largo del territorio se encuentran varios lagos, siendo los más importantes: la laguna de Coatepeque, el lago de Guija, el lago de Ilopango y la laguna de Olomega.

El río más importante de El Salvador es el Lempa, con una cuenca tributaria de 18,000 km², en este río se encuentran varios embalses para generación de energía eléctrica, siendo el más importante de ellos el de la presa del "Cerrón Grande".

Otros ríos de importancia son el río Paz que en parte sirve de límite con Guatemala; el río Sensunapán en el Departamento de Sonsonate; el río Jiboa que recibe el desague de Ilopango; el río Sucio, que es uno de los tributarios más importantes del Lempa; el Grande de San Miguel, que es el mayor río que está completamente dentro del territorio nacional; el Goascorán, que forma en parte la frontera con Honduras y que se desemboca en el "Golfo de Fonseca". Los demás ríos son corrientes generalmente cortas, de menor importancia.

En meteorología, se cuenta con registros de lluvia de hace aproximadamente 70 años, de la zona de San Salvador, recopilados inicialmente por el Instituto Tropical de Investigaciones Científicas, y por distintas dependencias gubernamentales y privadas, principalmente la Compañía de Ferrocarriles Internacionales de Centro América, que operó una red de pluviómetros instalados en distintos lugares de su recorrido.

En cuanto a estudios hidrológicos, se puede mencionar el estudio de la cuenca del río Lempa hecho por Harza Engineering Co., iniciado en 1942, previo a la construcción de la presa del "Cerrón Grande". En ese entonces se formó la Comisión Ejecutiva del Río Lempa (CEL), que en la actualidad continua realizando estudios sobre la cuenca, haciendo mediciones en los tributarios del Lempa, como el Guajoyo, Sumpul, etc.

Durante los años de 1952 y 1953, el Centro Nacional de Agronomía, hizo algunos estudios relacionados con la hidrología, concretándose únicamente a medir esporádicamente el caudal de estiaje de algunos ríos, utilizados en pequeños proyectos de riego.

El Salvador está situado en la parte anterior del Cinturón Climático de los Trópicos, donde durante todo el año existen condiciones térmicas más o menos iguales (las oscilaciones

diurnas de la temperatura son varias veces más grandes que las anuales). Por otra parte, las precipitaciones atmosféricas demuestran grandes oscilaciones durante el curso del año (con una o dos estaciones secas) y de año en año durante la propia estación lluviosa. La estación seca principalmente ocurre durante el semestre invernal (en el hemisferio boreal entre Nov. y Abril) y las temperaturas máximas se observan a su final, o sea poco antes de la estación lluviosa (tipo climático "Ganges de la India"). Otras características de los Trópicos exteriores son Los Alisios, o sea, los vientos predominantes, alrededor del rumbo NE y el buen desarrollo del sistema brisa de mar y tierra en las zonas costeras y su vecindad inmediata (hasta la capital y algo más hacia el norte). Típico además son los máximos de la actividad lluviosa unas semanas después del paso del sol por el cenit (a las 12 horas o mediodía), cuando existe la mayor probabilidad de ocurrencia de "temporal".

Una característica especial del clima de Centro América son los NORTES, que transportan masas de aire fresco y originalmente ártico hacia los trópicos, que no se conoce que ocurran en otras partes tropicales de la tierra.

En El Salvador, desde el punto de vista meteorológico hay dos estaciones y dos transiciones durante el curso del año. Erróneamente el público se ha acostumbrado a decir "invierno" a la estación lluviosa, y "verano" a la estación seca, que para la Meteorología y la Astronomía es lo contrario a la realidad. Por eso se recomienda usar solamente los términos "Estación" y "Transición".

Según observaciones verificadas en San Salvador durante 50 años, de 1918 hasta 1967, se calcularon las siguientes fechas promedio para principio y final de estaciones.

Duración Promedio de Estaciones en El Salvador

Epoca del Año	Promedios		Duración	
	Principio	Final	Días	Semanas
Estación Seca	14 Nov.	19 Abril	157	22 1/2
Transición Seca-Lluviosa	20 Abril	20 Mayo	31	4 1/2
Estación Lluviosa	21 Mayo	16 Oct.	149	21
Transición Lluviosa-Seca	17 Oct.	13 Nov.	28	4

Según la altura sobre el nivel del mar se distinguen las siguientes tres Zonas Climáticas en El Salvador, mencionando entre paréntesis las cabeceras departamentales que pertenecen a cada una (esta clasificación se basa en las definiciones climáticas de Koppen, Sapper y Lauer):

1) 0 - 800 m.s.n.m., según Koppen AW_{aig}

Sabanas Tropicales Calientes

O TIERRA CALIENTE

Estación Seca en invierno (Nov. - Abril), temperatura máxima poco antes de la Estación Lluviosa (Marzo o Abril), temperatura del mes más caluroso: 22°C y más.

Temperaturas anuales según la altura:

En las planicies costeras: entre 27°C y 22°C

En las planicies Internas: entre 28°C y 22°C

(Todas las cabeceras departamentales, menos Cojutepeque y Santa Tecla).

2) 800 - 1,200 m.s.n.m., según Koppen AW_{big}

Sabanas Tropicales Calurosas

O TIERRA TEMPLADA

(Respecto a la Estación Seca y la Temperatura máxima, véase el numeral 1) Temperatura del mes más caluroso: abajo de 22 °C; pero cuando menos, 4 meses del año con una temperatura mayor de 10 °C. Temperaturas anuales según la altura:

En las planicies altas y valles: entre 20 °C y 22 °C

En las faldas de las montañas: entre 19 °C y 21 °C

(Cabeceras departamentales de Cojutepeque y Santa Tecla)

3) 1,200 - 2,700 m.s.n.m., según Koppen CW_{big}

Clima: Tropical de las Alturas

a) 1,200 - 1,800 m.s.n.m.: Todavía TIERRA TEMPLADA (Véase Numeral 2)

Temperaturas anuales según la altura:

En las planicies altas y valles: entre 16 °C y 20 °C (Con posibles heladas en Dic., Ene., Feb.)

En las faldas de las montañas: entre 16 °C y 19 °C (Sin riesgo de heladas)

b) 1,800 - 2,700 m.s.n.m.: TIERRA FRÍA

La elevación más alta: El Pital, Depto. de Chalatenango, 2,700 m.s.n.m.)

Temperaturas anuales según la altura:

En las planicies altas y valles: entre 10 °C y 16 °C;

En los valles y hondonadas cada año escarchas y heladas; Estación Seca en las cordilleras fronterizas con Honduras reducidas hasta 3 a 4 meses.

3.9.1. TEMPERATURAS

El mes de Enero es el mes más frío del año. Los vientos boreales "Nortes", que hacen su irrupción en nuestra área desde los últimos días de octubre, al debilitarse temporalmente, son

causa de que, al día siguiente se produzcan las más bajas marcas termométricas del año. Estos enfriamientos extremos llamados "heladas" son causa de que los cultivos de café sufran cuantiosos daños en esta época del año.

En la ciudad capital (San Salvador), la temperatura ha alcanzado valores hasta de 8°C. La temperatura mínima se encuentra entre las 4 a.m. y 6 a.m.

En el mes de Abril se registran los valores de temperatura más altos y la temperatura máxima ocurre entre las 12 m y las 3 p.m.

3.9.2. PRESION ATMOSFERICA

En El Salvador se mide en milibares de acuerdo a los estándares mundiales. En la estación lluviosa las presiones son bajas y en la estación seca las presiones son altas. En la hora de 10 a.m. a 11 a.m. se da la fluctuación máxima de presión.

3.9.3. PRECIPITACION

El rango de variación de la precipitación es de 1,300 mm (en la costa) a 2,500 mm (en las alturas). En la mayor parte del país, en la segunda mitad de abril, comienza normalmente la transición seca-lluviosa. Usualmente el mes registra de 4 a 5 días con lluvia. La variabilidad de las cantidades de lluvia caída durante el mes es muy grande, ya que hay días en que no se registra ninguna precipitación y los hay en que la precipitación ha alcanzado hasta 525 mm.

En mayo comienza la estación lluviosa, asociada a las "Ondas de los Estes", las cuales son zonas de fuerte inestabilidad que se trasladan del este al oeste atravesando nuestro país y generando tormentas eléctricas y lluvias en forma de chubascos y aguaceros. La estación lluviosa comienza en la región suroriental dos o tres semanas más tarde que en las zonas central y noroccidental, y ello tiene que ver con la disposición de los sistemas montañosos que favorecen las lluvias por ascenso orográfico en las dos últimas regiones. En los primeros quince días del mes las Ondas de los Estes aún no se presentan perfectamente definidas y toda la lluvia en ese período es marcadamente orográfica.

En el mes de Junio se produce el primer máximo de actividad lluviosa. Las lluvias en Junio se ven incrementadas a causa de la combinación de los dos fenómenos más importantes en la producción de lluvias en los trópicos: las Ondas de los Estes y la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). La ZCIT efectúa su primera incursión a nuestra área en el mes de junio, propiciando las situaciones atmosféricas denominadas "Temporales", que pueden tener una duración de hasta 6 días.

En el mes de julio, las cantidades de precipitación son generalmente menores que las ocurridas en junio, en la mayor parte del país, debido aparentemente al alejamiento, en este mes, de la ZCIT de nuestra área. A partir de la segunda década de julio, frecuentemente se manifiestan las "Cunículas", que son períodos de días soleados, sofocantes y sin registro de actividad lluviosa.

En el mes de agosto, las lluvias continúan concentrándose en las horas nocturnas y se considera que las "cunículas" hagan acto de presencia en este mes. El mes de septiembre es normalmente el más copioso del año y puede deberse a que la ZCIT se encuentra mucho más cerca de nuestra área en septiembre que en junio, lo cual le permite incursiones con más facilidad en la región costera del pacífico y por lo tanto, propiciar precipitaciones de mayor magnitud, manifestándose así los "temporales".

En el mes de octubre se inicia la transición lluviosa-seca.

3.9.4. VIENTO

En octubre se inicia la transición lluviosa-seca. La forma en que se inicia dicha transición viene explicada por la primera incursión de una célula de alta presión procedente de América del Norte. El sistema de circulación asociado a dicha célula, que permite el transporte de una masa de aire fría y seca hacia nuestra área, determina que sobre El Salvador se inicien los primeros "Nortes" con intensidades débiles a moderadas (de 10 a 30 km/h). Los "Nortes", que normalmente caracterizan los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero pueden soplar hasta 15 días o más, sin interrupción, alcanzando velocidades de más de 100 km/h en las zonas montañosas.

CAPITULO IV.

SISTEMAS DE
INFORMACION
GEOGRAFICA

4.1. INTRODUCCION

Los problemas asociados con la determinación de posiciones en el espacio tridimensional sobre la superficie de la tierra y luego representar esta información como mapas han ocupado los esfuerzos de una gran cantidad de personas a través de la historia. Esta habilidad de determinar una posición y registrarla en forma de mapas ha evolucionado ampliamente en lo que respecta a precisión geodésica.

Tradicionalmente, tanto la geodesia como la cartografía han sido disciplinas que requieren un alto grado de habilidad y un período largo de entrenamiento. Esto ha implicado que los usuarios potenciales de estas disciplinas, como los científicos de campo, los administradores y planificadores de recursos, han dependido de disciplinas interrelacionadas si necesitan alcanzar algún objetivo de mapeo a partir de la identificación de la necesidad de preparación de un mapa terminado. Esto ha inhibido en alguna medida la preparación de mapas de proyectos específicos como un anexo a un estudio más amplio de administración o de ciencia.

Pocos científicos, planificadores o administradores son también hábiles geógrafos o cartógrafos. Claramente, existe la necesidad de un método de producir mapas precisos y otros tipos de información espacial cuantitativa dentro de grupos cuyo interés principal no es la geodesia o la cartografía.

El desarrollo reciente en computadoras y tecnologías espaciales han venido revolucionando la forma en que los requerimientos geodésicos y cartográficos de otras disciplinas se satisfacen.

Las computadoras han hecho posible almacenar y manipular largas matrices de datos digitales, y esta capacidad ha llevado al desarrollo de programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Usando SIG los mapas pueden ser producidos por cualquiera que esté dispuesto a aprender cómo digitalizar información geográfica, definir datos relacionales y manipular el software.

Por otro lado, los satélites orbitando la tierra con trayectorias muy precisas y predecibles, hacen una doble contribución al desarrollo de los SIG, tanto por medio de la transmisión de imágenes

digitales multiespectrales de media y alta precisión, como por el reciente desarrollo de la tecnología de Sistemas de Posicionamiento Globales (Global Positioning Systems - GPS^{1/}). Los GPS permiten la medición de ubicaciones espaciales con muy buena precisión, una materia prima importante para los SIG.

Usando estas tecnologías, un estudiante inteligente de educación media podría ser entrenado para producir mapas útiles para fines científicos en un mes. En tan poco tiempo, el nivel de entendimiento de las complejidades geodésicas y cartográficas involucradas permanecerá muy bajo, pero el producto final tendrá una utilidad considerable. Las implicaciones de esto para planeamiento del desarrollo y manejo de recursos en los países en vías de desarrollo son muchas y muy importantes. El reto para aquellos involucrados en la planificación y administración de ese desarrollo es determinar la mejor manera en la cual esta capacidad puede ser utilizada. Hasta la fecha, tanto los SIG como el procesamiento de imágenes satelitales y la operación con GPS han permanecido dentro del dominio de profesionales en el manejo de computadoras.

Mientras que tanto la tecnología SIG como las de sensibilidad remota y GPS se encuentran en un estado fluido y dinámico en la actualidad, se ha hecho suficiente progreso en estos campos para demostrar el potencial de su uso combinado.

En el presente capítulo se intentará proveer una introducción a los conceptos y mecanismos en los cuales se basan estas tres tecnologías, y un panorama de sus aplicaciones; a fin de fomentar la investigación posterior en nuestro país sobre estas alternativas.

4.2. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

[Ref. 27]

Los Sistemas de Información Geográfica o SIG, actualmente tienen un papel importante en los sectores comercial, gubernamental y educacional. El término SIG frecuentemente es usado para

^{1/} En el campo se suele denominar GPS al aparato emisor/receptor de la señal; sin embargo, en este contexto se usa para denominar a toda la tecnología, tanto los receptores, como los dispositivos de reflexión del satélite y el software que los controla.

describir un grupo de aplicaciones y sistemas. Para los principiantes puede causar gran confusión, ya que parece tener una variedad de definiciones y cubrir áreas de temas muy diversos.

Por tanto, se tratará de proporcionar una introducción a los conceptos más importantes y una reseña histórica de su evolución.

Muchas organizaciones gastan grandes cantidades de dinero en sistemas de información geográfica y en bases de datos geográficas, según la tendencia miles de millones de dólares se gastarán en estos sistemas en la década presente. A qué se debe, si hace apenas unos lustros tales gastos eran hechos sólomente por gobiernos de países desarrollados? Qué nuevas aplicaciones hay desde entonces que puedan justificar tan altas inversiones?

Hay dos respuestas obvias a estas preguntas:

- 1) El costo del equipo de computadora requerido ha decaído sensiblemente, y por lo tanto se ha vuelto accesible a un grupo más grande de potenciales usuarios.
- 2) La geografía, y los datos que la describen son parte de las actividades cotidianas; casi todas las decisiones que se toman son influenciadas o restringidas por algún hecho de la geografía.

Sin embargo, estas explicaciones generalizadas no contribuyen a conocer porqué y cómo un SIG puede ayudarnos.

Para explicar los beneficios que pueden lograrse, se necesita saber cómo puede obtenerse resultados de un SIG; para lo cual se debe tener algún conocimiento de lo que un SIG es realmente y para qué puede ser empleado.

4.2.1. EN QUE CONSISTE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA

El uso de los SIG creció dramáticamente en la década de los 80's hasta llegar a ser común en muchos negocios, universidades y gobiernos. Ahora son usados para una sorprendentemente amplia gama de aplicaciones. Como resultado de ello, hay muchas definiciones diferentes de los que es y para qué sirve un SIG.

Una definición útil es:

"Un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para dar soporte a la captura, manejo, manipulación, análisis, modelación y presentación de información referenciada espacialmente para la solución de complejos problemas de planeación y administración de recursos."

Sin embargo, una explicación más simple es la siguiente:

"Es un sistema de computadoras que puede almacenar y usar información describiendo lugares en la tierra".

Comunmente se tiende a ver un Sistema de Información Geográfica como un medio de creación, edición y almacenamiento electrónico de mapas. Esta es una conclusión incorrecta. Los mapas son importantes para los SIG ya que mucha de la información almacenada en ellos se utiliza en forma computarizada para crear bases de datos geográficas. Además los mapas son una forma eficaz de presentación de datos geográficos.

Sin embargo, los mapas digitales son sólo una de las herramientas de despliegue de información que puede generar un SIG. Por otro lado, la base de un mapa (el sistema de coordenadas) también es el medio por el cual se relaciona toda la información que no es inherentemente geográfica.

La información que generalmente se obtiene de un SIG, es presentada también por medio de listados y/o sumarios estadísticos, así como también por imágenes tridimensionales, y no toda la información que un SIG maneja puede representarse por medio de mapas.

Los sistemas de información geográfica no almacenan mapas en el sentido convencional. Se guarda la información de manera que el mapa pueda ser generado a cualquier escala que se desee. Por ejemplo, en un tramo de carretera, se almacenan la geometría del eje, así como el ancho de la carretera en cada tramo. De esta manera es posible representar la vía a diversas escalas.

Lo mismo sucede con las imágenes tridimensionales, se almacenan los datos que permitan generar la imagen vista desde cualquier punto de visión en el espacio.

En otras palabras, un SIG no almacena imágenes, sino una base de datos geográfica a partir de la cual éstas se puede generar si se desea; aunque los datos pueden manejarse de otras formas. Generalmente, en el lenguaje técnico, ni siquiera se utiliza el término "mapa" para referirse a las imágenes, éstas se denominan "Coberturas".

El concepto de Base de Datos es el núcleo del diseño de un SIG y de cualquiera de sus aplicaciones. Esto diferencia a los SIG de otros paquetes de dibujo o creación de mapas por computadora. En éstos, el objetivo es presentar una buena calidad de salida, sólo se requiere la precisión suficiente para que el mapa impreso o desplegado no se distorsione notablemente. Por otro lado, los objetos (casas, carreteras, lagos, ríos, etc.) en el mapa, se forman por una serie de arcos que no guardan relaciones topológicas entre si. En un SIG, por el contrario, la precisión es una característica clave y los objetos son identificados como unidades y son topológicamente caracterizados; los arcos sólo son una forma de representación.

Si se desea ir más allá de la creación de imágenes; por ejemplo, si deseamos estudiar la ubicación de una posible captación en algún punto de un río, necesitamos saber tres cosas acerca de cada uno de los objetos que integran la imagen: qué son, dónde están, y cómo se relacionan con otros objetos en la misma. Los sistemas de bases de datos proveen la forma de

almacenar una amplia variedad de información de esta clase y actualizarla sin la necesidad de reescribir programas a medida que nuevos datos son introducidos.

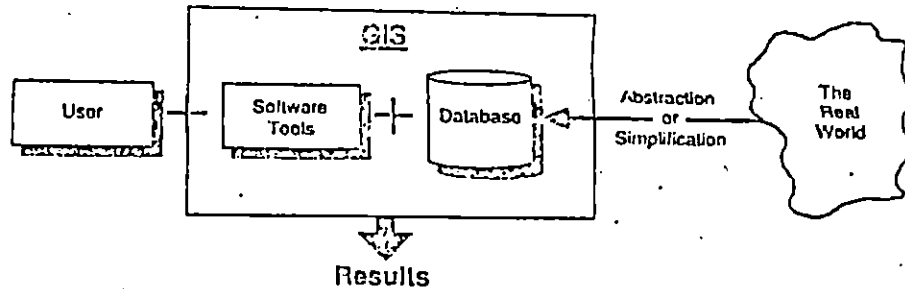


Figura 26 Interrelación del SIG con el exterior: Mundo real y Usuarios [Ref. 27]

La base de datos que maneja el SIG es una abstracción o simplificación del mundo real como indica la Figura 26. En ella se describe al sistema como conformado por la base de datos y las herramientas de programación (en esta figura se obvian los otros componentes del sistema, como el equipo y los operadores). Sin embargo, usualmente se incluiría al usuario dentro del sistema cuando se requiere hacer análisis complejos, ya que el usuario define los procesos a ejecutar en base a su conocimiento sobre los datos manejados.

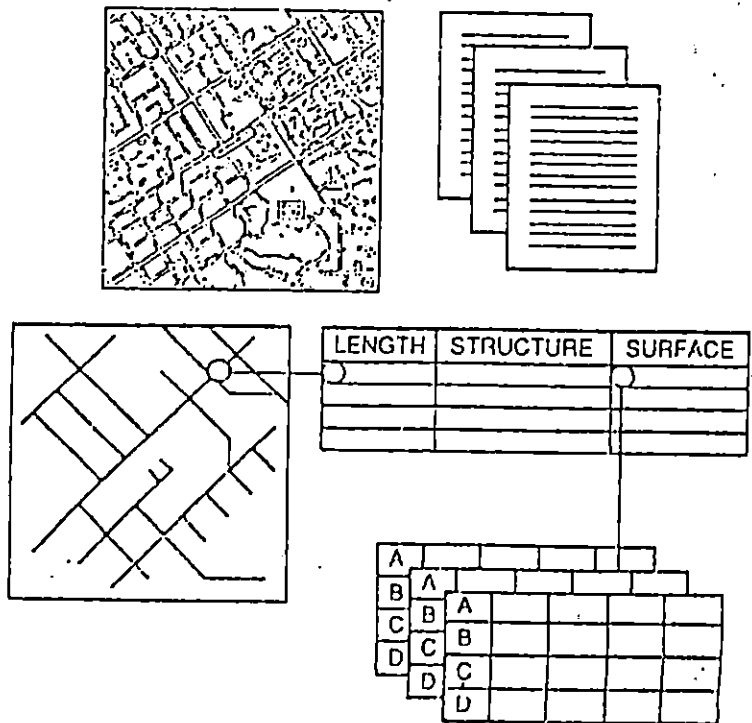


Figura 27 Elementos de información que dan soporte al SIG [Ref. 27]

De todo lo mencionado anteriormente, vemos que un Sistema de Información Geográfica se compone de: Información presentada en forma de mapas existentes, información alfanumérica recopilada, un sistema de referenciación geográfica, y una base de datos del sistema que

describe las características de cada objeto identificado en el área. En la Figura 27 se esquematizan estos elementos.

4.2.2. OPERACIONES ESPACIALES

Muchos programas ampliamente usados como hojas electrónicas (Lotus, Quattro), paquetes estadísticos (MathCad, Statistica) y paquetes de diseño de ingeniería (AutoCad) pueden manejar alguna forma simple de datos geográficos o espaciales.

Estos no son considerados como SIG porque no permiten operaciones espaciales sobre la información. Por ejemplo, si se tiene en un archivo las coordenadas de las ciudades en Europa, junto con otros datos como población y extensión, casi cualquier programa de uso común puede contestar preguntas como la densidad media en cada ciudad; éstas no requieren analizar la ubicación que describe los lugares en relación a otros. Sin embargo, si se desea conocer las ciudades ubicadas a menos de 1,000 km entre sí, o cuál sería la ruta más corta para recorrerlas; estas preguntas requerirían utilizar la ubicación de cada ciudad y otra información como el radio de la tierra. Esto no podría lograrse en los programas mencionados anteriormente sin que se escriban complicados programas de computadora para obtener los resultados deseados.

4.2.3. RELACIONES DE DATOS

Otra característica particular de los SIG es que pueden fácilmente relacionar diferentes conjuntos de información.

Existen varios métodos de enlace de información:

Concordancia Exacta: Los registros de información tienen una clave común idéntica.

Concordancia no Exacta

Concordancia Jerárquica: Los registros maestros se relacionan con registros de detalle a través de archivos de relación, la sumarización de varios archivos de detalle concuerda con el objeto que describe un registro maestro.

Concordancia Difusa: Hay múltiples relaciones en los archivos, el archivo utilizado como maestro varia según el objeto sobre el cual se desea obtener información y éste no se halla descrito por la sumarización de varios registros en archivos de detalle, sino por la intersección de múltiples claves en otros archivos maestros.

Por ejemplo, si se desea conocer la productividad agrícola media en cada país de América, puede tenerse el registro de producción por cultivo por país en un archivo, y en otro la ubicación y superficie de cada país. En este caso pueden relacionarse por el nombre (o el código) de cada país (Concordancia Exacta). Esta tarea puede ser realizada fácilmente por programas comunes de manejo de bases de datos (d'Base, Paradox, etc.)

Pero usualmente, se tienen registros muy detallados de producción para algunas zonas y en menor detalle para otras. Típicamente se colectan frecuentemente variables para áreas amplias (bajo nivel de detalle) y los datos detallados para áreas pequeñas se colectan con muy poca frecuencia (censos). Si las áreas detalladas se agrupan exactamente dentro de las áreas más amplias, se puede utilizar concordancia jerárquica - agregar los datos de las áreas pequeñas hasta coincidir con las áreas más amplias y entonces hacer una concordancia exacta. Con una mayor dificultad, este tipo de relación puede establecerse por medio de sistemas de manejo de base de datos comerciales.

Ahora bien, en muchas ocasiones, las áreas detalladas no coinciden con las más grandes. Esto es cierto especialmente cuando se trata de datos ambientales. Los límites de las áreas de cultivo no concuerdan con los límites de las áreas por tipo de suelo. Si necesitáramos, por ejemplo, saber cuales suelos son más productivos para cada cultivo, necesitaríamos sobreponer los dos conjuntos de información, sobre la distribución y producción de cultivos y las delimitaciones de los tipos de suelo. En principio es como sobreponer dos mapas en papel transparente e identificar cada combinación de tipo de suelo y producción de cada cultivo. Esta sería una aplicación de enlace por concordancia difusa (Ver Figura 28).

La importancia de los SIG es que éstos pueden realizar todos estos tipos de enlace en forma automática, porque utilizan el espacio (la geografía) como la clave para enlazar los conjuntos de datos. Generalmente, toda la información recopilada es referida a ubicaciones geográficas.

Si se tienen dos conjuntos de datos, sólo se pueden combinar de una forma. Si se tienen 20 conjuntos de datos, existe más de un millón de combinaciones de dos de ellos. Por supuesto, no todas las combinaciones serían útiles, pero sería posible detectar relaciones de causa y efecto entre variables principales.

Esto es lo que los Sistemas de Información Geográfica facilitan enormemente. La capacidad de sobreponer mapas conteniendo diferente información añade valor a las bases de datos aisladas. Es posible observar las áreas de cultivo en combinación con los tipos de suelo, y lo que es más importante, es posible hacer que el sistema realice cálculos para cada una de las combinaciones que tomarían muchísimo tiempo si se intenta hacer por otros medios (por ejemplo programación en un lenguaje sin las capacidades de análisis espacial, o aún manualmente, midiendo áreas con planímetro y ponderando resultados parciales con una calculadora).

4.2.4. CONSULTAS TÍPICAS

En el lenguaje de las computadoras, se denomina "Consulta" a cualquier información que se extraiga de una base de datos, para la cual sea necesario listar, clasificar, agrupar, consolidar, y/o re-actualizar cualquier otro procedimiento con los datos almacenados en ella. Generalmente, una consulta consta de condiciones que delimitan el ámbito de la misma. En las bases de datos típicas se utilizan operadores relacionales (<, >, =, <=, >=, !=) que plantean comparaciones de

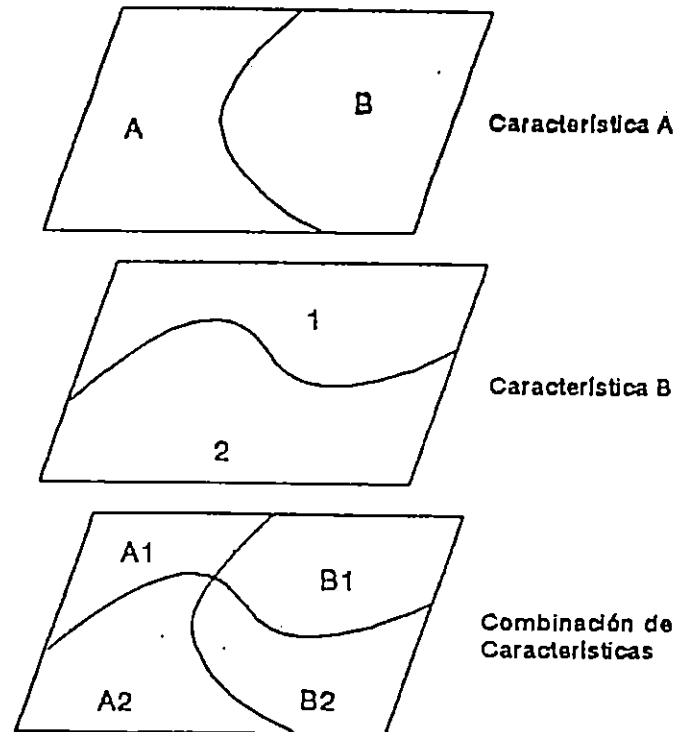


Figura 28 Relación difusa de los datos, los sectores se combinan para formar nuevos sub-sectores, cada uno con características propias [Ref. 27]

datos del mismo tipo (caracteres, valores lógicos, cantidades, etc.), junto con operadores booleanos (conjunciones, disyunciones y otros operadores creados en base a éstos). Por ejemplo, en una base de datos comercial típica, una consulta podría limitarse a los empleados de una empresa cuyo apellido sea Martínez, y cuyo sueldo supere los ¢8,000.00. Esta condición podría expresarse como Apellido = "Martínez" AND Sueldo > 8000 en diversos lenguajes.

Las consultas típicas que se hacen a los sistemas de información geográfica utilizan similares condiciones, en combinación con delimitaciones de tipo geográfico. Por ejemplo, podría ser: los empleados de apellido Martínez que ganan más de ¢ 8,000, y que residen dentro de un radio de 10 Km de la oficina principal. Un ejemplo de consulta podría ser la longitud de carretera de tipo A en el país. Para la delimitación geográfica, el SIG debe contar con una serie de operadores espaciales además de los lógicos y relacionales. Estos operadores lógicos se detallarán más adelante.

Existen básicamente cinco tipos de consulta que un SIG debe poder responder. Estas son:

- 1) Búsquedas para determinar qué existe en un lugar determinado. Este lugar puede ser descrito de diversas formas, como un área postal, un pueblo o localidad, o por un conjunto de coordenadas geográficas.
- 2) La segunda es inversa a la primera. Consiste en determinar en qué lugares se satisfacen ciertas condiciones, por ejemplo: ubicaciones de hospitales, localización de pozos, etc.
- 3) Otra consulta típica puede incorporar las anteriores; y consiste básicamente en buscar las diferencias en localidades en dos momentos diferentes.
- 4) La búsqueda de patrones dentro de localidades especificadas es otra de las consultas típicas. Esta es más complicada que las anteriores. Un ejemplo de éstas puede ser cuáles son los sitios de baja producción de un cultivo en zonas en las que usualmente la productividad es alta.

- 5) Finalmente, la más compleja de todas las búsquedas típicas implica realizar análisis de alternativas. Por ejemplo, consultar cuál sería el efecto de la construcción de una nueva carretera a la red vial existente.

Un Sistema de Información Geográfica funcional debe poseer la capacidad de responder con facilidad a cualquiera de estas preguntas tipo. Sin embargo, diferentes SIG pueden presentar herramientas que faciliten tal o cuál tipo de consulta; pero todos poseerán un lenguaje de consulta tal que pueda obtenerse una respuesta precisa, aunque en algunos casos se necesite de alguna programación adicional.

4.2.5. DESARROLLO HISTORICO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

En esencia, el desarrollo de lo que ahora nosotros conocemos como Sistemas de Información Geográfica comenzó desde el inicio hasta mediados de los 60's. Uno de los estudios más importantes en el desarrollo de los SIG, fue realizado en el Laboratorio de Gráficos de la Universidad de Harvard, a principios de los 70's.

Los primeros sistemas operacionales en el mundo fueron el Sistema de Información Geográfica de Canadá y los de la Unidad de Cartografía Experimental del Reino Unido.

Los primeros sistemas comerciales comenzaron a aparecer a principios de los años 80's. Entre estos merece mención especial ARC/INFO, el primer sistema en salir al mercado, en 1982, y que actualmente se ubica en una posición fuerte debido a la gran base de sistemas operando a la fecha en diversos países de América, Europa y Asia. Este fue desarrollado por el Environmental Systems Research Institute (ESRI - Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales), fundado en California, Estados Unidos, en 1969. El ESRI ha trabajado desde entonces en la divulgación y en la creación de una sociedad mundial de usuarios de SIG; actualmente publica una revista trimestral llamada ARC News, la cual contiene información de interés para planificadores, técnicos forestales, cartógrafos, ingenieros y cualquier otra especialidad que utilice información espacial.

En realidad, la historia actual de los Sistemas de Información Geográfica es corta, su nivel de desarrollo es elevado en comparación con otros tipos de software especializado. Este desarrollo se debe en su mayor parte a la declinación de los costos de operación de computadoras, ya que casi la totalidad de principios básicos empleados para organizar y analizar la información fueron enunciados y descritos por matemáticos en el siglo dieciocho, diecinueve, e inicios del siglo veinte. Sin embargo, ponerlos en funcionamiento, no ha sido una tarea fácil.

4.3. TELEDETECCION

[Refs. 6, 13, 14, 24, 28, 25, 34]

La palabra teledetección designa aquella técnica que permite obtener información a distancia de objetos situados sobre la superficie terrestre por medio de la emisión y/o reflexión de ondas electromagnéticas. Una onda electromagnética consiste en campos eléctrico y magnético que varían con el tiempo, y que pueden propagarse de una región a otra del espacio aunque no haya materia en la región intermedia.

En la teledetección participa un dispositivo sensor, un cuerpo observado y un flujo energético. Para que un sensor remoto adquiera información de un objeto a distancia, existen tres métodos: por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión. El primero de ellos es el más importante para la teledetección, pues utiliza la luz solar, que es la principal fuente de energía de nuestro planeta, el segundo se basa en la propia energía que emiten algunos objetos y el tercero es una combinación en donde el sensor emite su propia energía y recibe el "rebote" cuando ésta choca con el cuerpo. En cualquiera de los tres casos el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de Radiación Electromagnética.

Aunque la tecnología de sensores remotos es muy reciente, existen muchos centros de producción, enseñanza en investigación que se dedican activamente a este campo; pero se considera que la teledetección aún se encuentra en su fase de desarrollo.

Existen instituciones dedicadas a la investigación y aplicación de estas tecnologías que mantienen publicaciones periódicas registrando y dando a conocer los nuevos avances en el campo. Entre dichas instituciones se encuentran la American Society of Photogrammetry and

Remote Sensing (USA), que publica la revista Photogrammetric Engineering and Remote Sensing; el Canadian Center of Remote Sensing (Canadá), con la revista Canadian Journal of Remote Sensing; la Remote Sensing Society (Inglaterra), que edita el International Journal of Remote Sensing; y el Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (Holanda) que publica el ITC Journal. Aunque existen muchas otras instituciones en el mundo, las anteriormente mencionadas tienen la mayor tradición y experiencia en esta área.

Algunos de los centros que a nivel mundial realizan investigación basada en teledetección son: NASA, AMES Research Center and Jet Propulsion Laboratory, Environmental Research Institute of Michigan (ERIM), Laboratory for Applications of Remote Sensing (LARS), Institute for Environmental Studies (Universidad de Wisconsin), Remote Sensing Unit (California), National Remote Sensing Agency en la India, Remote Sensing Technology Center (RESTEC) de Japón y el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (IMPE) de Brasil.

Entre las aplicaciones de las imágenes de satélite se cuentan: el estudio de la erosión de playas y arenales, inventarios regionales del medio ambiente para preparar estudios de impactos ambientales, cartografía geológica para la exploración mineral y petrolífera, cartografía de nuevos depósitos volcánicos, control de movimientos de icebergs en zonas polares, estimación de modelos de escorrentía y erosión, inventario de aguas superficiales, análisis en tiempo real de masas nubosas de escala media y pequeña, cartografía térmica, cartografía de la cobertura vegetal, cartografía de áreas quemadas y seguimiento del ritmo de repoblación natural, cartografía e inventario del uso de los suelos, selección de rutas óptimas para nuevas vías de comunicación, etc.

4.3.1. VENTAJAS DE LA TELEDETECCION ESPACIAL

Las aplicaciones mencionadas anteriormente no son exclusivas de la teledetección espacial, sino que se apoyan también en la fotografía aérea y los chequeos de campo. No obstante, el uso de la teledetección espacial es muy conveniente desde el punto de vista de costos y tiempo invertido.

Algunas de las ventajas de la teledetección espacial sobre la fotografía aérea se mencionan a continuación:

1. Cobertura global y periódica de la superficie terrestre. Gracias a las características orbitales del satélite podemos obtener imágenes repetitivas de la mayor parte de la tierra, incluso de áreas inaccesibles por otros medios (zonas polares, desértica y amazonia por ejemplo).
2. Visión panorámica. La altura orbital del satélite le permite detectar grandes espacios, proporcionando una visión amplia de los hechos geográficos. Una fotografía aérea escala 1:18,000 capta en una sola imagen una superficie aproximada de 16 km², que asciende a unos 49 km² en el caso de fotografías de mayor altitud (1:30,000). Una imagen LANDSAT permite contemplar 34,000 km², y el satélite meteorológico NOAA abarca 9 millones de km².
3. Homogeneidad en la toma de datos. Las grandes extensiones de las imágenes de satélite son detectadas por el mismo sensor, y en una fracción muy pequeña de tiempo, lo que asegura la necesaria coherencia para abordar un estudio sobre grandes espacios.
4. Información sobre regiones no visibles del espectro. Los sensores ópticos electrónicos facilitan imágenes sobre áreas no accesibles con la fotografía convencional: infrarrojo medio, infrarrojo térmico y microondas. Estas bandas del espectro proporcionan una valiosa información para estudios del medio ambiente, registrando problemas imperceptibles al ojo humano.

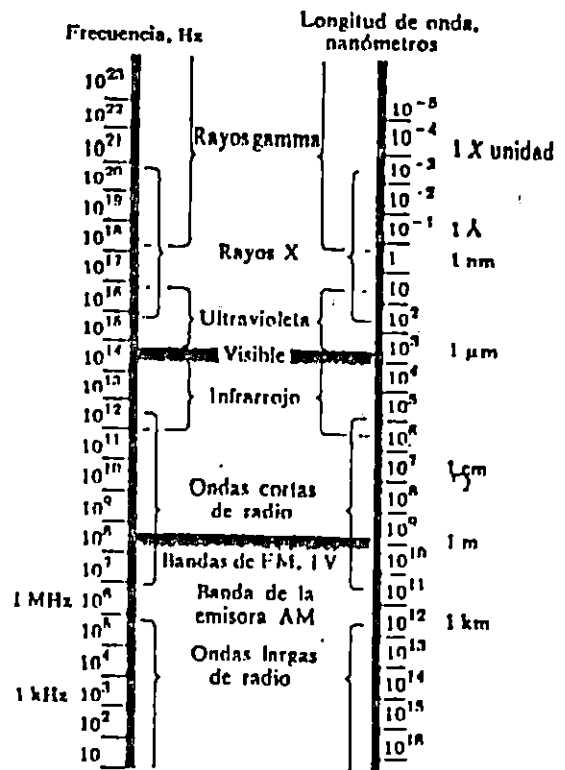


Figura 29 Esquema del espectro electromagnético

5. Por último, el formato digital de las imágenes agiliza su tratamiento y reduce los costos de representar los resultados en un tipo de cartografía convencional.

Aún con estas ventajas, la teledetección no puede ser usada de forma indiscriminada. En la mayor parte de las aplicaciones se debe apoyar con otras técnicas convencionales, como la fotografía aérea y los trabajos de campo. En otras, su aplicación puede ser únicamente como un ensayo experimental dado que su nivel de desarrollo aún no alcanza la madurez necesaria.

4.3.2. PRINCIPIOS FISICOS

El espectro electromagnético

El espectro electromagnético es la organización de bandas, de longitudes de onda o de frecuencias, que manifiesten un comportamiento similar.

Aunque la sucesión de valores de longitud de onda es continua, se establecen las "bandas" que van desde las longitudes de onda más corta (rayos Gamma, rayos X), hasta las kilométricas (telecomunicaciones). Variando las unidades de medida desde micras ($\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) hasta centímetros o metros. (Ver Figura 29)

Desde el punto de vista de la teledetección conviene destacar una serie de bandas espectrales, que son las más empleadas con la tecnología actual. Su denominación y amplitud varían según distintos autores, pero la terminología más común es la siguiente:

Espectro Visible (0.4 a 0.7 μm). Se denomina así porque es la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (0.4 a 0.5 μm), verde (0.5 a 0.6 μm) y rojo (0.6 a 0.7 μm), en razón de los colores elementales asociados a esas longitudes de onda.

La banda azul provee incrementos de penetración en los cuerpos de agua, así como soporte al análisis en el uso de la tierra, suelo y características de la vegetación. La banda verde

identifica la absorción de clorofila de la vegetación viva. La banda roja es útil para determinar límites tanto del tipo de suelo como geológicos.

Infrarrojo próximo (0.7 a 1.3 μm). A veces se denomina también infrarrojo reflejado y fotográfico, puesto que puede detectarse a partir de films dotados de emulsiones especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad (identificación de cultivos y contrastes suelo-cultivo y tierra-agua).

Infrarrojo medio (1.3 a 8 μm). En esta banda se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. Es utilizada para discriminar entre nubes, nieve y hielo, muy importante en investigación hidrológica. Además, el rango intermedio de la banda ha demostrado ser particularmente efectivo en la identificación de las zonas de alteración hidrotermal en rocas y formaciones rocosas geológicas.

Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm). Este incluye la porción emisiva del espectro terrestre. Mide la cantidad de energía infrarroja radiante emitida por las superficies. Es útil para la localización de las actividades geotermales, mapeo de la inercia térmica para las investigaciones geológicas y clasificación de la vegetación, análisis de tensión de vegetación y estudios de humedad del suelo.

4.3.3. TIPO DE SISTEMAS DE TELEDETECCION

En general, los sistemas de recolección de datos ambientales son clasificados como sistemas de detección directa e indirecta dependiendo de la forma de recopilación de la información. Los de detección directa son por ejemplo: las estaciones meteorológicas, las estaciones de medición de calidad del agua y el aire, las estaciones sismológicas y la apreciación directa por observadores humanos. Los sistemas de observación indirecta más comúnmente utilizados han sido la fotografía aérea, las imágenes de radar y las imágenes obtenidas desde satélites y vehículos espaciales.

Entre las variadas formas de clasificar los sensores remotos, la más utilizada considera la forma cómo reciben la energía procedente de los objetos. En este sentido se habla de dos tipos de sensores: los pasivos, cuando se limitan a recibir la energía de una fuente exterior a ellos, y los activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía.

Una segunda forma de clasificación es por el procedimiento para grabar la energía recibida. De acuerdo a esta clasificación se habla de sensores fotográficos, óptico-electrónicos y de antena, siendo los primeros los más conocidos.

Sensores Activos. La característica común de estos sistemas es su capacidad de emitir su propia energía que, posteriormente recogen tras su reflexión sobre una superficie. Entre ellos el más conocido es el radar, pero también pertenecen a este grupo el sonar y los radiómetros activos de microondas. Gracias a la característica de su propia emitancia, este sensor puede trabajar en cualquier condición atmosférica, pues su longitud de onda no es afectada por las gotas de lluvia ni por las partículas de vapor de agua que constituyen las nubes. Sin embargo, sus imágenes presentan algún error cuando el relieve es escarpado, funcionando mejor cuando es plano u ondulado.

El sistema más utilizado en este contexto fue el radar lateral aerotransportado (SLAR: Side Looking Airborne Radar), que mostró gran versatilidad respecto a la fotografía aérea, especialmente para estudios sobre áreas tropicales.

Además del SLAR se han desarrollado otros sistemas que, como éste, han dado buenos resultados. Estos son: SAR (Synthetic Aperture Radar), LIDAR (Light Detection and Ranging), SIR-A, SIR-B, ERS-1, RADARSAT y el JERS.

Sensores Pasivos. Estos se limitan a recibir la energía electro-magnética procedente de las cubiertas terrestres, ya por reflectancia o emitancia. Según el procedimiento que emplean para recibir la radiación se alude a cámaras fotográficas, exploradores de barrido y de empuje, y las cámaras de video que con las cámaras fotográficas aún siguen siendo el medio más utilizado en teledetección, especialmente desde las plataformas aéreas,

aunque tienen mención especial las fotografías tomadas desde las plataformas espaciales (Misión Mercury-4, Gemini, Apollo, Gemini GT-4, etc.)

Los sensores de barrido (scanners), además de efectuar una cobertura sistemática de la superficie terrestre, facilita la transmisión a distancia de las imágenes captadas. Por esta razón se ha desarrollado otro tipo de sensores denominados óptico-electrónicos, que convierten la señal analógica en un valor digital, por lo que se habla de imágenes digitales (aunque se presenten también en formato fotográfico).

Las ventajas más claras de los equipos de barrido multi-espectral, en relación con los sensores fotográficos, pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

1. Permiten ampliar la banda del espectro detectada a longitudes de onda mayores del visible. Las emulsiones fotográficas están limitadas al rango 0.4 a 0.9 μm , visible e infrarrojo reflejado, mientras que los equipos de barrido pueden abarcar de 0.4 a 12.6 μm , incluyendo el infrarrojo medio y térmico.
2. Mayor facilidad en la calibración y en la corrección radiométrica de los datos.
3. Posibilidad de realizar coberturas sistemáticas y de grandes espacios, gracias a su capacidad de transmitir datos en tiempo real.
4. Grabación digital de la información, que asegura su fiabilidad y permite su tratamiento asistido por computador.

Los scanners tienen el inconveniente con respecto a los sensores fotográficos de que poseen una menor resolución espacial. Sin embargo, los equipos de barrido se han incorporado sistemáticamente a las principales misiones de teledetección desde el espacio. Los más utilizados han sido los incluidos en los programas LANDSAT (MSS - Multispectral Scanner y TM - Thematic Mapper), TIROS-NOAA (AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer), Nimbus (CZCS - Coastal Zone Color Scanner), Skylab L (S192) y HCMM (HCMR - Heat Capacity Mapping Radiometer).

4.3.4. PROGRAMAS PERMANENTES DE TELEDETECCION

LANDSAT. Este programa inició en 1972 bajo el nombre de ERTS (Earth Resource Technology Satellite), habiendo cambiado de nombre a LANDSAT en 1975. Ha sido el mejor proyecto de teledetección espacial desarrollado hasta el momento. Para formarse una idea del volumen de información procesada, hasta 1980 la cobertura territorial cubierta por los satélites LANDSAT se cifraba en unos 32,000 millones de km², unas 385,000 imágenes adquiridas en estaciones de EE.UU. y otros 560,000 en estaciones fuera de este país. Hasta la fecha hay 5 satélites puestos en órbita por este programa.

Los LANDSAT poseen tres tipos de sensores, que son: el Rastreador Multiespectral (MSS), la cámara Vidicon de Retorno de Luz (RBV), y el Mapeador Temático (TM). Los más importantes son el MSS y el TM, ya que han proveído la mayoría de las imágenes utilizadas para el estudio de los recursos en tierra.

Algunas de sus características son: Altura orbital 917 km (MSS), 705 km (TM). 14 órbitas por día (103 minutos para circundar toda la tierra). Resolución espectral: MSS 4 bandas, TM 7 bandas. Resolución espacial: MSS 80 mt, TM 30 mt. Resolución temporal: MSS 18 días, TM 16 días. Resolución radiométrica: MSS 128 niveles, TM 256 niveles. Órbita heliosincrónica, polar, ligeramente inclinada (99.1 grados).

SPOT. Uno de los más novedosos, frente al estándar marcado por LANDSAT, ha sido el proyecto SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), desarrollado por el CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) de Francia, en colaboración con Bélgica y Suecia. En 1986 se lanzó el SPOT-1 y al principio de 1992, el segundo de este programa.

La principal novedad de este satélite es la incorporación de dos equipos de exploración denominados HRV (Haute Resolution Visible), lo que permite obtener imágenes en dos modalidades: pancromático (PAN) y multiespectral (Xs) que comprende las bandas verde, rojo e infrarrojo cercano. Lo que se ha hecho es ampliar el rango inicial uniendo las bandas azul y verde en un solo rango.

Sus características son: Órbita heliosincrónica, polar, ligeramente inclinado. Altura orbital: 832 km. Resolución espectral: PAN 1 banda, Xs 3 bandas. Resolución espacial: PAN 10 mt, Xs 20 mt. Resolución temporal: 26 días hasta 2 o 3 días según las latitudes. Resolución radiométrica: 256 niveles.

GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite). Los satélites GOES 1, 2 y 3 fueron puestos en órbita durante el período 1975-1978. Los satélites GOES E, D y F, que constituyen la nueva generación, utilizan tecnología más avanzada y tienen mayores capacidades. Estos reemplazarán a los primeros según un plan de sustitución establecido.

Los satélites GOES hacen observaciones diurnas y nocturnas de tipo climático, hacen seguimiento de eventos climáticos y climatológicos violentos, tales como huracanes y otras tormentas severas, retransmiten datos ambientales, obtenidos en el campo por medio de elementos sensores de tipo directo conectados a plataformas automáticas de recolección de datos, como parte de lo que se conoce como GOES DCS (Sistema de Recolección de Datos GOES). Paralelamente, llevan a cabo transmisiones de facsímiles de datos climáticos procesados en forma gráfica y de imágenes - conocidos con el nombre de WEFAX - a diferentes estaciones distribuidas por todo el hemisferio occidental. Estos satélites dan seguimiento además a las diferentes condiciones del campo magnético y miden el flujo de partículas energéticas en las cercanías del satélite y observan emisiones de rayos X provenientes del sol. Estas últimas son hechas por medio de lo que se conoce como SEM (Environmental Space Monitor).

Las observaciones climáticas, tanto diurnas como nocturnas, son hechas mediante el VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) el cual es el principal sensor a bordo del satélite. Este instrumento genera imágenes digitales de la tierra tanto en el rango de luz visible como en una banda de la radiación terrestre térmica infrarroja. El procesamiento y análisis en tiempo real de estas imágenes, que son emitidas cada 15 minutos, es de especial importancia en los pronósticos meteorológicos de carácter operativo.

La nueva generación de satélites GOES incluye el sistema VAS (Visible and Infrared Spin Scan Atmospheric Sounder) en lugar del VISSR, que además permiten obtener imágenes en varias bandas del espectro infrarrojo térmico. Tiene además la capacidad de realizar mediciones de temperatura a diferentes niveles de la atmósfera, las cuales pueden ser usadas, junto con otras propiedades bien conocidas de la atmósfera en la obtención de perfiles de temperatura sobre un área geográfica seleccionada. Se mantiene la capacidad de repetir datos de estaciones telemétricas.

NOAA. Los datos obtenidos de las bandas del espectro infrarrojo de onda larga mediante el sensor conocido como AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), instalado en esta familia de satélites de tipo operativo, ha sido muy útil en la generación de mapas de temperaturas de la superficie del mar a escala global. utilizando esta información junto con la información generada por el sensor CZCS (Coastal Zone Color Scanner) instalado en la serie de satélites experimentales NIMBUS, se ha logrado obtener una nueva visión del papel que juegan los océanos en la biosfera, así como también información para toma de decisiones que producen beneficios económicos a industrias como la navegación, pesca y extracción petrolera. Se ha demostrado que existe la necesidad real de tener un satélite de tipo operativo que simultáneamente obtenga datos de color del océano y temperatura del mar.

Otros. Además de los anteriores, actualmente funcionan el TIROS-NOAA, que proporciona información meteorológica; el MOS-1 (Marine Observation Satellite), IRS-1A (Indian Remote Sensing Satellite), LISS (Linear Imaging Self Scanning) y otros.

4.3.5. CONTROL INTERNACIONAL

Los satélites no ajustan su órbita a fronteras nacionales, y por lo tanto han surgido problemas ya que esto podría interpretarse como una violación de territorios soberanos por violación del espacio aéreo. Debido a esto, ha surgido la necesidad de regular jurídicamente las actividades de teledetección espacial, y para ello el Comité de Naciones Unidas para el Uso Pacífico del

Espacio Exterior ha intentado desarrollar los principios legales que salven las tensiones entre observadores y observados.

El tratado sobre actividades de exploración del espacio, firmado en 1967, señala que "el espacio exterior, incluso la luna y otros cuerpos celestes, no podrán ser objeto de apropiación internacional por reivindicación de soberanía, uso u ocupación, ni mediante ningún otro medio". Sobre este acuerdo se basa el derecho espacial, el cual define el espacio exterior como un patrimonio común de la humanidad, no sujeto a intereses nacionales.

En el congreso UNISPACE '82, celebrado en Viena, se expresó el deseo de algunos países por controlar la distribución de las imágenes tomadas sobre su territorio. Las posturas son diferentes; algunas se orientan a forzar a los países observadores a solicitar permiso y a limitar que se proporcionen éstas a terceros. Otros países no están de acuerdo con la solicitud de permiso, pero sí con la distribución restringida. La ex-Unión Soviética e India propusieron que se limite la resolución mínima de las imágenes para mantener las normas de seguridad militar. Por el contrario, los Estados Unidos, Inglaterra y Japón han sido partidarios siempre de que no existan limitaciones ni en la observación ni en la distribución de los datos.

En un intento de conciliar dichas posiciones, las Naciones Unidas presentó en 1986 un proyecto de principios de teledetección que fue aprobado por Asamblea General de la ONU en ese mismo año, el cual refleja los siguientes lineamientos:

1. La Teledetección se debe realizar en provecho e interés de todos los países, acorde al derecho internacional.
2. Se respetará la soberanía plena sobre la riqueza y los recursos naturales de los países observados.
3. Se debe promover la cooperación internacional sobre recepción, interpretación y archivo de datos, y prestar asistencia técnica cuando sea oportuno.

4. Los estados observadores deben informar al Secretario General de la ONU sobre los programas de teledetección que se propongan desarrollar, así como a los estados interesados que lo soliciten.
5. Se informará a los estados afectados cuando se determine la posibilidad de fenómenos perjudiciales para su medio ambiente, en estos casos, contarán con acceso sin discriminación y a costos razonables de los datos obtenidos sobre su territorio.

4.4. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL Y SU INTEGRACION CON SIG

[Ref. 2]

4.4.1. OPERACION Y PRECISION DE LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

La tecnología de Posicionamiento Global es una manera relativamente nueva de determinar ubicaciones en la superficie de la tierra. Está basada en trilateraciones radiales, es decir en la medición de las longitudes de los lados de un triángulo, (en vez de la triangulación que mide los ángulos) a partir de las ubicaciones de 17 satélites existentes, usando determinaciones muy precisas del tiempo de transmisión de las señales de radio de estos satélites a un receptor en tierra. La tecnología GPS ha aparecido prácticamente sólo hasta hace unos pocos años, con el incremento en el número de satélites orbitando el planeta. En el futuro cercano, un total de 24 satélites estarán orbitando, 21 en uso en cualquier momento y 3 en reserva.

Usando un receptor de GPS, cualquier individuo puede determinar una ubicación tridimensional simplemente encendiendo el receptor, siempre y cuando suficientes satélites estén dentro del horizonte visual al momento de la medición (actualmente esta condición se satisface en cualquier lugar 20 de cada 24 horas). La única dificultad en el uso del GPS consiste en convertir estos datos fácilmente obtenidos en información científica útil en la cual las decisiones de planificación como las de manejo sean basadas.

Como con los métodos ópticos de topometría, la precisión del GPS depende de la precisión del receptor y las condiciones atmosféricas, pero también está afectado por una distorsión intencional

llamada Disponibilidad Selectiva, introducida por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos en las señales de radio de los satélites.

En teoría las mediciones de posición con precisión de unos pocos centímetros es posible. En la práctica, la precisión alcanzada será determinada por una complejidad de factores. La precisión del sistema depende de la habilidad del receptor de medir con exactitud el tiempo de transmisión de la constelación de satélites con precisión de nanosegundos. Cada nanosegundo de error introduce un error posicional de aproximadamente 20 cm. Con respecto a la experiencia del operador, la influencia no es significativa, aunque el conocimiento de estándares de topografía y mapeo son muy importantes para el resultado final del trabajo de campo.

En cuanto a la atmósfera, las señales de radio son afectadas por una cantidad de factores atmosféricos, tanto en la ionósfera como en la troposfera. Estos errores pueden ser minimizados en una de dos formas: a) Los datos recogidos repetidamente en un período de tiempo deben ser promediados para producir una ubicación, b) Las lecturas de dos instrumentos (una estación base con una ubicación conocida y el receptor móvil) deben ser comparados al final de cada período de medición y las lecturas obtenidas por el instrumento móvil deben ser corregidas de acuerdo a las de la estación base.

4.4.2. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

Esta tecnología se ha establecido firmemente a través de todo el mundo. En esencia, SIG se refiere a un método de almacenar y organizar matrices digitales de datos de relaciones espaciales, de manera que tanto los mapas cualitativos como cálculos cuantitativos basados en las relaciones en esos mapas puedan ser producidos. Los SIG están desplazando rápidamente los métodos tradicionales de creación y utilización de mapas. Hay pocos países hoy en día, sin importar qué tan pobres, que no tengan acceso a la tecnología SIG.

Mientras que el potencial de esta tecnología es enorme, este potencial no puede realizarse sin la suficiente información geográfica requerida por el software. La falta de datos es particularmente crítica en los países en vías de desarrollo. Actualmente, el mayor enfoque para remediar esta falta de información está basado en el uso integrado de los SIG y las imágenes

de satélite. Las imágenes de satélite son generalmente bastante caras, y sujetas a muchos de los errores presentes en las técnicas tradicionales de la fotografía aérea, pero se encuentran disponibles inmediatamente y no requiere de una gran cadena burocrática para su adquisición. En muchos países en vías de desarrollo se están creando "Centros Nacionales de Monitoreo Remoto" con la función específica de integrar imágenes de satélite con los SIG, y comunmente funcionan con fondos de asistencia internacional.

El uso de imágenes de satélite debe validarse por medio de contrastación con información de campo recolectada por medio de GPS o de cualquier otro método de georeferenciación para permitir la corrección de los errores de paralaje y distorsión radial en éstas, además, la interpretación de las imágenes debe ser realizada con mucha reserva.

4.4.3. INTEGRACION SIG - GPS

En la actualidad, la mayoría de los esfuerzos dedicados a las tecnologías SIG y GPS se relacionan a la mejora de la precisión o a la disminución de los costos de instrumentación y software. Relativamente, mucho menos esfuerzo se realiza en la definición y diseño de aplicaciones para tomar ventaja de las capacidades de ambas tecnologías en forma combinada. La lista de aplicaciones potenciales es muy larga. En cualquier situación en que un mapa sea requerido, los SIG son una buena alternativa. Cuando dichos mapas no existan, pero sean requeridos, el Sistema de Posicionamiento Global es una forma de desarrollarlos rápidamente y a bajo costo, en comparación con los métodos ópticos tradicionales. Sin embargo, ésta es sólo la más obvia de las aplicaciones. Es en las áreas en que se requiere cuantificar el tipo de información disponible en mapas donde el uso de SIG y GPS tendrá mayor influencia. Algunas de estas aplicaciones son: sedimentación en reservorios y bahías (batimetrías), planificación urbana, agricultura sostenible, transporte y comunicaciones, monitoreo y evaluación de impactos ambientales, recursos hídricos y planificación del uso de la tierra.

En conclusión, el aspecto revolucionario del mapeo integrando Sistemas de Información Geográfica y Sistemas de Posicionamiento Global es que permite a grupos hasta ahora dependientes de sistemas de topografía y mapeo tradicionales generar sus propios productos geográficos y cartográficos con la suficiente precisión y exactitud, y en un tiempo más corto.

Además permite que las relaciones espaciales se vuelvan elementos explícitos en la definición de los problemas y las estrategias de solución, ya sea que existan o no mapas en papel.

Para los países en vías de desarrollo, permitirá un gran paso adelante, de lo que es frecuentemente un entorno sin cartografiar a la capacidad de producir mapas fieles y la información cuantitativa que los respalda casi inmediatamente. Los problemas fundamentales de la ciencia, la planificación y la administración de recursos naturales permanecen: cómo estructurar la recolección y el análisis de los datos; pero el uso integrado de los SIG y los GPS representa una herramienta poderosa para cualquiera que se encuentre con estos problemas.

El desafío inmediato y continuo para la comunidad científica, tanto como para la comunidad de planificadores y administradores relacionados con el desarrollo y utilización de los recursos es consolidar las tecnologías emergentes con diseños experimentales y enfoques adecuados a la definición y solución de problemas. Estas tecnologías no revolucionarán las metodologías científicas o de planificación, sino que son solamente un medio para facilitar las tareas en estas áreas.

4.5. ORGANIZACION INTERNA DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

[Refs. 6, 22, 25]

Un SIG describe objetos del mundo real en términos de:

- a) **Localización:** La localización consiste en la ubicación de un fenómeno en el espacio mediante una serie de coordenadas con un origen común. Los sistemas de coordenadas más comunes son el cartesiano, ejes respecto a los cuales se define la posición relativa de cualquier punto en el espacio; y el sistema cartográfico Universal Transversal de Mercator, que define una cuadrícula para localizar cada punto de la tierra en unidades de metros.

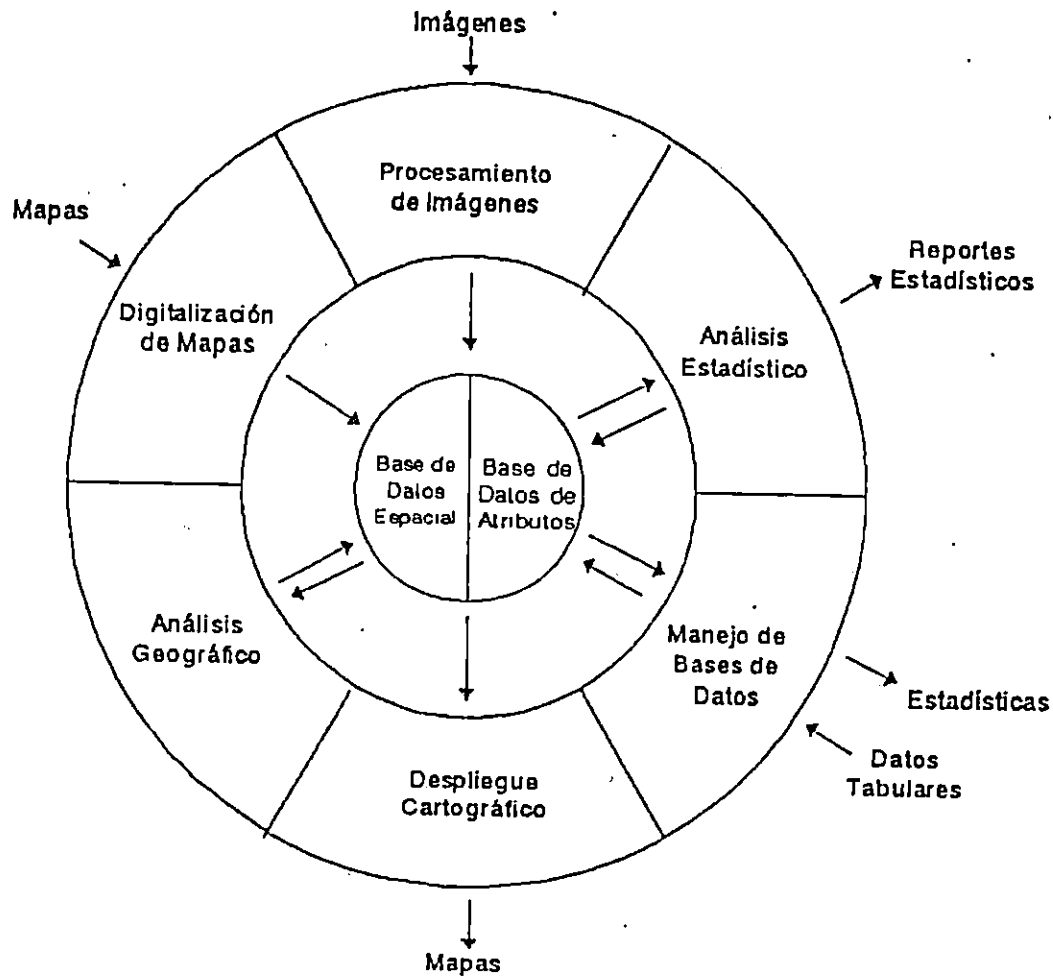


Figura 30 Componentes de Software del SIG [Ref. 10]

b) Topología: La topología permite conocer la dirección y ubicación de los distintos elementos.

De esta forma, el sistema va a poder contestar preguntas como: Cuál es el punto más cercano a cierta ubicación?, Qué elemento está ubicado al norte de ella?, Cúal es la ruta óptima entre dos puntos? Estos análisis pueden ser efectuados porque las características topológicas (continuidad, vecindad, proximidad) definen las relaciones de cada objetos con otros objetos en el espacio.

c) Atributos: Son datos externos, que se enlazan a la información espacial, a la geometría y topología para describir el fenómeno en cuestión. Por ejemplo, si una línea define un camino, ésta tendrá atributos como calidad, ancho, nombre, nivel de servicio, etc.

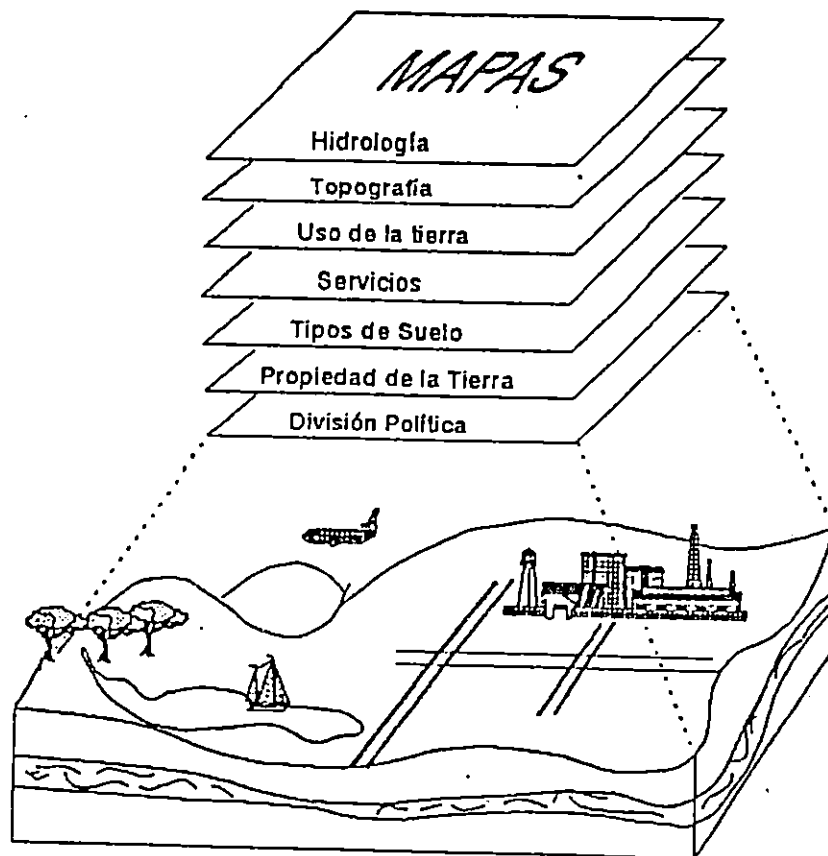


Figura 31 Representación del mundo real por medio de mapas.
[Ref. 27]

La base de datos manejada por el SIG es una abstracción del mundo real, en la cual se maneja la información en capas de acuerdo a los diferentes tipos de información, como topografía, hidrología, instalaciones, y otras características. Usualmente, estas características se identifican geográficamente por medio de mapas individuales (Ver Figura 31), sin embargo el SIG los maneja de manera conjunta, ya que todos los atributos se encuentran integrados en una sola base de datos.

Esto permite la superposición de las diversas capas de información, para lograr una visión global de las condiciones reales. La capacidad de superponer mapas puede mostrar relaciones importantes que de otro modo no son fácilmente identificables.

El Sistema de Información Geográfica se compone de varios elementos o subsistemas de software que realizan las siguientes funciones: manejo de la base de datos, despliegue de

información gráfica, análisis y simulación, procesamiento de imágenes. En la Figura 30 se ilustra esta estructura.

Base de Datos Espacial y Base de Datos de Atributos. Se denomina así a la colección de datos, que en forma digital, constituyen el núcleo del sistema. La base de datos describe las características de la superficie de la tierra, por medio de dos elementos: información espacial que describe sus características geográficas, e información de los atributos que describen cualidades de los objetos sobre ella. Por ejemplo, la base de datos espacial puede almacenar la ubicación y forma de las parcelas en un área, y la base de datos de atributos almacenará el nombre del dueño, el año de registro, si está o no dotada de servicios básicos, etc.

Sistema de Despliegue Cartográfico. Este sistema permite obtener elementos seleccionados de la base de datos y producir un mapa de salida en la pantalla o copia impresa en impresora o plotter. La mayor parte del software para SIG provee sólo salidas cartográficas básicas, por lo que se requiere reproducir y editar los mapas en programas especializados para procesamiento comercial de imágenes.

Sistema de Digitalización de Mapas: Después del sistema de despliegue cartográfico, el componente que sigue en importancia es el de digitalización de mapas. Esta operación puede realizarse de diversas formas, ya sea por rastreo de mapas en papel, por digitalización manual de información o por interpretación de imágenes aéreas. Este sistema realiza la diferenciación de los diversos elementos presentes en las imágenes y los almacena en la base de datos espacial para que luego se integren sus atributos no geográficos.

Sistema de Manejo de la Base de Datos. Tradicionalmente, este término se refiere a un tipo de software utilizado para introducir, manejar y analizar atributos de los datos. Pero un típico SIG no incorpora una base de datos tradicional, sino una variedad de programas de utilidades para manejar los componentes espaciales y los atributos de la información geográfica archivada. El sistema de manejo de la base de datos permite ingresar atributos de los datos tales como información tabular y estadística, y secuencialmente extrae

registros específicos y resúmenes estadísticos que proveen nueva información tabular. Este sistema permite incorporar elementos no posicionales en las consultas al sistema, por ejemplo: indicar las parcelas agrícolas donde el jefe de familia esté solo, y haya más de un niño por abajo de los 10 años.

Sistema de análisis geográfico: Este consiste en las librerías de procedimientos de análisis matemático y estadístico de la información geográfica, por ejemplo: cálculos de superficies, cálculos volumétricos, derivación de datos discretos a variables continuas, etc.

4.5.1. ESTRUCTURAS DE INFORMACION EN LOS SIG

Hoy en día, gracias a los avances en la tecnología de Sensores Remotos, se tiene acceso a una gran cantidad de información geográfica de todas partes del mundo, por medio de las imágenes tomadas por satélites. Sin embargo, la técnica de toma de imágenes que utilizan los satélites no podía ser procesada inicialmente sino por medio de software y hardware especializado. Básicamente existen dos formas de recopilar y representar información gráfica:

- a) Imágenes Vectoriales (Vector Graphics). Esta consiste en representar a un objeto por medio de una serie de líneas (vectores), empezando en un punto en la matriz espacial XYZ, y terminando en otro punto de la misma. Con la representación Vector, las fronteras o el curso de las características están definidas por una serie de puntos, que cuando se juntan con las líneas de origen forman la representación gráfica de dicha característica. Para almacenar la información alfanumérica asociada a los elementos gráficos existe una base de datos que se relaciona a ellos por medio de un código o identificador.
- b) Imágenes por Barrido (Raster Graphics). En esta técnica, una imagen es representada como una cuadrícula compuesta por diminutas celdas (pixels) que conforman un área de visión, donde cada una de éstas posee una serie de atributos (la elevación puede ser uno de ellos, para definir la imagen en su dimensión espacial completa). Por medio de la

asignación de atributos a cada pixel se almacenan datos que pueden o no ser representados en las imágenes.

En su nacimiento, los SIG sólo podían manejar gráficas y sus atributos asociados en el sistema Vector (por vectores), pero en vista de la riqueza de la información proporcionada por los sensores remotos, para eliminar la necesidad de convertir la información satelital antes de incorporarla en un sistema de información geográfica, los SIG más modernos poseen la capacidad de manejar ambos tipos de datos y sus correspondientes representaciones gráficas y analizar la información proporcionada por ambos medios.

La ventaja del sistema Raster es que el espacio geográfico es uniformemente definido en una tendencia o estilo simple y predecible, como resultado, el sistema Raster tiene sustancialmente más poder analítico que su contraparte Vector, en cuanto al análisis de áreas continuas; por lo que son idealmente situados para estudios donde los datos cambian continuamente sobre áreas. Algunos campos de utilización de este sistema son: biomasa de la vegetación, lluvia, suelos, etc.

Otra ventaja del sistema Raster es que su estructura está acorde a la arquitectura digital de las computadoras. Dado esto es que los sistemas Raster tienden a ser muy rápidos en la evaluación de problemas que involucran varias combinaciones matemáticas de los datos en múltiples celdas, por lo tanto son apropiados para modelos de evaluación del medio ambiente tales como potencial erosivo o planeamiento forestal.

Mientras los sistemas Raster están más orientados al análisis, los sistemas Vector tienden más al manejo de bases de datos, siendo más eficientes en el almacenamiento de información de mapas debido a que ellos solamente almacenan las características de las fronteras y no de lo que hay dentro de ellas.

Debido a la representación gráfica de las características, está directamente ligada a la base de datos de atributos. Los sistemas Vector usualmente permiten navegar en pantalla con un puntero y preguntar sobre los atributos de cualquier característica desplegada, como por ejemplo, distancia entre dos puntos o líneas, áreas de regiones definidas en pantalla y otras. En resumen,

puede producirse mapas temáticos simples a partir de consultas a la base de datos; por ejemplo, mostrar toda la sección de drenaje arriba de un metro de diámetro instalada antes de 1940.

Comparado con su contraparte Raster, el sistema Vector no tiene un rango extensivo de capacidades para el análisis del espacio continuo. No obstante, le supera en problemas concernientes a movimientos en redes y pueden emprender la mayoría de las operaciones fundamentales de un SIG. Para muchos, las simples funciones de manejo de la base de datos y las capacidades de mapeo son las que hacen atractivo al sistema Vector.

A causa de la cercana afinidad entre la representación lógica del sistema Vector y la tradicional producción de mapas, un plotter puede imprimir un mapa no producido por los medios no tradicionales de mapeo. Es por eso que el sistema Vector es muy popular en las aplicaciones municipales en donde predomina la producción de mapas para uso ingenieril y el manejo de bases de datos.

4.5.2. PROCESAMIENTO DE IMAGENES

Procesamiento de imágenes es un término con el que se designan las operaciones requeridas antes de integrar imágenes satelitales o de fotografía aérea a sistemas de información geográfica, o bien, para su uso como productos cartográficamente precisos. Generalmente se realiza por medio de la aplicación de software especialmente diseñado para tales fines, aunque en alguna parte del proceso interviene también el operador, con su experiencia y su criterio para afinar el resultado. El procesamiento de imágenes se ejecuta por medio de tres operaciones, todas ellas asistidas por computadora, las cuales son: Restauración de imágenes, Mejoramiento de imágenes, y Extracción de Información.

Restauración de imágenes: Este proceso se utiliza para compensar por errores en los datos, "ruido" y distorsión introducidos durante las etapas de barrido, grabación y transmisión de la información.

Consiste en: restauración de pérdidas periódicas de información en las líneas de barrido, restauración de "rayado" periódico en las líneas de barrido, Filtración de "ruido" aleatorio, corrección de la dispersión atmosférica y corrección de distorsiones geométricas

Mejoramiento de Imágenes: Este procedimiento se utiliza para alterar el impacto visual de la imagen con relación al interpretador, de manera tal que mejore la apreciación del contenido de la información de la misma.

Consiste en: Mejoras en el contraste de la imagen; transformaciones de intensidad, matiz y saturación de los diferentes colores; divisiones de densidad; mejoras en bordes y fronteras; generación de mosaicos digitales; y producción de imágenes estereoscópicas sintéticas.

Extracción de Información: Para este proceso se utiliza la capacidad de toma de decisiones de las computadoras para reconocer y clasificar diferentes pixeles en base a las "firmas digitales" de los mismos.

Los procesos en esta operación son: Producción de imágenes de componentes principales, producción de imágenes con combinaciones matemáticas de las diferentes bandas, clasificación multiespectral y producción de imágenes de detección de cambios.

4.6. IMPLEMENTACION DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

[Ref. 3]

Las razones para la instalación de un SIG son muy variadas. Usualmente, la propuesta de implementación surge de la necesidad de satisfacer deficiencias o vacíos de información para la ejecución de proyectos o para el planeamiento estratégico de la organización.

Casi cualquier organización hace uso de información que tiene alguna relación con el entorno geográfico, o al menos, con la ubicación relativa de las fuentes de información, pero, obviamente no todas ellas pueden justificar la implementación de un SIG. Los costos de instalación y de operación de los SIG son elevados, y el manejo efectivo de un sistema de tal naturaleza requiere de personal altamente capacitado en diversas áreas.

Las instituciones típicas que hacen uso de estos sistemas son aquellas que trabajan con proyectos de gran magnitud, como las oficinas de planificación regional, las compañías de servicios públicos y las empresas de aprovechamiento/extracción de recursos naturales.

En la actualidad, algunas empresas privadas empiezan a implementar SIG con capacidades limitadas para realizar análisis específicos en áreas de poca extensión (estudios de mercado, proyectos de construcción, áreas de riego, rutas de distribución de productos). Sin embargo, un enfoque más práctico es contratar los servicios de una empresa consultora, lo cual resulta mucho menos costoso cuando el beneficio que se pretende obtener del sistema es más bien puntual. De ahí, que otra razón para la implementación de SIG es en estos momentos, la creación de empresas de servicios, que realizan estudios georeferenciados para usuarios que no están en la capacidad de instalar un sistema propio.

En general, la implementación de un Sistema de Información Geográfica debería fundamentarse en un estudio financiero como el establecimiento de una relación Beneficio/Costo, que analice con el mayor detalle posible los costos de obtención de información con el sistema y sin él. Esta no es, generalmente, una tarea fácil, ya que muchos de los beneficios del sistema no son evidentes, sino hasta la puesta en marcha y operación regular del mismo. Así mismo, los costos de operación pueden subestimarse si no se cuenta con experiencia en la implementación de sistemas de esta naturaleza, o no se estima adecuadamente la dimensión del trabajo.

Aunque con frecuencia los sistemas de información geográfica se establecen para satisfacer objetivos bien determinados, son herramientas poderosas que pueden aplicarse a una variedad de análisis, siempre que se cuente con los recursos necesarios. Por lo consiguiente, el diseño inicial del sistema debe ser lo más flexible que sea posible, para permitir que posteriormente se integren nuevas aplicaciones que puedan aprovechar las bases de datos creadas con anterioridad.

Un error común en la implementación de Sistemas de Información en general es el dimensionamiento inadecuado del trabajo, ya sea por falta de claridad en su dimensionamiento y alcances, o por conocimiento insuficiente de las operaciones requeridas por el sistema. Aunque las operaciones requeridas para el manejo de un SIG son esencialmente las mismas que en cualquier otro tipo de sistema de información (ingreso de información, edición, generación de informes, creación de procedimientos, etc.), éstas operaciones son altamente especializadas. La mecánica del manejo de la información es más compleja (por ejemplo: la digitalización en vez del ingreso de información alfanumérica); por lo tanto no puede realizarse sino por personal

capacitado específicamente en el manejo del SIG, además se requieren habilidades y destrezas especiales y, especialmente en el análisis de la información generada, conocimientos técnicos muy amplios. El factor personal es muy importante en la determinación de los recursos a asignar para la implementación de SIG.

4.6.1. PERSONAL INVOLUCRADO EN LA OPERACION DE SIG

Para implementar exitosamente un SIG, cada organización debe realizar diez funciones generales. Cada una de las cuales requiere ciertas capacidades, habilidades y conocimientos; aunque muchas veces un individuo realiza varias funciones, y algunas de ellas requieren a todo un grupo de trabajo para su ejecución. Estas funciones son:

Administración del Sistema: El administrador del sistema es el líder del grupo. La persona que realiza esta función debe entender cómo el Sistema puede ser utilizado para beneficio de la organización. El coordina con el grupo de usuarios para asegurar que el desarrollo del SIG proveerá los resultados requeridos. Se necesita que el administrador conozca la capacidad y las limitaciones del SIG, ya que él estimará los recursos empleados en las aplicaciones. Debe conocer los requerimientos de información, los costos de automatización y las estrategias de implementación de una base de datos dentro de un SIG.

Analista de Sistemas: Este poseerá conocimientos técnicos específicos y experiencia en la aplicación de los SIG para resolver problemas comunes de los usuarios. Debe tener la destreza necesaria para diseñar y automatizar una base de datos de SIG, así como de la ejecución y programación de procedimientos analíticos, tanto simples como complejos. El analista de SIG debe poseer los conocimientos para comunicarse con dos grupos técnicos especializados: los usuarios y los programadores de aplicaciones; debe identificar los requerimientos de los primeros y transmitirlos en forma precisa a los encargados del desarrollo de las aplicaciones. También es responsable de la verificación de los resultados, y de obtener la retroalimentación necesaria durante el proceso de creación y desarrollo de las aplicaciones.

Administrador de la base de datos: Esta persona debe tener experiencia en el diseño de bases de datos de SIG que satisfagan las necesidades de la organización. El administrador de la base de datos debe saber cómo organizar lógicamente las distintas categorías de información en capas ("layers"), que fuentes de datos son más apropiadas para cada una, qué atributos serán almacenados para cada categoría y cuál es la mejor manera de realizar la codificación, la entrada de datos y el proceso de actualización periódica de la información. Para ello, debe tener extensos conocimientos en el diseño de bases de datos de GIS, así como de bases de datos tabulares de uso común. Su responsabilidad principal es dirigir el proceso de automatización y actualización de la base de datos.

Operador: Este debe saber como realizar la operación diaria del sistema, para obtener los productos regulares del mismo, tal como los requiere el analista de la información. Básicamente está a cargo de manejar el software y hardware existente y las funciones regulares que llevan más complejidad que la digitalización y la entrada de datos.

Especialista en Fotointerpretación/Dibujante: Esta persona compila e integra información cartográfica proveniente de diversas fuentes en mapas manuscritos que son usados para la asignación y registro de atributos en la digitalización. Las fuentes de información incluyen típicamente mapas, fotografías aéreas, imágenes de satélite, y estudios de campo. Debe tener al menos conocimientos técnicos básicos sobre la temática de los datos que se están interpretando (demografía, hidrología, geología, o cualquier aplicación que se ejecute); y debe entender los principios de elaboración de mapas para definir adecuadamente las localizaciones y contornos de los objetos en los mapas manuscritos. Es deseable que tenga habilidades para el dibujo técnico para que los mapas manuscritos sean lo más precisos posible antes de digitalizarlos.

Digitalizador/Digitador: Estas son las personas que dan mantenimiento a la base de datos. Su trabajo es digitalizar y editar la información gráfica así como la parte alfanumérica de la base de datos. Usualmente las operaciones de digitalización y digitación son supervisadas por el operador del sistema, quien diseña y controla todas las fases de automatización del desarrollo de la base de datos del SIG.

Cartógrafo: En algún punto, el SIG será utilizado para reproducción de mapas tanto en la pantalla como en papel. Mapas de salida de alta calidad muestran el mensaje con mayor claridad. Por lo tanto, se requiere de sólida experiencia en cartografía. El trabajo del cartógrafo será producir salidas de mapas del sistema. En muchos casos, él establecerá procedimientos para que el operador o los usuarios puedan generar mapas directamente del sistema.

Administrador del Sistema de Cómputo: Este es el encargado de dar mantenimiento al sistema de cómputo, incluyendo el hardware y el software de sistemas (sistema operativo de la máquina, programas de configuración, etc.), adición de dispositivos periféricos, actualización del equipo, suplementos para el sistema. Usualmente no requiere conocer el funcionamiento de las aplicaciones, sino solamente el funcionamiento interno de la máquina.

Programador/Creador de Aplicaciones: Estas son las personas que crean los macrosistemas y las interfaces de menú para los usuarios. Las operaciones simples dentro de un sistema de información geográfica pueden realizarse por medio de comandos simples, pero por medio de macros pueden crearse programas para realizar tareas más complejas, combinando los comandos básicos; y luego asignándolos a opciones de menús. El programador desarrolla aplicaciones específicas para análisis de sitios, de manera que los usuarios puedan fácilmente aplicar el SIG para realizar su trabajo sin tener que conocer íntimamente sobre la operación del sistema, sino concentrándose en la investigación y el trabajo de su área técnica.

Usuarios Finales: Estas son las personas a las que el SIG proporciona los resultados finales. Son generalmente técnicos altamente especializados en ciertas áreas, formando un equipo multidisciplinario de análisis. Los usuarios experimentados en el empleo de SIG, conocen mejor las posibilidades del sistema, y pueden obtener de él los mayores beneficios. Sin embargo, los usuarios finales no necesitan saber cómo trabaja el SIG, más bien deben saber cómo beneficiarse de ellos.

Las computadoras de tiempo compartido son sistemas en los cuales todos los recursos están soportados por un mismo sistema operativo, y uno o varios microprocesadores que prestan servicio por lapsos alternos a cada uno de los usuarios, de manera que éstos tengan la sensación de estar trabajando de manera independiente. Cada uno de los usuarios trabaja con una terminal que lo comunica con la unidad central de proceso, para solicitar los recursos requeridos (almacenamiento, impresión, procesamiento). En algunos casos, se puede proveer a las terminales con capacidad de almacenamiento y procesamiento propio, para bajar la carga de la unidad central de proceso.

Por otro lado, una red es un sistema de computadoras en el cual varios usuarios pueden estar compartiendo algunos recursos, pero donde básicamente cada usuario tiene capacidad de procesamiento independiente de los demás usuarios de la red. Cada usuario tiene su propia interfaz y hasta su propio sistema operativo, y la red sirve para compartir aquellos recursos cuyo uso no es permanente, como los impresores. El software de red provee mecanismos de comunicación que permiten compartir la información existente en cualquiera de las unidades conectadas a la red.

En la actualidad, las redes pueden incorporar tanto computadoras independientes como sistemas de tiempo compartido. Por lo tanto son más flexibles que las microcomputadoras. Además se han desarrollado computadoras especializadas para operaciones de gráficos, denominadas comúnmente Estaciones de Trabajo (Workstations).

Las estaciones de trabajo son máquinas diseñadas para ejecutar múltiples procesos simultáneamente, a velocidades tan altas como las de los sistemas de tiempo compartido (procesamiento: más de 10 millones de instrucciones por segundo; intercambio de información: alrededor de 1 MB por segundo).

Algunas estaciones de trabajo utilizan un sistema operativo propietario, como las VAXstations de Digital Equipment que operan con VMS (Virtual Machine System). Sin embargo, la mayoría de estaciones trabajan con UNIX como sistema operativo, y XWindows como interfaz para despliegue de gráficos (estos se han convertido virtualmente en el estándar para el diseño y operación de software SIG).

Cualquiera que sea la configuración de equipo seleccionada, hay que tener en cuenta que lo más importante del sistema es la base de datos. Esta no debe volverse obsoleta a medida que la tecnología avance. Aún cuando el equipo se sustituya parcial o totalmente, se debe garantizar la portabilidad de la base de datos.

4.7. IMPACTO ORGANIZACIONAL DE LOS SIG

[Ref. 7]

Usualmente la gente se siente atraída hacia la tecnología de Sistemas de Información Geográfica por las aplicaciones y los beneficios que ofrece para su propia profesión o disciplina. Por ejemplo, un planificador vería cómo mejorar su capacidad de decisión y de previsión, un cartógrafo estaría interesado en cómo producir o editar series de mapas, y un científico de los recursos naturales podría ver cómo analizar o modelar más efectivamente un entorno natural.

Sin embargo, los beneficios de los SIG van más allá de la capacidad de facilitar una tarea en particular, desde hace mucho tiempo se ha tenido la idea de que la aplicación de este tipo de sistemas podría tener un impacto muy significativo sobre las organizaciones para las cuales los usuarios realizan su trabajo; pero ha sido sólo recientemente que la tecnología ha llegado a un nivel de desarrollo tal que permita realmente observar esos impactos.

Existen tres cualidades particulares de los SIG que pueden tener mayor significado para las organizaciones:

1. La capacidad de compartir bases de datos comunes de información espacial. El efecto de ésta es una mejor cooperación interdepartamental y una reducción notable en la redundancia y en la inconsistencia de la información.
2. La habilidad de relacionar conjuntos de datos heterogéneos usando la ubicación como método para construir las relaciones. Esto puede llevar a descubrimientos interdisciplinarios y mayor cooperación a todos los niveles.

3. La facilidad para agregar datos detallados (obtenidos a partir de funciones operacionales) en unidades espaciales más grandes (utilizadas en funciones de planificación y administración). Esto puede llevar a una mejor interpretación de las unidades operacionales de la organización.

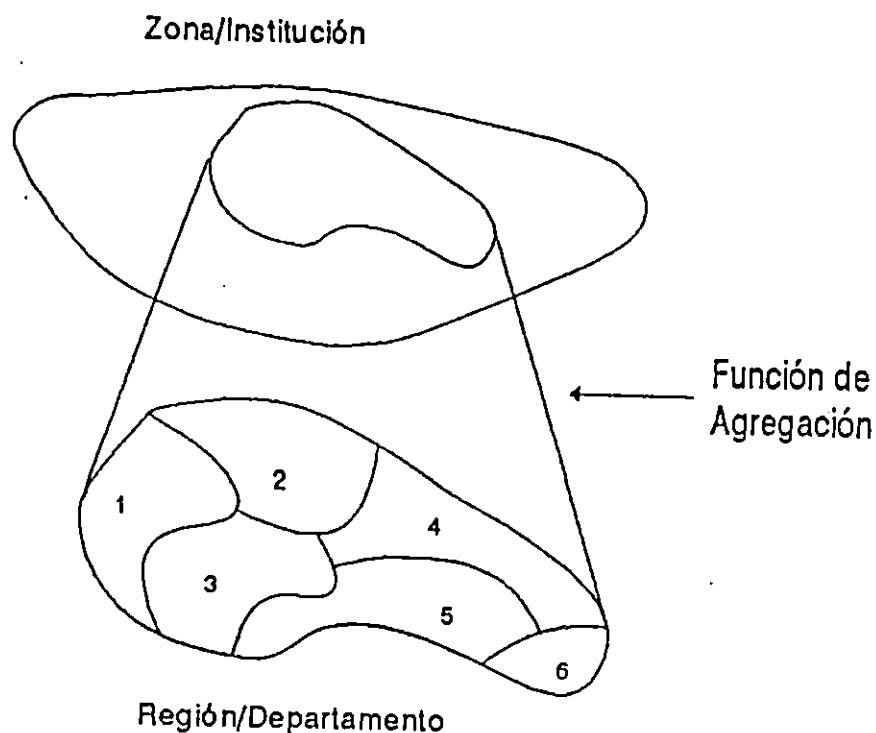


Figura 32 La información recopilada en unidades pequeñas debe integrarse para facilitar su manejo en un análisis global [Ref. 27]

Casi todas

las instituciones, especialmente el gobierno, están organizadas en departamentos funcionalmente especializados, los cuales se concentran en su propio trabajo, y crean las bases de datos necesarias para dar soporte a sus propias funciones o actividades.

Uno de los papeles más valiosos de los sistemas de información geográfica es la integración de información a través de todos los departamentos de una organización, de manera que pueda ser compartida, interrelacionada y utilizada en común por diferentes grupos de trabajo.

información ha demostrado que un buen manejo de la información tiene un impacto significativo en el comportamiento y en la eficiencia de las organizaciones.

4.7.1. DISMINUCION DE LAS REDUNDANCIAS E INCONSISTENCIAS

En los casos en que la información en mapas referente a registros de la tierra es manejada manualmente, hay a menudo diferentes departamentos que desarrollan sus propios archivos en forma redundante. Esta redundancia generalmente es producto de múltiples razones, una de las cuales es la dificultad de resolver las diferencias técnicas y burocráticas sobre el mantenimiento y almacenamiento de la información.

Cuando las bases de datos son desarrolladas redundantemente, son, además, usualmente inconsistentes, así que diferentes departamentos tienen datos diferentes y algunos en conflicto, lo cual crea fricciones e inconsistencias en la forma en que se realizan las operaciones.

La redundancia de la información tiene un impacto aún mayor cuando los datos son sujetos a cambios rápidos, como en el caso de la posesión de parcelas, tanto por la subdivisión de las mismas como por los traspasos de las propiedades. Cuando ésto sucede, generalmente hay una gran cantidad de recursos dedicados en forma redundante a la actualización de la información, y ésto tiene un impacto directo en los costos de operación de las instituciones.

La tecnología SIG ayuda a aliviar estos problemas por medio del uso compartido de la información contenida en una base de datos común, eliminando la necesidad de duplicar la información y reduciendo la cantidad de recursos empleados.

4.7.2. INTEGRACION INTERDEPARTAMENTAL

La propia naturaleza de la tecnología SIG fomenta la actividad integrada de múltiples departamentos de manera que puedan enfrentarse los problemas en una forma más comprensiva y sistemática.

Un SIG es, ante todo, un sistema automatizado de información, puede relacionar información, integrarla y unificarla. Un SIG pone a la disposición información a la que nadie tenía acceso antes, y coloca la información existente en un nuevo contexto. A menudo permite entrelazar información que no había podido relacionarse previamente. Una base de datos compartida requiere que las diferentes organizaciones y disciplinas trabajen juntas para integrar sus datos en lo posible, a la vez que se reconozca las diferencias fundamentales en las necesidades de información. El enfoque integrado también requiere una tecnología de información que sea flexible y capaz de responder fácilmente interrogantes que interrelacionen información espacial.

La referenciación geográfica provee un contexto importante para mucha información. Por ejemplo: si se dice que una temperatura de 35°C ha sido medida, virtualmente no indica nada; pero si se nos dice que fue medida en Alaska, inmediatamente veremos alguna anomalía.

De manera similar, muchos de los problemas que necesitamos solucionar tienen importantes componentes espaciales. Un SIG nos permite entender estos problemas más claramente. Cuando se geocodifica información sobre esos problemas, podemos relacionar esa información con la que se encuentra disponible en otras instituciones. De esa manera, por medio de los sistemas de información geográfica podemos lograr cooperación en las instituciones, y también ver cada problema en un contexto geográfico que indique cómo afecta a otras actividades. Tal vez, el uso de SIG puede afectar profundamente la forma en que se manejan los recursos a nivel global.

4.7.3. FUNCION DE AGREGACION

La información geográfica es recolectada con gran detalle para propósitos que requieren alta precisión, y luego agregados para usarse en propósitos más generales que requieren menor detalle (Ver Figura 32). Por ejemplo, los datos minuciosos requeridos para la ingeniería de instalaciones pueden ser sumariados para planeación del uso de la tierra. Estadísticas sobre permisos de construcción, accidentes de tráfico, llamadas de auxilio, que son recopiladas como parte usual de actividades de nivel operacional pueden ser agregadas geográficamente por bloques, códigos postales, sectores censales, o unidades geográficas aún mayores.

El significado de esta función es que los mismos registros altamente detallados que son recopilados y mantenidos para funciones operacionales son utilizadas para el planeamiento y administración del departamento.

En el enfoque de grandes problemas, la agregación juega un papel adicional crítico. La capacidad de recoger y almacenar información se incrementa rápidamente, ya sea por medio de sensores remotos o por el uso de otros tipos de sensores sobre el terreno (especialmente GPS's), o por esfuerzos más intensos en la recopilación de información. Esto significa que existe la posibilidad de crear las grandes bases de datos globales necesarias para tratar efectivamente con los problemas. Pero esta cantidad de datos puede superar nuestra capacidad para manejarlos. Intentando solucionar un problema global, el manejo de tal cantidad de información es en si mismo un problema adicional.

Pero en el caso de información georeferenciada la agregación y el despliegue gráfico de los SIG provee un método de controlar los datos dispersos y crear información útil; información que se encuentre en una forma y en cantidades que realmente podamos utilizar. Los datos se pueden llevar a cualquier nivel de agregación deseado fácilmente, clarificando su significado, y haciendo más fácil la tarea de los encargados de la toma de decisiones y de solucionar los problemas.

4.7.4. PROBLEMAS PARA LA TRANSFORMACION ORGANIZACIONAL

Aún con las capacidades de la tecnología SIG mencionadas anteriormente, realizar el cambio organizacional para solventar mejor las dificultades no es fácil. Existen barreras hacia el cambio.

Muchos de estos cambios envuelven algún riesgo. Moverse hacia afuera del área de especialización propia para compartir información y cooperar con alguien más es mucho más riesgoso, personal e institucionalmente, que mantenerse con la mecánica de trabajo establecida por años.

Mientras que los enfoques abiertos e integrados de los problemas son más apropiados, toman mucho más tiempo y consumen una gran cantidad de recursos. Además el éxito no está garantizado solamente por una estrategia multidisciplinaria, y la crítica es mucho más dura.

Hasta el mismo proceso de agregación está expuesto a ser criticado y desvalorizado, y si no es llevado a cabo correctamente puede conducirnos a conclusiones inadecuadas.

Hay verdaderos beneficios en la aplicación de SIG, que van más allá del incremento en la velocidad de reproducción y la calidad de los mapas. Los SIG ofrecen hacer contribuciones en la forma en que solucionamos los problemas, de una manera que apenas se empieza a experimentar. No es posible estimar la importancia de estos cambios aún, porque no existe en el mundo suficiente experiencia al respecto, pero podría ser que los SIG transformaran significativamente el modo de trabajar de las instituciones.

La capacidad de hacer funcionar en conjunto las partes de una organización se obtiene por medio del uso de los sistemas de información geográfica como herramientas para la integración horizontal (cooperación interdepartamental) y vertical (consolidación de información) de la información espacial.

4.8. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

[Refs. 16, 25, 34]

4.8.1. DESARROLLO HISTORICO

Las primeras aplicaciones de los SIG en el mundo dependieron de las necesidades principales identificadas regionalmente. Así, las aplicaciones con que se dió inicio al desarrollo de SIG fueron: en Europa continental, la automatización de sistemas de registro de terrenos y la creación de bases de datos ambientales. En Gran Bretaña, por otro lado el desarrollo fue grande en las aplicaciones para las compañías de servicios básicos (electricidad, gas, agua potable y desagües), y para la creación de una extensiva y detallada base de datos sobre la topografía de todo el territorio.

En Canadá, la primera aplicación importante fue en forestería, para planificar el volúmen de madera que sería cortada y las rutas de acceso hacia los bosques madereros. En China y Japón,

el mayor énfasis se ha efectuado en el monitoreo y modelado de posibles cambios ambientales, debido a los catastróficos efectos de las inundaciones y los terremotos en estos países.

En los Estados Unidos, todas esas aplicaciones se desarrollaron en una forma bastante amplia, pero el uso de los SIG en el proyecto TIGER (Topologically Integrated Geographic Referencing = Referenciación Geográfica Topológicamente Integrada) mereció especial atención. Esta fue realizado por el departamento de Censos. Este proyecto produjo una descripción computarizada de la geografía de los Estados Unidos para facilitar la toma y la elaboración de reportes del censo de 1990. Este proyecto costó cerca de 170 millones de dólares. Esta es, hasta la fecha, la base de datos de información geográfica más grande colectada.

Esta base de datos es vendida públicamente y puede ser utilizada para una variedad de propósitos. Cuando se combina con información demográfica u otros datos provenientes de censos, puede ser usada en distribución postal, desarrollar sistemas de dirección automática de manejo en carreteras, y mucho más.

Lo más importante en todas las aplicaciones mencionadas, es que se ha utilizado una técnica y programación similares, lo que significa que los SIG son herramientas para propósitos generales.

4.8.2. APLICACION AL MANEJO DE RECURSOS HIDRICOS Y DEL USO DE LA TIERRA

Modelos de procesos espacialmente distribuidos, basados en tecnología de SIG, están volviéndose cada vez más importantes en las ciencias hidrológicas, geomorfológica y ecológica. Estos modelos sirven como una alternativa al acercamiento tradicional, que envolvía el uso de un sólo valor promedio describiendo los regímenes de agua y sedimentación en toda la cuenca de un embalse.

Las líneas de nivel topográficas son asumidas como líneas equipotenciales - igual intensidad de algún procedimiento hidrológico como precipitación o escurrimiento superficial.

En el desarrollo de un modelo de represas para captación de agua usando el método de los SIG, el primer paso involucra la creación de un mapa digitalizado del terreno, basado en los mejores mapas topográficos existentes, a una escala apropiada para el embalse que será modelado. Ecuaciones empíricas describiendo la variación de los principales componentes del ciclo hidrológico son desarrolladas a partir de los datos de las redes climatológicas e hidrométricas existentes.

Las ecuaciones empíricas son usadas para convertir el modelo topográfico en un conjunto de modelos digitales de los más grandes elementos del ciclo hidrológico. En combinación con modelos similares de erosión y transporte de sedimentos o uso de la tierra, esta estrategia proveerá información concerniente a la variación espacial de un amplio rango de procesos hidrológicos y geomorfológicos dentro de la cuenca del embalse.

La información hidrológica y del uso de la tierra espacialmente distribuida puede ser muy útil como datos primarios para una variedad de problemas actualmente encarados por aquellos responsables por la planificación y manejo de los recursos hídricos.

En los casos en que no hay suficiente información disponible como para manejar el modelo, el mapeo integrando SIG y GPS puede ser usado para crear rápidamente bases de datos en el campo.

4.8.3. MONITOREO Y EVALUACION AMBIENTAL

Las actividades humanas producen una seria degradación ambiental a través de todo el mundo. No es siempre evidente cómo algunos aspectos de esta degradación (deforestación, crecimiento urbano descontrolado, descarga de desechos industriales, prácticas agrícolas) afectan el sistema ambiental más grande del cual forman parte.

Es esencial que sea desarrollada una escala que pondere la importancia de los problemas individuales de degradación ambiental, y la eficiencia de las acciones remediales; ésto es, diseñar sistemas de evaluación del impacto ambiental adecuados. Elementos vitales en estos sistemas de EIA son:

- 1) El conocimiento preciso de las relaciones espaciales entre fuentes de degradación ambiental y patrones de transmisión de los productos de esta degradación.
- 2) El uso de una tecnología que permita fácil acceso a las bases de datos y su constante actualización.
- 3) El monitoreo de los cambios ocurridos a partir de un estado inicial, y a través de las actividades remediales.

Los sistemas de información geográfica podrían ser utilizados para crear las bases de datos del estado inicial; apoyándose con mediciones de campo utilizando la tecnología GPS o las imágenes satelitales cuando no exista suficiente información para el desarrollo de las matrices geográficas.

De manera similar, estas tecnologías podrían emplearse en una gran variedad de formas para desarrollar estrategias de mejoramiento ambiental, tanto como para llenar los requerimientos existentes de información. Por ejemplo, en el monitoreo de la calidad del agua, el uso de transductores conectados con SIG, permitiría la detección en tiempo real de vetas de contaminantes y el desarrollo de modelos de manejo. Para prevenir la degradación por erosión y sedimentación, el manejo forestal es basado frecuentemente en las imágenes de satélite; para el registro de los cambios logrados con las políticas forestales aplicadas, se puede emplear un SIG. El crecimiento urbano, que es uno de los factores determinantes en la deterioración ambiental, sólo puede ser controlado si existe suficiente información referente a patrones de asentamiento e inventarios de infraestructura. En lo que respecta a descargas industriales, tanto sólida como líquida, los SIG pueden ser una herramienta ideal para el monitoreo continuo.

4.8.4. MAPAS DE TRANSPORTE Y REDES VIALES

Las redes viales son entes dinámicos y complejos dentro de la infraestructura de cualquier país. Son dinámicos ya que, a medida que se construyen adiciones, otras porciones de la red envejecen y se deterioran. Consisten en un mosaico complejo de vías nacionales locales y urbanas, bajo distintas jurisdicciones, con diferentes prioridades y asignaciones presupuestarias.

A cada nivel, existen algunos problemas básicos: Cómo mantener un inventario preciso del crecimiento (o encogimiento) de la red?, cómo calendarizar las reparaciones y el mantenimiento?, cómo describir correctamente las ubicaciones de direcciones, señales, alcantarillas, pasos a desnivel y otras características de las calles?

Estos y otros problemas similares ahora pueden ser manejados a través de una combinación de tecnologías GPS y SIG, ya que las investigaciones de campo pueden ser realizadas en sólo una fracción del tiempo y costo de las alternativas tradicionales. Por ejemplo, en la determinación de una nueva ruta, una vez digitalizado el mapa topográfico de la región con curvas a nivel se pueden sobreponer mapas geológicos y de tipo de suelo obtenidos por la vectorización de imágenes de satélite y desarrollar programas para seleccionar la ruta óptima en base a cualquier conjunto de restricciones, las cuales podrían incorporar tipo de material en el terreno, volúmenes de acarreo, pendientes, estructuras existentes y otros.

Por otro lado, en el control del tráfico urbano, es posible coleccionar información sobre el volumen de tráfico en las calles fácilmente, y hacer simulaciones de los regimenes de tráfico bajo diferentes condiciones utilizando las capacidades de topología y base de datos del SIG. Se puede preveer el volumen de tráfico en las rutas alternas cuando una vía principal se cierra para reparaciones mayores, o la disminución en la carga vehicular al crear rutas de alivio.

4.8.5. CATASTRO

Una de las aplicaciones más importantes de los SIG ha sido en el registro de la propiedad, tanto en zonas urbanas como rurales. Siendo ésta una información que se emplea en diversos aspectos de la administración pública y en la planificación, comunmente diversos departamentos mantienen un grupo de personal trabajando en la actualización de sus propias bases de datos, lo cual no es un trabajo fácil debido a la constante subdivisión y traspaso de las propiedades.

Uno de los problemas en relación al registro de la propiedad es la necesidad de actualizar mapas, y la correspondiente proliferación de material impreso. Muchas veces, almacenado en condiciones inapropiadas, que causan el deterioro de los mapas, y de alguna manera desvalidan la información contenida en ellos. Pero, además de la información en mapas, el registro de la

propiedad se compone de importante información alfanumérica, como el nombre de los dueños de las parcelas, los costos de cada una, la fecha de registro, la presencia o carencia de servicios, la categoría de impuestos, información sobre instalaciones de importancia para el patrimonio cultural, etc.

Gracias al manejo de bases de datos, los SIG son la herramienta ideal para manejar estas aplicaciones. Generalmente los registros de propiedad de la tierra sirven de base a otras aplicaciones como planificación de muestreos de población, estudios de mercado y distribución de correo; a la vez que son un insumo importante en otros análisis relacionados con la planificación urbana, como determinación de rutas de transporte colectivo, inventarios de infraestructura de servicios públicos, vectores de crecimiento poblacional, etc.

CAPITULO V.

ESTUDIO DE LA RED DE REGISTRO DE DATOS CLIMATOLOGICOS EN EL SALVADOR Y PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO

5.1. ANTECEDENTES

5.1.1. HISTORIA DE LA FORMACION DEL SERVICIO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

En El Salvador, las primeras observaciones meteorológicas formales se efectuaron en 1889 por el Dr. Darío González, Director del Instituto de Segunda Enseñanza, ubicado en San Salvador. Luego, el 25 de octubre de 1890, un decreto gubernamental estableció la fundación del Observatorio Astronómico y Meteorológico, emitiéndose poco tiempo después la primera publicación de datos meteorológicos diarios, presentados en el Almanaque Salvadoreño.

En las primeras décadas de su existencia, dirigieron la institución científicos tales como los doctores Alberto Sánchez, Santiago Barberena y otros, quienes introdujeron avances en los sistemas de medición, análisis y publicación de datos de temperatura, viento, lluvia y otros parámetros.

En 1930 entró en operación en el Aeropuerto de Ilopango a cargo de la compañía aérea Pan American Airways (PANAM) una estación meteorológica aeronáutica con vientos de altura, y más tarde se estableció la cooperación de las compañías de Ferrocarriles Internacionales (FICA) y Ferrocarriles de El Salvador (FES), por medio de la cual se instalaron pluviómetros en cada una de las estaciones ferroviarias.

Con un crecimiento muy lento debido al poco apoyo gubernamental, en 1950 apenas se instalaron estaciones meteorológicas completas en Santa Ana y San Miguel; pero en el transcurso del decenio 1950 - 1960 se operó una reorganización y engrandecimiento del modesto Observatorio Astronómico y Meteorológico al incorporarse científicos que llegaron al país integrando la misión alemana del Año Geofísico Internacional. Por esos años, El Salvador se adhirió al Convenio de la Organización Meteorológica Mundial, de donde el Servicio Meteorológico ha recibido, por un pequeño aporte anual, una considerable ayuda en equipamiento científico, capacitación técnica, telecomunicaciones y normatividad apropiada para la observación meteorológica que se requiere en nuestro país.

En 1953, por la fusión del Departamento de Meteorología del Instituto Tropical de Investigaciones (ITIC), con el Departamento de Meteorología y Sismología del Observatorio Nacional, se creó el Servicio Meteorológico Nacional y se dio inicio a la organización de un moderno servicio técnico que dependía de la Oficialía Mayor del Ministerio de Defensa.

En el decenio 1960 - 1970, el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y los gobiernos centroamericanos unieron esfuerzos por medio del Proyecto Hidrometeorológico que sustentó la ampliación y modernización de las estaciones y redes de observaciones meteorológicas e hidrológicas.

En 1962 el Servicio de Meteorología pasó de su dependencia del Ministerio de Defensa a formar parte del Ministerio de Obras Públicas hasta 1964; y en enero de 1965 fue trasladado al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) como departamento de la Dirección General de Agricultura. Al crearse en diciembre de 1968 la Dirección General de Recursos Naturales Renovables, el Servicio Meteorológico entró a formar parte de ella hasta la actualidad.

En 1982, los Servicios Meteorológico e Hidrológico fueron integrados como un solo servicio, siguiendo la opinión científico-técnica, de que el agua en la atmósfera y en la superficie terrestre deben ser estudiadas de manera unificada. Consecuentemente, el Servicio continuó mejorando sus sistemas de medición e información, pero en los años 80's se vio afectado, como el resto de las instituciones científicas, por la situación difícil que atravesó el país. Sin embargo, al despuntar el decenio de los 90's se empezó a perfilar un proyecto regional financiado por los gobiernos centroamericanos y el gobierno finlandés. Este proyecto se está ejecutando desde 1991 y su propósito es rehabilitar y mejorar la capacidad de los servicios meteorológicos e hidrológicos del istmo. Gracias al respaldo de los ministerios de Agricultura y de Planificación, El Salvador desarrolla el proyecto con buenos resultados, entre los que sobresalen la rehabilitación de varias estaciones meteorológicas e hidrométricas en todo el territorio, adquisición de instrumental de medición, sistemas de cómputo meteorológico e hidrológico, entrenamiento de técnicos en el país y en el extranjero y redes de telecomunicación meteorológica nacional e internacional. [Refs. 9 y 31]

5.1.2. EL PAPEL DEL SERVICIO DENTRO DEL MARCO DE PLANIFICACION NACIONAL

El Servicio Meteorológico e Hidrológico actualmente se desempeña como el ente rector de la información meteorológica de El Salvador, teniendo bajo su cargo la función del mantenimiento de una red de estaciones distribuidas en todo el territorio nacional y la consolidación de los datos colectados.

Por definición del manual de organización de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables, la División de Meteorología e Hidrología tiene por objetivos obtener, generar y procesar información básica y procesada en materia de meteorología e hidrología y calidad del aire, agua y suelo y cubrir las demandas actuales y potenciales de información de los sectores económicos y productivos del país, así como contribuir a la evaluación de los recursos naturales, siendo sus funciones las siguientes:

- ▶ Ser el ente rector en materia de Meteorología e Hidrología a nivel nacional,
- ▶ Generar y divulgar información,
- ▶ Operar las redes Meteorológica e Hidrológica y de Calidad de agua, suelo y aire a nivel nacional,
- ▶ Brindar servicio de apoyo a la operación aeronáutica nacional e internacional,
- ▶ Alertar sobre la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos,
- ▶ Velar por el cumplimiento de leyes, reglamentos, convenios y disposiciones que rigen las actividades de Meteorología e Hidrología a nivel nacional e internacional,
- ▶ Efectuar evaluaciones en forma contnua del clima y caracterizar los recursos hídricos, sus procesos formativos y de cambio; y su aprovechamiento óptimo en la producción agropecuaria a fin de contribuir al desarrollo agrícola del país,
- ▶ Definir, priorizar y modernizar las líneas de investigación de elementos y factores de la contaminación del aire, agua y del suelo, para evaluar con precisión el deterioro del ambiente y sus tendencias,
- ▶ Promover el mejoramiento y ampliación de las redes básicas de observación Meteorológica e Hidrológica del país, a fin de asegurar la oportuna disponibilidad de información para la planificación y administración de los recursos naturales renovables.

[Ref. 19]

Los parámetros proporcionados por el análisis climático pueden emplearse en la estimación de disponibilidad de agua, producción agrícola, potencial erosivo de los suelos y en términos generales, toda una cantidad de factores que provocan alteración de los hábitats naturales. De esta manera, el Servicio Meteorológico presta asistencia en la realización de estudios sobre producción agrícola, recursos hídricos, manejo de cuencas y conservación del medio ambiente, guardando una estrecha relación con otras instituciones del estado, del sector privado y de la comunidad científica internacional.

Aparentemente, la División de Meteorología no cuenta con un apoyo adecuado a la importancia del dato meteorológico y climatológico en las tareas de planificación y administración de los recursos naturales. La utilidad de la información que la División produce es limitada, ya que las estaciones no son suficientes para la estimación de parámetros con un alto grado de confiabilidad.

Especialmente, respecto a la información sobre la lluvia -que es la más importante en la mayoría de las aplicaciones- los parámetros para estudios en sitios particulares son estimados basados más bien en la experiencia y el conocimiento empírico de la gente de la zona que en los datos tabulados en las publicaciones de la División debido a la poca confiabilidad estadística de las distribuciones que se pueden lograr con base en las estaciones más cercanas.

Por otro lado, el impulso reciente que se ha dado al manejo de los recursos naturales y la exigencia de sustentar los proyectos científicamente y con la mayor exactitud, hace necesario que la División sea modernizada, y se dé la importancia que merece a la información meteorológica e hidrológica para satisfacer el objetivo de una administración más eficiente de los mismos.

Actualmente, existe cooperación internacional para el fortalecimiento de los servicios meteorológicos e hidrológicos de la región centroamericana; principalmente a través del programa PRIMSCEN de la Agencia Finlandesa de Desarrollo Internacional.

5.2. ORGANIZACION DEL SERVICIO METEOROLOGICO

5.2.1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

[Ref. 18]

La División de Meteorología e Hidrología es una de las tres divisiones de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Como se mencionó anteriormente, sus funciones se definen en forma general en el Almanaque Salvadoreño, el cual es el principal producto del Servicio.

Anteriormente, se dividía en tres departamentos, que eran: Hidrología, Meteorología y Servicios Básicos. En la actualidad, en respuesta a la iniciativa de modernización planteada por el proyecto PRIMSCEN se ha reestructurado, incluyéndose las unidades correspondientes al Laboratorio del Ambiente y a la Contrapartida del Proyecto.

El Departamento de Hidrología cuenta con las unidades de Estadística e Hidrología, Estudios Hidrológicos e Hidrología; el Departamento de Servicios Básicos agrupa las unidades de Laboratorio Instrumental, Eléctrica y Electrónica y Mantenimiento y Obras Civiles; el Departamento de Meteorología se divide en Unidad Sinóptica y Aeronáutica, Documentación e Información, Agrometeorología e Unidad de Redes.

La gestión administrativa de la División de Meteorología e Hidrología se lleva a cabo por la Dirección General de Recursos Naturales Renovables, la cual cuenta con departamentos de Auditoría, Planificación, Jurídico, Administración y Comunicaciones; los cuales coordinan también la gestión administrativa del Servicio Forestal, del Servicio de Parques Nacionales y Vida Silvestre, del Centro de Desarrollo y Transferencia de Tecnología y el Servicio de Cuencas Hidrográficas. Esto significa que el financiamiento para las operaciones se obtiene a nivel de la Dirección General y se distribuye en cada una de las divisiones de acuerdo a los requerimientos de cada una y a las prioridades establecidas por la Dirección General de la siguiente manera: cada división presenta anualmente su presupuesto de operaciones y luego se organiza un consolidado que es presentado a nivel de Dirección General, teniendo esta la facultad de reasignar fondos bajo la aprobación de instancias superiores del estado.

5.2.2. RECURSOS HUMANOS

El personal calificado en el área de la Meteorología a nivel mundial se clasifica según el nivel de estudio en esta disciplina como Meteorólogo Clase I, II, III y IV, siendo ésta última a nivel técnico, y la Clase I altamente especializada. Para la obtención del título de Meteorólogo Clase IV se requiere cursar estudios básicos que incluyen conocimientos generales sobre Climatología y Sinóptica e Instrumentos de Medición (funcionamiento y cuidados especiales). En el país únicamente se ha realizado un curso a este nivel, siendo impulsado por la cooperación del proyecto de FINNIDA.

La institución cuenta con varios técnicos Clase IV, que han sido capacitados localmente, y se planifica la celebración de más cursos de capacitación a este nivel; éstos se encargan de darle mantenimiento al equipo, a realizar visitas de comprobación a las estaciones y otras tareas básicas. Recientemente se han incorporado seis personas luego de recibir un curso en Guatemala que los ha capacitado como Meteorólogos Clase III, las tareas que se asignan a los técnicos de este nivel consisten en la revisión de las libretas de campo, en el traslado de esta información al formato de registro de décadas y a la verificación de la consistencia de la misma, así como también proporcionar capacitación a los observadores de las estaciones ordinarias. Forman parte del personal también técnicos Clase II, quienes son especialistas en análisis y predicción meteorológica los cuales se encuentran ubicados en las estaciones sinópticas en los aeropuertos de Ilopango y Comalapa. Existe únicamente un Meteorólogo Clase I en la institución, el Lic. Leonardo Merlos, quien funge actualmente como Jefe de la División de Meteorología e Hidrología.

En el campo, se cuenta con observadores en cada una de las estaciones ordinarias, quienes únicamente realizan observaciones tres veces al día (a las 7, a las 14 y a las 21 horas); éstos generalmente no realizan estudios técnicos en meteorología, sino que únicamente reciben un entrenamiento práctico básico impartido por Meteorólogos Clase II. Los observadores en estaciones ordinarias únicamente realizan el trabajo en una forma mecánica, haciendo las lecturas en las horas indicadas y efectuando las anotaciones en las libretas de campo en la forma en que son instruidos. Estas personas son agricultores o residentes en zonas cercanas

a la estación que controlan. Reciben un pago mensual por llenar el registro y hacerlo llegar mensualmente a la oficina de la División, ya sea por correo, o personalmente.

El personal de planta de la División de Meteorología e Hidrología generalmente permanece en la institución por largos períodos de tiempo; más de 20 años en ocasiones. Sin embargo, recientemente ha habido una fuga de personal significativa, fomentada por la promulgación de un decreto referente al retiro voluntario de los empleados que tenía como intención reducir al mínimo necesario la cantidad de personal en el MAG; decreto por el cual, los empleados que se retiraban eran favorecidos financieramente con una liquidación correspondiente al pago de un mes de sueldo por cada año de trabajo en cualquiera de las dependencias del Ministerio. Obviamente, este decreto favorecía a la gente con mayor experiencia (la que tenía mayor cantidad de tiempo de servicio). El retiro provocó que se retirara personal muy valioso, con todo el caudal de conocimientos acumulado en muchos años de trabajo.

Con el recorte del personal, todas las dependencias del MAG se han visto en la necesidad de reasignar funciones dentro de su estructura, ya que la intención del decreto no era sustituir el personal en las plazas sino eliminar muchas de las existentes. La División de Meteorología e Hidrología se vio muy afectada por esta situación, debido a que la reasignación de tareas provocó una recarga de trabajo en el personal que permaneció en la institución, creando un cierto grado de insatisfacción y desagrado por el aumento de obligaciones sin un incremento adecuado en incentivos.

5.2.3. EQUIPAMIENTO PARA MEDICION Y ANALISIS

La División ha sido dotada de equipo principalmente gracias a donaciones de instituciones científicas y de cooperación internacional. Muchos de los instrumentos de medición con que cuenta ha estado en uso por varias décadas, y nunca ha existido un plan sistemático para el reemplazo de instrumentos defectuosos. el Departamento de Servicios Básicos tiene a su cargo el mantenimiento del instrumental, pero sólo es posible reponer algunas de las piezas. En su mayoría el instrumental posee piezas especiales que no se encuentran disponibles en el mercado local y no pueden conseguirse sino sólo a través de los fabricantes originales (casi

la totalidad del equipo es europeo); además de las reparaciones por piezas dañadas, constantemente los equipos deben calibrarse.

En el país existe una cámara de calibración fuera de servicio. Este equipo, en condiciones adecuadas, proporciona un ambiente controlado que permite calibrar con un alto grado de exactitud los otros instrumentos. A falta de éste, se hacen calibraciones aproximadas, utilizando otros equipos como parámetros de control; sin embargo este método no es lo más adecuado ya que a pesar del sumo cuidado con que se efectúa la calibración, siempre se introduce algún margen de error. Actualmente se piensa en enviar instrumentos para su calibración a Argentina, donde se conoce que existe una cámara en funcionamiento.

Recientemente, la División de Meteorología e Hidrología ha recibido equipo donado por el proyecto PRIMSCEN de FINNIDA, consistente en 10 pluviógrafos, en uno de los cuales se ha detectado errores. Además se ha dotado a la división con la primera estación automática limnigráfica (para la medición de caudales), y se piensa instalar una estación climatológica principal automática de carácter experimental. Aparentemente, el proyecto Protección del Medio Ambiente (PROMESA) también proporcionará al Servicio Meteorológico de equipamiento para establecer estaciones principales en el área del Bosque "El Imposible" a fin de obtener información específica sobre esa área.

En cuanto al equipo de análisis, el Servicio Meteorológico cuenta con cuatro computadoras personales muy modernas (486DX2 a 66 Mhz, con 16 MB en RAM y 800 MB en disco duro), y ha sido dotado por el proyecto de FINNIDA de programas para el almacenamiento y manejo de la información en forma automática. Este equipo aún no se opera a su potencial completo, ya que el personal apenas empieza a aprender el funcionamiento de los programas. A la fecha, la información sigue siendo procesada manualmente o con ayuda de herramientas de software básicas (hojas electrónicas y programas pequeños para tareas específicas).

A pesar del auge de las aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica en el país, no existen planes concretos para dotar a la División de software para análisis geográfico, ni de parte de la misma institución, ni por los programas de asistencia técnica, pero se están planificando capacitaciones por parte de FAO en el sistema Idrisi.

5.2.4. PROBLEMAS ACTUALES REFERENTES A LA ORGANIZACION

Basado en las charlas con el personal en diferentes unidades de la División y a distintos niveles, se han observado problemas o deficiencias que obstruyen el correcto funcionamiento organizativo de la misma.

Entre ellas, la más notoria es que el presupuesto asignado para equipamiento y mantenimiento no es suficiente. La Dirección General de Recursos Naturales Renovables recibió el año pasado una asignación de ¢ 29.5 millones, de los cuales se destinó aproximadamente ¢ 4.5 millones a la División de Meteorología e Hidrología, de esto, el 85% se invierte en pago de salarios, restando apenas un poco más de ¢ 0.6 millones para materiales y suministros (en esta categoría se incluye la adquisición de equipo nuevo y los gastos de mantenimiento de equipo, así como también combustible y papelería).

En resumen, es muy poco el dinero que queda disponible para el mantenimiento del instrumental. Por lo tanto, existen grandes problemas para reparar instrumentos dañados, ya que la mayor parte del instrumental es equipo de precisión para cuya reparación y calibración se incurre en gastos considerables.

Otro problema notorio es la deserción de personal altamente capacitado que se ha originado a causa de los decretos favoreciendo el retiro de los empleados públicos en el Ministerio de Agricultura. Se ha detectado que los incentivos salariales generalmente no son suficientes, razón por la cual la capacidad de retener al personal una vez que ha sido capacitado es muy baja.

Una alternativa en cuanto al financiamiento de la operación de la División ha sido planteada internamente, y consiste en la venta del dato climatológico a los usuarios, destinando el presupuesto estatal únicamente al pago de salarios. Se considera que esta alternativa es viable y resolvería simultáneamente los dos problemas más graves: solventar los costos de mantenimiento de la red con las retribuciones por el servicio prestado y evitar la deserción del personal calificado por medio de una mejor compensación por su trabajo. Falta por resolver el valor que se asignaría al dato, es decir, las tarifas que los usuarios deberían pagar por la

adquisición de la información; y por otro lado, se encuentra el establecimiento de un mecanismo administrativo de los fondos ingresados por servicio que sea acorde con el sistema contable y administrativo del aparato estatal.

En términos generales, el Servicio Meteorológico adolece de los problemas administrativos comunes a todas las entidades estatales, como son: una gran burocracia y poca flexibilidad en los trámites administrativos, dificultades para conseguir financiamiento para eventos no previstos en el presupuesto anual, limitada capacidad de motivación del personal y carencia de medios para autofinanciamiento; además hay que agregar que la gestión administrativa no es realizada por la propia entidad, sino a través de una Dirección General, que simultáneamente administra otras dependencias con similares problemas y con las que tiene que competir por la asignación de recursos. En este sentido, es necesario establecer la importancia de la información meteorológica para situar a la División de Hidrología y Meteorología en un nivel de prioridad adecuado con respecto a otras dependencias.

5.2.5. PLANES Y PROYECTOS DE MODERNIZACION EXISTENTES

Actualmente existe un proyecto importante, el proyecto PRIMSCEN (Proyecto para la Rehabilitación y Mejoramiento de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos del Istmo Centroamericano) el cual es un programa de cooperación técnica de la Agencia Finlandesa de Desarrollo Internacional (FINNIDA) que tiene por objeto fortalecer las instituciones de meteorología y climatología de los países centroamericanos.

Las dos agencias ejecutoras del proyecto son: La Organización Meteorológica Mundial, OMM y el Instituto Meteorológico Finlandés IMF. El Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Istmo Centroamericano CRRH actúa como contraparte regional del PRIMSCEN.

Como personal de campo, PRIMSCEN cuenta con un Asesor Técnico Principal, un Experto Asociado en Computación y un Experto Asociado en Hidrología en la sede en San José, Costa Rica; y con Consultores Externos altamente especializados.

El CRRH actúa como agencia de coordinación de las actividades regionales del PRIMSCEN. La naturaleza del CRRH es la de un organismo técnico intergubernamental de integración centroamericana, en los campos de la meteorología, la hidrología y los recursos hídricos. El CRRH se compone de una Presidencia, una Secretaría Ejecutiva, así como de Comités Nacionales de Contrapartida en cada país del Istmo, los cuales aglutinan aquellas instituciones que se desenvuelven en el quehacer hidrometeorológico y de los recursos hídricos.

El proyecto se inició en 1991 y durará 4 años. Sus objetivos son:

- ▶ Mejoramiento de las redes meteorológicas e hidrológicas. Esto incluye la instalación de instrumentos nuevos y la provisión de repuestos para rehabilitar los ya existentes.
- ▶ Mejoramiento del sistema de telecomunicaciones meteorológicas que sirve a la región. El PRIMSCEN se propone proveer un sistema moderno basado en comunicación satelital.
- ▶ Mejoramiento de los sistemas de manejo de datos. A cada país se le está proveyendo con un sistema moderno de computación, incluyendo hardware y software, lo que les permitirá producir información actualizada, confiable y rápida.
- ▶ Programas de educación y capacitación. Se formarán meteorólogos y técnicos para mejorar la calidad de los pronósticos y para el manejo y uso del equipo que el proyecto proveerá.
- ▶ Mejoramiento de los mecanismos de coordinación regional. El proyecto está fortaleciendo al CRRH para que sea capaz de continuar el trabajo que el PRIMSCEN está efectuando una vez que cese la asistencia financiera de FINNIDA.

El equipo de contrapartida al proyecto PRIMSCEN por parte del Gobierno de El Salvador tiene a la Dirección General de Recursos Naturales Renovables (DGRNR) como Unidad Ejecutora; designando a la División de Meteorología e Hidrología como Coordinadora del Proyecto y al Jefe de ésta como Director Nacional del proyecto.

Además existe un Comité Técnico, que es un órgano de consulta de la Dirección Nacional del Proyecto y está conformado por el Coordinador General del Proyecto, y los jefes de las unidades de Meteorología, Servicios Básicos y Laboratorio del Ambiente. Este comité tiene a

su cargo la asesoría técnica sobre ejecución de las metas y actividades del proyecto, así como contribuir a las acciones de fortalecimiento de los Servicios de Meteorología e Hidrología en función del desarrollo y conservación de los recursos naturales.

El proyecto basa su justificación económica y social en que el desarrollo económico y social que se espera en El Salvador depende básicamente en la cantidad, calidad y tendencias de recursos tales como el suelo, el agua, el bosque y el aire. Subraya que el manejo inapropiado de cualquiera de ellos afecta inevitablemente a los demás debido a sus múltiples interrelaciones; siendo inmediatos los resultados negativos para la población humana cuando una alteración se activa en la atmósfera. Los cambios atmosféricos generan variaciones meteorológicas detectables de día en día y variaciones climáticas que pueden progresar a lo largo de 5, 10 o más años.

Basado en lo anterior, el acuerdo indica que es necesario entender las modificaciones atmosféricas para estimar su impacto en otros recursos naturales, fundamento de políticas, planes o proyectos que contribuyan al desarrollo económico y social del país.

La contrapartida nacional al proyecto PRIMSCEN inició en 1992 con asignaciones de contrapartida nacional por ₡ 300,000 en ese año y de ₡ 500,000 en el siguiente. Hasta finales de 1993, por medio del proyecto se ha logrado rehabilitar las estaciones meteorológicas principales de Ilopango, en el Departamento de San Salvador y de Perquín, en Morazán. Además se ha construido una estación principal en San Miguel, Departamento de San Miguel y se han rehabilitado instalaciones en Los Naranjos, Sonsonate y en Nueva Concepción, Chalatenango. En lo referente a la red Hidrológica, se han construido dos estaciones nuevas, en el Río Grande de San Miguel en Usulután, y en el Río Jiboa en La Paz; y se han rehabilitado las estaciones del Río Paz, en Ahuachapán y el Río Desague de Ilopango, en Cuscatlán. En el área de capacitación se ha desarrollado un Curso para Meteorólogo Clase IV, un curso para Hidromensores, una Jornada sobre Meteorología y Transferencia de Tecnología, un seminario sobre Meteorología e Hidrología y un seminario sobre Generación y Aplicaciones de la Información Meteorológica.

En la capacitación de personal técnico, el proyecto ha adoptado la estrategia de realizar los cursos de Clase IV en el país (3 meses), para Clase III en Guatemala (5 meses) y para Clase II en Costa Rica (18 meses). Adicionalmente se aprovechan las condiciones locales y regionales para efectuar las prácticas de campo. Sólomente los cursos que no pueden desarrollarse en la región se llevan a cabo en otros países. [Ref. 26]

Adicionalmente, el proyecto de protección de medio ambiente más importante en el país, el proyecto PROMESA, que empieza a funcionar actualmente con fondos de AID, cuenta dentro de las unidades ejecutoras a toda la Dirección General de Recursos Naturales Renovables, y al parecer, está planeando dotar a la División de Meteorología e Hidrología de equipamiento, específicamente se conoce la posibilidad de que haga una donación de dos estaciones meteorológicas automáticas (a un costo aproximado de US\$20,000 cada una). De realizarse esta donación, será necesario mantener estas estaciones en un monitoreo muy estricto, debido a la falta de experiencia con este equipo en nuestro país (Actualmente, PROCAFE posee siete estaciones similares distribuidas en zonas cafetaleras, que han sido instaladas hace menos de tres meses). Por otro lado, será necesario capacitar técnicos para el manejo y mantenimiento de este tipo de equipo electrónico de alta tecnología (ver propuesta de capacitación más adelante).

5.3. DESCRIPCION DE LA RED HIDROMETEOROLOGICA

La evaluación de los cambios meteorológicos y climatológicos, así como la predicción científica de los mismos se genera exclusivamente partiendo de una red nacional de medición ininterrumpida de la lluvia, el viento, la temperatura, la radiación solar, la concentración de gases de invernadero en el aire, el causal fluvial, etc. Para el funcionamiento de la red se requiere:

- ▶ Sitios permanentes de medición con instrumental meteorológico e hidrológico.
- ▶ Personal entrenado en observación (in-situ), análisis de registros e investigación.
- ▶ Equipo y personal para procesamiento computarizado de datos.
- ▶ Sistema de telecomunicaciones para intercambio de datos meteorológicos e hidrológicos en tiempo real nacional e internacionalmente.

- ▶ Sistemas de información a los usuarios de los sectores agrícolas, la construcción, el transporte aéreo y marítimo, la salud pública y la conservación ecológica.

Se espera que con apoyo del proyecto PRIMSCEN se podrá mejorar la capacidad del Servicio Meteorológico Nacional y recuperar hasta un 60% de las redes de observación. Así mismo, establecer el servicio de información y asesoría técnica a los usuarios calificados del sector público y privado.

5.3.1. TIPOS DE ESTACIONES Y EQUIPAMIENTO

La red Nacional está compuesta por estaciones tipo A (Principales), tipo B (climatológicas ordinarias), pluviográficas, pluviométricas e hidrométricas. Las estaciones tipo A contienen todo el instrumental que mide precipitación, humedad, temperatura y radiación solar. Las de tipo B miden temperatura, humedad relativa, precipitación. Las estaciones pluviográficas registran la precipitación en forma continua, y las pluviométricas registran la cantidad de lluvia en períodos de 24 horas. Las estaciones hidrométricas se encuentran en ríos y miden el caudal en los mismos.

Las estaciones Climatológicas Principales o Tipo A, codificadas como CP3, cuentan con el siguiente instrumental: Termómetros de temperaturas extremas, Termómetro doble ventilado, Termógrafo, Higdrógrafo, Evaporímetro Piché, Tanque de Evaporación Clase A, Pluviómetro, Pluviógrafo, Anemómetro o Veleta, Anemógrafo, Geotermógrafo, Heliógrafo, Actinógrafo, Barómetro y Barógrafo. Al momento se dispone de 27 estaciones de este tipo.

Las estaciones Climatológicas Ordinarias o Tipo B, codificadas como CO3, están equipadas con Termómetros de temperaturas extremas, Termómetro Doble Ventilado, Evaporímetro Piché, Pluviómetro y Pluviógrafo. Actualmente funcionan 18 estaciones Climatológicas Ordinarias.

Las estaciones Pluviográficas cuentan con un Pluviómetro y con un Pluviógrafo; y las Pluviométricas, únicamente con Pluviómetro. Las estaciones hidrométricas poseen diferente instrumental, de acuerdo a la forma de medición más eficiente en el punto donde se ubican.

Aunque en 1970 se contaba con más de 250 estaciones pluviométricas, su número disminuyó notablemente a causa del abandono por la situación bélica de la década siguiente; ahora, la División se encuentra intentando rehabilitar el equipo y las estaciones, pero actualmente se cuenta únicamente con 141 estaciones en todo el país.

Las estaciones hidrométricas cuentan con una gran diversidad de aparatos, de acuerdo a la forma de medición más adecuada en el sitio, por ejemplo: miras hidrométricas, maxímetros, limnógrafos, molinetes hidrométricos, o bien pueden estar construidas secciones artificiales de control o instalaciones de cable y canastilla.

En las estaciones sinópticas, se ubican los mismos aparatos que en una estación Climatológica Principal (CP3), pero las lecturas se hacen cada 3 horas. Además cuentan con instrumental electrónico especial para telecomunicaciones, ya que se recibe y se envía información desde y hacia otros países. En algunos casos, la estación pertenece tanto a la red climatológica como a la sinóptica, y la lectura de los instrumentos se hace de acuerdo al carácter de cada función.

5.3.2. UBICACION DE ESTACIONES Y ESTACIONES SUSPENDIDAS

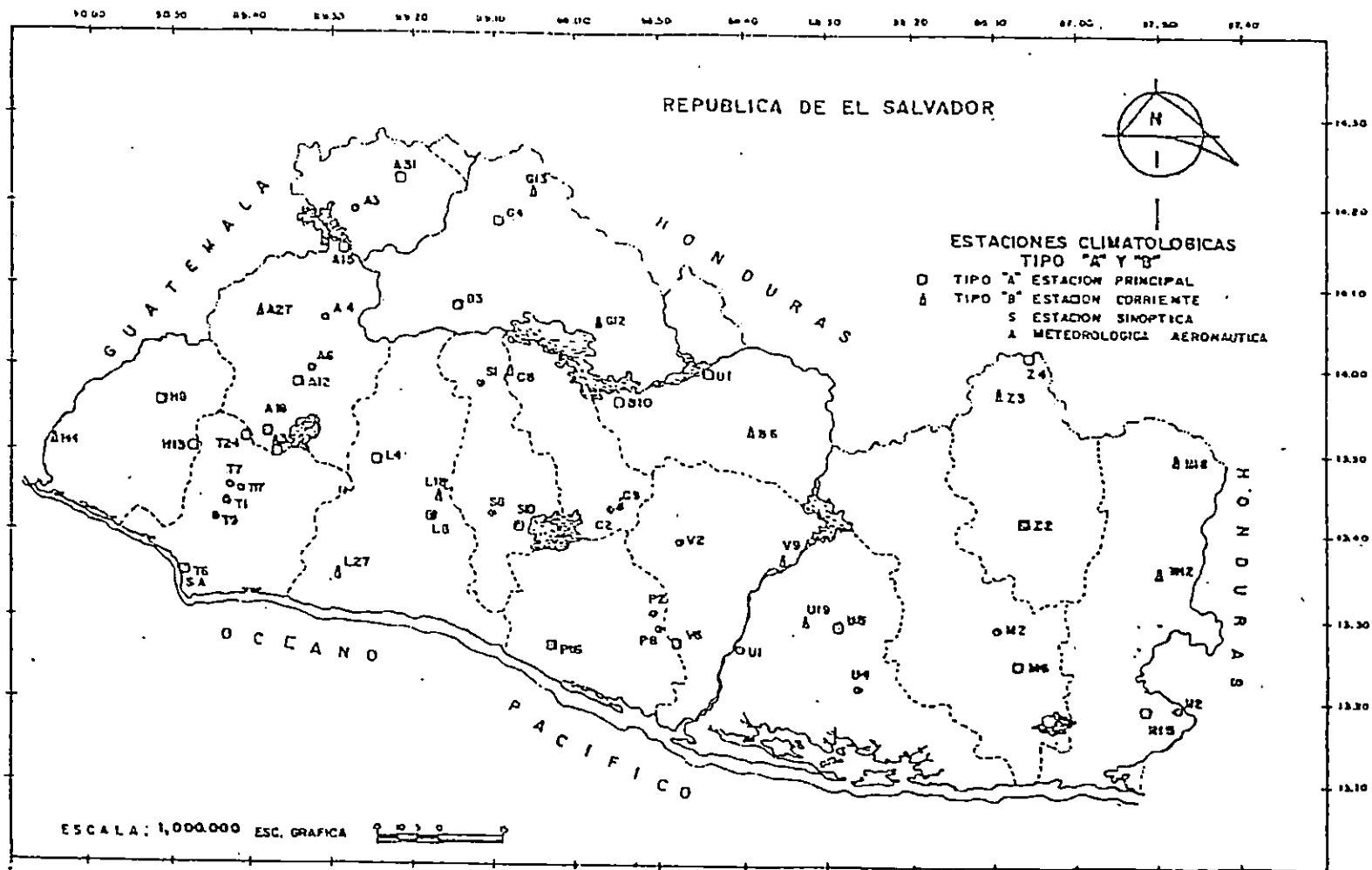
La distribución de estaciones en los diferentes departamentos, de acuerdo a listados recogidos en la División es como sigue:

Departamento	CP3	CO3	SN	PPg	P	Susp.
Santa Ana	5	2	1	2	20	2(P)
Ahuachapán	2	1			15	2(P), 1(CO3)
Sonsonate	3		1		16	2(P), 1(CP3)
La Libertad	2	4		3	28	3(P), 1(PPg)
San Salvador	3		1	1	19	2(P)

Departamento	CP3	CO3	SN	PPg	P	Susp.
La Paz	1		1		10	1(P)
Cuscatlán		2			7	1(P)
Chalatenango	2	2			11	8(P)
Cabañas	2	1			6	2(P)
San Vicente	2	1			9	5(P), 1(CP3)
Usulután	2	2			15	5(P)
San Miguel	3		1	1	12	4(P), 1(CP3)
Morazán	2	2			10	8(P)
La Unión	1	3		1	11	3(P), 1(CO3)

A continuación, en la figura 33, se muestra un mapa de ubicación de las estaciones, actualizado a Enero de 1992.

Figura 33. Estaciones Climatológicas Tipo "A" y "B"



5.3.3. PROBLEMAS REFERENTES A LA OPERACION DE LA RED

1) La Red Meteorológica de El Salvador posee insuficientes estaciones. De acuerdo a la normativa de la OMM, debería establecerse estaciones dentro de un radio de 10 Km o menos, dependiendo de la geografía de la zona, lo cual implicaría un mínimo de alrededor de 70 estaciones (climatológicas principales y ordinarias) para darle cobertura al país en las condiciones topográficas más favorables. La red nacional posee apenas 45 estaciones en operación (27 principales y 18 ordinarias). Debido al conflicto bélico de la década pasada, se ha perdido aproximadamente un 35% de la capacidad instalada antes de 1980. El presupuesto para instalación de estaciones nuevas no permite solventar esta dificultad a corto plazo.

2) Existen lugares que representan problemas de accesibilidad, por ejemplo zonas despobladas, donde no es posible situar un observador regular. Este problema se pretende salvar utilizando estaciones automáticas, aunque siempre se recomienda colocar una estación tradicional que sea visitada únicamente para fines de contrastación.

3) Se requiere la reparación de la Cámara de Calibración que ya posee la institución, ya que de lo contrario, será necesario seguir haciendo las calibraciones con métodos menos precisos, o incurrir en gastos adicionales recurrentes para enviar el equipo a calibrar en Argentina o en algún otro país. La cámara de calibración se dañó en 1976 y en los presupuestos operativos desde entonces no se ha incluido el financiamiento de su reparación o sustitución.

4) Se ha comprobado en repetidas ocasiones que los observadores no ejecutan la toma del dato, sino que inventan los datos para llenar las libretas de registro. Esta actitud debe tratar de modificarse, posiblemente a través de un mayor énfasis en la importancia de la información climatológica en las diversas actividades productivas de gran alcance durante la ejecución de la capacitación del observador. Por otro lado debería existir una supervisión más estricta de los observadores, por medio de un plan de monitoreo de las estaciones, pero para esto se requiere presupuestar tiempo de los técnicos, transporte y viáticos; esto requeriría de la contratación de personal adicional.

5.3.4. COMENTARIOS AL MANUAL DE INSTRUCCIONES

Como herramienta de capacitación de los observadores, la División cuenta con un manual denominado "Manual de Instrucciones para la Operación y Mantenimiento en las Estaciones climatológicas Principales y Ordinarias".

El manual está dedicado a los observadores climatológicos del servicio metereológico y a toda persona deseosa de conocer los procedimientos relativos a las labores propias de observación y mantenimiento en las estaciones climatológicas. Describe la fundación del Observatorio Nacional Metereológico y Astronómico, el Servicio Metereológico en El Salvador y la primera edición del manual. Además describe los atributos de un buen observador (honestidad, responsabilidad, constancia, puntualidad, exactitud y limpieza).

Respecto a la selección del asentamiento de una nueva estación realza que el sitio se elige de acuerdo a normas internacionales (establecidas por la Organización Metereológica Mundial OMM). Se describen normas que debe cumplir la parcela o jardín metereológico, para la protección de los instrumentos y la captación real del fenómeno metereológico en el instrumento. Además se mencionan los dos tipos de estaciones climatológicas, (Principales CP3 y Ordinarias CO3) y la diferencia entre ambos tipos.

En cuanto a la observación metereológica se define ésta y se mencionan las dos formas de obtener el dato, las cuales son: Observación instrumental y Observación Sensorial. Se detallan las horas en que se harán las observaciones en las Estaciones Climatológicas Principales (CP) y Ordinarias (CO3) y se hace saber que el observador deberá estar pendiente de lo que ocurre en su estación en los períodos entre dos observaciones consecutivas, indicando que éstas se anotan como fenómenos especiales en el Diario Climatológico.

En la sección sobre "Indicaciones Generales a Considerarse en la Ejecución de Observaciones" se mencionan algunos pasos importantes que deben seguirse en la anotación correspondiente en el Diario Climatológico y en las fajas de los aparatos registradores. Se mencionan las

diferencias entre la observación de las 07:00 horas correspondiente a los días de martes a domingo de la del día lunes también se detallan las operaciones de mantenimiento que el observador deberá tener siempre presente. Luego se presentan las instrucciones para la medición instrumental de los diferentes parámetros meteorológicos, describiendo las características físicas de la instalación.

Luego se describe el instrumental y su funcionamiento y los cuidados especiales que deben tenerse con cada uno. Finalmente, el manual presenta las figuras de cada instrumentos.

El manual está muy bien estructurado, y ha sido escrito con un lenguaje sencillo para que sea de fácil comprensión. Obviamente, no puede evitarse la presencia de lenguaje técnico especializado, pero cada uno de los términos técnicos es explicado de manera que sea accesible a personas que no han tenido preparación previa en meteorología. Este manual es proporcionado a los observadores durante la capacitación correspondiente, y se encuentra disponible para consulta en la biblioteca del CENREN.

5.4. RECOLECCION, PROCESAMIENTO Y DIFUSION DEL DATO CLIMATOLOGICO

La División de Meteorología e Hidrología ha establecido procedimientos para el manejo de la información meteorológica, de acuerdo a la normativa de la OMM, adaptados a la situación particular de nuestro país. Para procesos como la toma de datos y la creación del registro final (las "décadas") existen manuales que han sido creados por el personal técnico de la División en base a la experiencia de muchos años de trabajo en la institución. Llama la atención que hasta 1993 no se encontraran unificados los criterios sobre la elaboración de los documentos informativos, como los Resúmenes Climatológicos Mensuales y de la información auxiliar para los mismos. En junio de 1993, debido a las discrepancias observadas, se publicó y se hizo circular internamente una guía denominada "Manual de procedimientos para la elaboración de Décadas como base de los Resúmenes Climatológicos Mensuales" por iniciativa personal del Sr. Rogelio Aguirre, jefe de la Unidad de Redes y Servicios Básicos. Es de suponer que los

lineamientos establecidos en esta guía son conocidos y respetados en el procesamiento de los datos a partir de la fecha mencionada. Sin embargo, es interesante que el documento no surja como una herramienta propuesta por la institución, sino de la inquietud personal de uno de los miembros.

El procesamiento de datos se hace manualmente, a pesar de que la división ha sido dotada con computadoras poderosas, y con un programa específicamente diseñado para validar y almacenar la información climatológica.

El control de calidad de la información inicial sigue siendo realizado por un técnico, en base a la experiencia y el conocimiento recogido en muchos años de trabajo. Obviamente, estas cualidades humanas no pueden ser fácilmente reemplazadas por una serie de instrucciones en un programa de computadora; sin embargo, en la gran mayoría de los casos de discrepancias o inconsistencias en la información se siguen procedimientos bien definidos, tanto para el ajuste de los datos como para el relleno de la información; siendo sólo un pequeño porcentaje el de los casos en que es requerido un conocimiento más amplio.

Posteriormente al control de calidad se ejecuta la transcripción de los datos a los formatos de las décadas. Siendo éste otro paso que podría beneficiarse ampliamente de la tecnología. El control de calidad y la transcripción de los datos deberían integrarse en una sola operación, ya que por el momento se realizan operaciones que ya están implementadas en el programa de climatología que la división maneja. El nivel de implementación de éste programa es mínimo debido a problemas de diversa índole, principalmente:

- a) Fallas en el equipo. El equipo instalado no ha sido debidamente protegido contra variaciones en el fluido eléctrico, razón por la cual muchas veces un fallo de energía provoca que los archivos de datos se corrompan al grado de requerir que se ingrese nuevamente gran cantidad de la información. Una de las computadoras recibió serios daños por causas similares, perdiéndose mucho del trabajo almacenado en ella.

- b) Falta de adiestramiento en la operación del programa. El personal de la unidad de informática ha sido capacitado, y se mantiene en una supervisión periódica por un experto finlandés en informática, sin embargo, la complejidad de los procesos que realiza el programa no permite que hasta la fecha se considere que es dominado en un 100%. Por lo tanto, mucho del trabajo que puede realizarse a través del programa está siendo actualmente ejecutado por los métodos tradicionales.
- c) Resistencia natural al cambio hacia procesamiento automatizado. Generalmente las personas tienden a desconfiar de los resultados obtenidos a través de los programas cuando empiezan a familiarizarse con ellos, llegando en la mayoría de las ocasiones a duplicar manualmente los procesos para verificar los datos que proporciona el programa.

5.4.1. SUPERVISION DE LA RECOLECCION DEL DATO

Actualmente existe solamente un inspector de campo, quien visita cada estación trimestralmente para entregar los materiales de consumo, realizar la limpieza de las instalaciones y verificar el buen estado de los instrumentos.

Esta actividad constituye la fase en la cual descansa el establecimiento de la red de estaciones, el mantenimiento preventivo y correctivo de su infraestructura como del equipo y su instrumental. el refrescamiento de conocimiento sobre instrumentos meteorológicos y métodos de observación a los observadores conforma otra de las obligaciones del Inspector Meteorológico.

En la inspección, se debe disponer de los siguientes elementos:

- Material de apoyo: manuales, reglamentos y folletos técnicos, mapas, tarjetas de estaciones, etc.
- Caja conteniendo herramientas adecuadas, pinceles, alcohol, franela, laminillas, plumillas y tinta para aparatos registradores, etc.
- Psicrómetro tipo Assmann portable.

- Material de reemplazo: fajas diarias y semanales, diarios sinópticos y climatológicos, formularios para lectura de comparación, otros formularios, etc.
- Otros accesorios a utilizarse: lazos, machete, cuma, lámpara, etc.

Las funciones que cumple además el inspector de campo son las siguientes:

- ▶ Buscar y seleccionar sitios adecuados para proyectos de instalación de estaciones nuevas, reinstalaciones y traslado de las estaciones ya establecidas.
- ▶ Instruir a los observadores sobre prácticas de observación, lectura y manejo de instrumentos en las estaciones nuevas; con fines de refrescamiento ampliar esta actividad a las estaciones antiguas.
- ▶ En el caso de instalación de estaciones nuevas y traslado de estaciones, llenar con el mayor detalle la tarjeta de estación correspondiente.
- ▶ Hacer lecturas de comparación en el caso de cambio de termómetro seco, termómetro húmedo, termógrafo, higrógrafo, termómetros extremos, etc.
- ▶ Verificación de la puntualidad en la realización de las observaciones a las horas establecidas.
- ▶ Efectuar limpieza y reparaciones pequeñas de instrumental, calibración de pluviógrafos.
- ▶ Después de cada visita de inspección, elaborar el reporte escrito detallado sobre el estado y requerimientos de la estación que se visitó (cambio de instrumentos, limpieza del abrigo y parcela, utilería, calidad operativa del observador, etc.), proyectando nuevas visitas a las estaciones que lo ameriten en base a sus necesidades.

[Ref. 1]

5.4.2. MANEJO DE LA INFORMACION RECOLECTADA

El registro de la información básica se hace en el campo, trasladando las mediciones del observador a libretas de campo con formatos específicos para tal fin. De acuerdo al tipo de estación, las observaciones se realizan con diferente frecuencia, así:

En las Estaciones Principales se realizan observaciones climatológicas tres veces al día y sinópticas a cada hora.

En Estaciones Ordinarias se registra temperatura, presión y viento principalmente tres veces al día (a las 7, 14 y 21 horas).

Las lecturas de las Estaciones Pluviométricas se toman sólo una vez al día.

En las estaciones principales se tiene personal que trabaja para el Instituto en forma permanente, son observadores experimentados y en algunos de los casos poseen formación como Meteorólogos Clase IV. Por otro lado, en las estaciones ordinarias, los observadores reciben un entrenamiento básico para esa tarea.

De esta manera, cualquiera que sea la naturaleza de la estación, los datos se registran diariamente y se recopilan en las libretas de campo. Mensualmente se hacen llegar a la oficina de la División de Meteorología e Hidrología en el CENREN, ya sea enviándolas por correo o llevándolas personalmente el día de pago.

Los datos que se recopilan y se empiezan a procesar en el Instituto son supervisados antes de mecanizarlos e incorporarlos a los archivos. De esta manera, los supervisores pueden detectar las mediciones evidentemente defectuosas o irreales. Por ejemplo, es posible saber si el aparato medidor está funcionando mal, o si los datos son inconsecuentes (cuando son inventados).

Existe un formulario especial denominado "Década" en el cual se registra toda la información de las libretas de campo. Aunque el formato da cabida para la incorporación de todas las variables registradas en una estación Climatológica Principal, sólo se anotan las que son registradas en cada estación. La década contiene la información diaria de todo un mes para cada estación. Las décadas constituyen la base primordial para la elaboración de los resúmenes climáticos mensuales.

Los resúmenes climáticos mensuales a su vez constituyen la síntesis de la información diaria del mes a nivel nacional, por lo cual la información básica debe verificarse con mucho cuidado, la comprobación de la calidad y veracidad del dato se hace basado en la experiencia y conocimiento del meteorólogo que hace la revisión.

Si se detectan faltantes en las series individuales, el revisador hace un relleno de datos por medio de métodos estadísticos. Si se detectan inconsistencias en el registro, se hace observaciones al empleado de campo y se lleva a cabo una inspección al instrumental de la estación.

Luego, para llenar las décadas se toman las libretas de campo y las fajas de aparatos registradores y se transcriben los datos al formato en las columnas correspondientes (una copia de las décadas es enviada a la OMM, como un mecanismo de control que sigue la Vigilancia Meteorológica Mundial). Finalmente, las fichas de diversos colores (para identificar los diferentes tipos de registro) son almacenadas sistemáticamente en la sección de Archivo de la División. De la sección de archivo se toman las tarjetas para introducirlas a la computadora y luego son regresadas al archivo físico. Cuando se necesita realizar algún procedimiento para satisfacer consultas de usuarios, generalmente se acude a los resúmenes presentados en los almanaques u otros documentos de resumen publicado para su uso interno. Raras veces se accesa las tarjetas en la sección de Archivo, y sólo una pequeña proporción de las consultas son atendidas utilizando los recursos computacionales.

5.5. ACTIVIDADES REQUERIDAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA RED

5.5.1. CAPACITACION

La capacitación del personal de campo no recibe una asignación financiera especial, ya que se entrena individualmente al personal contratado para el registro de los datos en las estaciones, este adiestramiento es realizado por los mismos técnicos de la unidad de redes,

cuando se instala una nueva estación. Únicamente se pretende lograr con este entrenamiento un conocimiento mecánico del instrumental, los cuidados que deben tenerse en su manejo y la capacidad para hacer las lecturas correctamente. Los observadores no tienen bases teóricas sobre los fenómenos que registran los aparatos, sin embargo una mayor capacitación técnica al personal en este nivel no generaría beneficios adicionales para la modernización de las redes meteorológicas e hidrológicas. Sin embargo se debe reforzar la idea de que las mediciones deben ser veraces, ya que se ha detectado que en algunos casos, los datos son inventados por el observador.

En cuanto al personal de planta de la División, es necesario mantener un programa de capacitación y actualización constante, viéndolo como una estrategia motivacional a la vez que una forma de incrementar el potencial y la eficacia del elemento humano que conforma la institución. En este sentido, como se ha mencionado anteriormente, se están realizando cursos para la obtención del título de Meteorólogo Clase IV en el país, financiados por FINNIDA, y además se proporcionan facilidades para capacitación en el extranjero. Hay que resaltar que, a la par de un plan de capacitación permanente, debe impulsarse el desarrollo de un sistema de incentivos monetarios para lograr retener al personal una vez capacitado.

Se sugiere, además, que se realicen capacitaciones dirigidas hacia otras instituciones públicas y privadas relacionadas con la utilización de la información meteorológica e hidrológica y potenciales usuarios con un doble objetivo: difundir el trabajo de la División y fomentar la utilización de la información generada. Esto haría que se dé mayor relevancia al Servicio e impulsaría su desarrollo dentro del contexto nacional. Aunque inicialmente, cursos de esta naturaleza deberían ser financiados por el Servicio Meteorológico, por medio de este trabajo de promoción se podría conseguir donaciones de empresas privadas y apoyo para la gestión de fondos del estado para mejorar la red de registro y análisis de la información Meteorológica e Hidrológica.

En el rubro de capacitación deben incluirse los siguientes tópicos:

- ▶ Capacitación en Mantenimiento y Reparación de Estaciones Automáticas para 2 técnicos, para permitir un uso y mantenimiento adecuado de una red automática que podría en el futuro sustituir o ampliar la red existente, en base a la experiencia obtenida con las estaciones que donará PROMESA. Esta debe realizarse en el extranjero, con el proveedor del instrumental, y la duración será de un mínimo de 6 meses. Esta capacitación podría conseguirse como una donación del fabricante, ya que usualmente se encuentran dispuestos a prestar asistencia a países en vías de desarrollo. Sin embargo, deberá costearse el pasaje y los costos de mantenimiento de los técnicos. El costo del pasaje es de alrededor de US\$ 3,000 (a Europa) por persona y la manutención de cada uno asciende a unos US\$ 1,200 mensuales (US\$ 40 diario). Así, el costo de esta capacitación asciende a US\$ 20,400, equivalente a ¢ 177,480.
- ▶ Capacitación en Manejo de Computadoras al personal técnico involucrado en el manejo del dato en oficina. Estos cursos pueden ser impartidos utilizando los mismos recursos de la División, tanto equipo, como capacitadores, por lo tanto no se incurre en costos adicionales por la realización de los mismos. En alguna medida esta política se ha estado desarrollando desde hace algún tiempo pero no ha sido sistematizada.
- ▶ Se debe dar continuidad a los cursos de Meteorólogo Clase IV, tal como se ha hecho hasta el momento. Ya que los mismos están siendo actualmente realizados, ya existe una disponibilidad de recursos (aunque no son recursos del estado, sino del programa FINNIDA).
- ▶ Cursos en aplicación de Sistemas de Información Geográfica al manejo de los recursos naturales y al monitoreo del cambio climático. Estos, preferentemente deberían ser impartidos en el país, contratando a un especialista latinoamericano en Sistemas de Información Geográfica. En Brasil, Chile, Venezuela y México hay considerable experiencia en manejo de tales sistemas. Por lo tanto, se podría contratar un consultor

por 2 meses para capacitar al equipo de trabajo de la División y de las instituciones relacionadas, a la vez que participa en la mecanización del sistema propuesto. Los honorarios del consultor son alrededor de US\$ 8,000 mensuales. Por lo que el costo global será US\$ 16,000, equivalente a ¢ 139,200.

5.5.2. MONITOREO DE LAS ESTACIONES

La supervisión que se realiza en este momento es insuficiente. Sin embargo, una sola persona no puede dar mayor cubrimiento a la totalidad de la red. Se debería contratar al menos dos inspectores más y hacer una planificación de las rutas, de manera que cada uno de ellos de cobertura a un cierto número de estaciones; la distribución de estaciones por inspector debe hacerse considerando las distancias de los recorridos y la accesibilidad de las estaciones. La planificación detallada de cada una de las rutas se hará utilizando los mapas de red vial en combinación con la ubicación de las estaciones. Por lo tanto, aquí se presentan únicamente costos estimados gruesos, para dar una idea de la inversión requerida. Sólomente se consideran los costos adicionales por la incorporación de otros dos inspectores de campo.

Adquisición de vehículos

Se sugiere adquirir dos motocicletas 125cc, para carreteras y caminos en mal estado. El costo aproximado de las mismas es de ¢ 20,000 cada una, haciendo un total de ¢ 40,000. Se debe estimar la vida útil de las mismas en un máximo de 5 años (60 meses), estimando por lo tanto una depreciación mensual de ¢ 1,000.

Costos Mensuales

Sueldos	6,000.00
Considerando un sueldo de ¢ 3,000, para 2 inspectores de campo adicionales.	
Viáticos	1,200.00
¢ 40.00 diarios por persona, considerando un promedio de 15 salidas mensuales.	
Gasolina	1,170.00
3 galones por salida, a ¢13.00 el galón, para un recorrido aproximado de 200 Km.	
Mantenimiento y lubricantes	400.00
¢ 200.00 por cada unidad	
Depreciación	1,000.00
Detallado anteriormente	
Materiales y suministros	5,000.00
Para reposición en las estaciones	
<hr/>	
Total mensual	¢ 14,770.00
Total anual	¢ 177,240.00
Adquisición de vehículos	¢ 40,000.00
A reponer en 5 años.	

5.5.3. RECUPERACION DE ESTACIONES Y AMPLIACION DE LA RED

De acuerdo a las pláticas con el personal del departamento de Redes, para conseguir una cobertura adecuada a las normas de la OMM, solamente se necesitan 10 estaciones Principales más. El costo de la obra física (construcción de caseta e instalación de los

instrumentos, considerando salarios, viáticos, transporte y materiales anda alrededor de los ¢ 100,000 para una estación climatológica Principal CP3. Sin embargo, existen instalaciones suspendidas que pueden ser rehabilitadas a una fracción del costo de la instalación de una estación nueva. Considerando que en promedio, el costo de rehabilitación de las estaciones asciende a un 60% del costo de instalación, se tiene que se requerirían ¢ 60,000 para reparar las instalaciones requeridas para una estación principal.

Se detalla a continuación el equipamiento de cada estación Climatológica, así como también el costo de cada instrumento:

<u>Estación Climatológica Principal (CP3 o Tipo A)</u>	<u>Costo US\$</u>
Termómetro de temperaturas extremas (2 de mínimas y 2 de máximas)	440
Termómetro doble ventilado	100
Termógrafo bimetalico	700
Higrógrafo	700
Tanque de evaporación clase A	1,000
Pluviómetro	300
Pluviógrafo tipo Hellman	1,400
Anemocinemógrafo	10,000
Geotermómetros (4 juegos)	3,200
Heliógrafo Campbell Stokes	1,000
Otros equipos menores y suministros	1,500

Total	US\$ 20,340
A ¢ 8.70 por US\$1 aproximadamente	¢177,000

<u>Estación Climatológica Ordinaria (CO3 o Tipo B)</u>	<u>Costo US\$</u>
Termómetro de temperaturas extremas (2 de mínimas y 2 de máximas)	440
Termómetro doble ventilado	100
Pluviómetro	300
Pluviógrafo tipo Hellman	1,400

Total

A ¢ 8.70 por US\$1 aproximadamente

<u>Estación Pluviográfica</u>	<u>Costo US\$</u>
Pluviómetro	300
Pluviógrafo tipo Hellman	1,400

Total

A ¢ 8.70 por US\$1 aproximadamente

<u>Estación Pluvióométrica</u>	<u>Costo US\$</u>
Pluviómetro	300

A ¢ 8.70 por US\$1 aproximadamente

Con el equipamiento que se tenga en una estación principal suspendida, solamente bastaría ocupar una porción del costo de una estación nueva de este tipo; mucho del instrumental no es recuperable una vez que se ha deteriorado, o ha pasado sin mantenimiento por periodos demasiado largos. Consideramos que se invertiría alrededor de un 80% del valor del equipamiento con instrumentos nuevos. De esta manera, para las estaciones principales que se rehabiliten, el equipamiento tendría un costo aproximado de US\$ 17,000 (¢ 147,900). El costo de rehabilitación de las estaciones pluvióométricas es muy bajo, por lo que no se considera.

Por otro lado, las estaciones automáticas tienen un costo aproximado de US\$ 15,000 dólares, equivalentes a ₡ 130,500, (incluyendo instalación) con la capacidad instalada para medir todas las variables en una estación principal.

El pago de salarios para los observadores es de ₡ 1,850 mensuales. Cada estación nueva o rehabilitada a excepción de las automáticas que no requieren operadores y de las estaciones pluviométricas y pluviográficas que usualmente funcionan con observadores ad-honorem.

En resumen, los costos unitarios en colones para los distintos aspectos de la ampliación de la red son:

Salario anual de observadores	₡ 22,200
₡ 1,850 mensuales x 12 meses	
Obra física y equipamiento de estación principal nueva	277,000
₡ 177,000 costo de equipo +	
₡ 100,000 obra física para instalación	
Obra física y equipamiento para rehabilitar estación principal	201,600
₡ 177,000 * 80% rehabilitación y adquisición de equipo	
₡ 100,000 * 60% reparación de obra física existente	
Adquisición e instalación de estación automática	130,500
Obra física y equipamiento de estación ordinaria nueva	59,500
₡ 19,500 costo de equipo	
₡ 40,000 obra física (40% del corresp. a una estación principal)	
Obra física y equipamiento para rehabilitar estación ordinaria	39,600
₡ 19,500 * 80% rehabilitación y adquisición de equipo	
₡ 40,000 * 60% reparación de obra física existente	
Equipamiento de estaciones pluviográficas	14,800
Equipamiento de estaciones pluviométricas	2,600

5.6. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO

Se han analizado tres alternativas y para cada una de ellas se incluye el costo de capacitación y de equipo para la implementación del SIG, los cuales se detallan en el capítulo VI como componente de automatización, y estos costos son comunes para todas las alternativas; por lo tanto no se muestran en esta parte, sino hasta la correspondiente consolidación en el capítulo siguiente.

Todas las propuestas incluyen el costo de la implementación del plan de monitoreo, ya que este es un componente fundamental para mejorar la calidad de la información climatológica.

Las diferentes alternativas indican las posibles combinaciones de estaciones reactivadas y/o instaladas por primera vez, de manera que se logre un cubrimiento adecuado del territorio nacional. No se indican las ubicaciones para cada estación, aunque un procedimiento para la ubicación preliminar sería trazar sobre el mapa del país los puntos correspondientes a las estaciones existentes y su radio de representatividad. Esto mostraría los sitios que no son cubiertos por ninguna de las estaciones más cercanas. Sin embargo la ubicación definitiva se debería hacer por medio del conocimiento de las condiciones particulares de los sitios seleccionados. A continuación se presentan las alternativas propuestas.

5.6.1. ALTERNATIVA 1

Se propone rehabilitar 2 estaciones ordinarias, 3 principales y 25 pluviométricas, también se instalarían 5 estaciones principales nuevas, y 2 estaciones automáticas. En este caso será necesario hacer la inversión correspondiente a la capacitación en Mantenimiento y Reparación de Estaciones Automáticas. Se supone que el proyecto PROMESA, dotará a la División de Meteorología e Hidrología con 2 estaciones automáticas en el área de el bosque El Imposible, en Ahuachapán. En este caso, estas serían las primeras estaciones de este tipo que se manejarían por la División en el país. Debe considerarse que con esta donación, el costo global de la alternativa 1 se reduciría en ¢ 260,000. Esta alternativa es la que proporciona la máxima

cobertura, ya que en total se estarían reinstalando 10 estaciones principales (5 de las cuales se ubicarían en las zonas cercanas a la frontera con Honduras), 2 ordinarias, además de las 25 estaciones pluviométricas consideradas en todas las alternativas de propuesta. El costo de esta alternativa de ampliación de la red es de ₡3,011,720, según se indica a continuación.

Rubro	Costo Unitario	Cantidad	Total
Estaciones Principales Nuevas	277,000	5	1,385,000
Estaciones Principales Rehab.	201,600	3	604,800
Estaciones Automáticas	130,500	2	261,000
Estaciones Ordinarias Rehab.	39,600	2	79,200
Estaciones Pluviométricas	2,600	25	65,000
Plan de Monitoreo	217,240		217,240
Entrenamiento en manejo de Estaciones Automáticas	177,480		177,480
Salario de Observadores	22,200	10	222,000
Total			3,011,720

5.6.2. ALTERNATIVA 2

La propuesta consiste en rehabilitar 2 estaciones ordinarias, 3 principales, 1 pluviográfica y 25 pluviométricas y a la vez, montar 5 estaciones principales nuevas. En este caso se propone rehabilitar las 3 estaciones principales que se encuentran suspendidas a la fecha, además de distribuir 5 estaciones más en la zona nor-oriental del país. En este caso, no se emplean estaciones automáticas. Esta alternativa tiene un costo de ₡ 2,588,040 según el detalle siguiente.

Rubro	Costo Unitario	Cantidad	Total
Estaciones Principales Nuevas	277,000	5	1,385,000
Estaciones Principales Rehab.	201,600	3	604,800
Estaciones Ordinarias Rehab.	39,600	2	79,200
Estaciones Pluviograficas	14,800	1	14,800
Estaciones Pluviométricas	2,600	25	65,000
Plan de Monitoreo	217,240		217,240
Salario de Observadores	22,200	10	222,000
Total			2,588,040

5.6.3. ALTERNATIVA 3

Consiste en rehabilitar 3 estaciones principales, 25 pluviométricas e instalar 5 estaciones principales nuevas. Con esta alternativa se consigue una cobertura menor, pero se alcanzaría a cumplir la norma relativa a la densidad de estaciones por unidad de superficie. Tampoco en esta propuesta se considera adquisición y operación de estaciones automáticas. Las 5 estaciones principales a crear se deberán ubicar en la zona nor-oriental del país al igual que en las alternativas anteriores. El costo de esta alternativa asciende a ¢ 2,449,640

Rubro	Costo Unitario	Cantidad	Total
Estaciones Principales Nuevas	277,000	5	1,385,000
Estaciones Principales Rehab.	201,600	3	604,800
Estaciones Pluviométricas	2,600	25	65,000
Plan de Monitoreo	217,240		217,240
Salario de Observadores	22,200	8	177,600
Total			2,449,640

5.6.4. SELECCION DE LA ALTERNATIVA OPTIMA

Cada una de las alternativas presenta diferentes ventajas, la primera, porque introduce una tecnología que en el mediano plazo podría sustituir la metodología tradicional, y se logra la sostenibilidad de una red automática por medio de la capacitación de los técnicos, considerando que esta capacidad sería difundida hacia otros miembros de la División. Sin embargo, esta es la alternativa de mayor costo pero técnicamente presenta mejores ventajas.

La segunda alternativa proporciona un grado de cobertura similar, a la vez que reduce los costos a una cantidad mucho menor. Se mantienen las técnicas y procedimientos ya conocidos y probados a través del tiempo, pero se mantiene el requerimiento de la intervención humana en las lecturas y los problemas referentes a la comunicación de datos con la oficina de la División.

Finalmente, la alternativa 3 produce el costo más bajo, logrando la cobertura mínima. Se mantiene la misma forma de operación que en la alternativa 2, pero con una menor cobertura. Esta propuesta resulta inferior a las anteriores ya que la disminución en el costo de la inversión es mínima, comparada con la menor capacidad que genera.

De las tres propuestas analizadas, se considera que la más adecuada es la Alternativa 1, ya que la tecnología de las estaciones automáticas genera una mayor riqueza de información, con menor esfuerzo humano, ya que incluso disminuye la necesidad de transcribir datos e introducir la información manualmente a las bases de datos, recortando considerablemente los requerimientos de procesamiento humano tanto en la toma de los datos como en su verificación y procesamiento. Se requiere hacer un estimado del tiempo ahorrado en el procesamiento de la información utilizando esta tecnología para mostrar el beneficio económico que potencialmente tendría su uso a gran escala.

Con las estaciones mecánicas tradicionales se seguirán los mismos procedimientos que hasta ahora, pero la tendencia moderna de automatización apunta hacia la sustitución de estos procedimientos a largo plazo.

En resumen, considerando los criterios anteriores, se recomienda la selección de la alternativa 1, consistente en:

- ▶ Rehabilitar 2 estaciones ordinarias
- ▶ Rehabilitar 3 estaciones principales
- ▶ Reinstalar 25 estaciones pluviométricas
- ▶ Instalar 5 estaciones principales nuevas
- ▶ Instalar 2 estaciones automáticas
- ▶ Capacitar 2 técnicos en Mantenimiento y Reparación de Estaciones Automáticas
- ▶ Ampliar el monitoreo de la red contratando y equipando a 2 inspectores de campo adicionales
- ▶ Capacitar al personal de oficina en el manejo de software para optimizar sus funciones
- ▶ Instalar un sistema de información geográfica que complemente el sistema de información climatológica existente

En el capite 6.9 se presenta el resumen de costo de esta alternativa recomendada incluyendo el costo de adquisición e instalación del sistema de información.

CAPITULO VI.

DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACION CLIMATOLOGICA

6.1. ANTECEDENTES

El proyecto de una base de datos climatológica como componente de un sistema global en El Salvador (Sistema de Información Agropecuaria inicialmente, Sistema de Información Ambiental en la actualidad) se ha tratado de llevar a cabo desde 1975 y en ello se han visto envueltas muchas instituciones de investigación y asistencia internacional como IICA, AID, PNUD, BID, Banco Mundial y las agencias para el desarrollo de varios países de Europa.

El Sistema de Información Agropecuaria fue visualizado en su oportunidad como una herramienta para el apoyo de las actividades agrícolas, como irrigación y drenaje, cultivo y ganadería. Sin embargo, es evidente que la aplicación de sistemas similares puede cubrir un área de acción mucho más amplia.

Actualmente es necesario crear una base de datos ambientales, tal que, además de proporcionar información de soporte a la producción agropecuaria, permita establecer la viabilidad de proyectos de inversión de gran envergadura en otras áreas productivas, tanto de la empresa privada como procedentes de la iniciativa gubernamental.

También las acciones para el desarrollo económico y la solución de los problemas graves sobre la administración de recursos naturales exige una tecnología basada en información técnica confiable y oportuna. La creación de los sistemas de información de apoyo a la planificación nacional es, por lo tanto, una tarea de alta prioridad.

6.2. USUARIOS POTENCIALES

Dentro de los usuarios de la información climatológica se encuentran instituciones del sector público, estudiantes, empresas constructoras, empresarios de transporte aéreo y marítimo, ingenieros eléctricos (para estudios sobre aprovechamiento de la energía eólica), asociaciones de agricultores, y hasta abogados. Uno de los grupos de usuarios más importantes es la comunidad científica internacional.

Podría mencionarse dentro de los grupos de usuarios, de acuerdo al sector que conforman:

Sector agropecuario:

1. Departamento de Hidrología de la División
2. Unidades de Estudios Básicos y Agrometeorología (DGRN)
3. Oficina Sectorial de Planificación Agropecuaria (OSPA)
4. Servicio Forestal y Fauna
5. Economía Agropecuaria
6. Defensa Agropecuaria
7. Dirección General de Riego y Drenaje
8. Dirección General de Recursos Pesqueros
9. Servicios de Suelos y Ordenación de Cuencas Hidrográficas
10. Centro de Transformación Agraria (CENTA)
11. Instituto Salvadoreño de la Investigación del Café

Sector público:

1. Ministerio de Salud Pública
2. Marina Nacional
3. Universidad de El Salvador
4. Dirección General de Caminos
5. Comisión Ejecutiva del Río Lempa
6. Dirección General de Urbanismo y Arquitectura (DUA)
7. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)
8. Comisión Ejecutiva Portuaria de Acajutla (CEPA)
9. Administración Nacional de Telecomunicaciones (ÁNTEL)
10. Dirección General de Estadística y Censos

Sector privado:

1. Diversas empresas de Radio y Televisión
2. Compañías constructoras, consultoras y supervisoras
3. Universidades y colegios privados

Sector internacional:

1. Organización Meteorológica Mundial
2. Servicios Meteorológicos de los países centroamericanos
3. Instituciones públicas y privadas inscritas en la OMM
4. FAO

El proporcionar información a estos sectores ha sido la principal razón de la existencia de la División de Meteorología e Hidrología, ya que la red meteorológica es una herramienta para recopilar y organizar datos útiles a las actividades productivas que los requieran.

En términos globales, las aplicaciones del dato climatológico se pueden ubicar dentro de las áreas de manejo de los recursos naturales, producción vegetal, y climatología aplicada. Dentro de estas grandes áreas se puede indicar algunas divisiones. En lo referente al manejo de los recursos naturales, se tiene como una de las principales divisiones el almacenamiento de agua, ya sea natural o artificial, de acuerdo a la orientación: producción energética, abastecimiento humano, riego, canales de comunicación fluvial, diseño y construcción de obras hidráulicas. En cuanto a la climatología aplicada, de acuerdo al área que soporta: salud e higiene, telecomunicación, turismo y recreación. El área de producción vegetal no presenta mayores divisiones en cuanto a las aplicaciones del dato climatológico.

Sin embargo, la capacidad de producir información valiosa para estos campos se ve disminuida en su valor si no se mecaniza los métodos de manejo de la información dentro de la división. Hasta la actualidad se utilizan métodos manuales para resolver las consultas que la División recibe. Por ejemplo, para poder averiguar el promedio de lluvia en una región delimitada, se identifica en un mapa las estaciones de la región, luego se localizan los datos anuales (ya sea buscándolos en los almanaques de años anteriores) o directamente en las tarjetas de registro. Luego los datos son procesados manualmente para devolver los resultados de acuerdo a como hayan sido solicitados.

Naturalmente, esta forma de procesar los datos requiere la realización de una serie de operaciones que en un sistema mecanizado se realizarían de forma automática. Por otro lado, consultas más complejas, como aquellas que requieren de interpolaciones de datos y

distribuciones de los parámetros en áreas de estudio necesitarían invertir un tiempo considerable en el procesamiento.

6.3. DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL SISTEMA

El sistema de información que el presente estudio propone para la División de Meteorología e Hidrología no es un diseño para manejo de información meteorológica exclusivamente. En vez de eso la intención es dotar a una institución estatal con un sistema de información geográfico que pueda apoyar diversos análisis y el desarrollo de modelos sobre recursos naturales en general. Uno de los principales objetivos de tal sistema es proporcionar información precisa, adecuada y oportuna en las tareas de planificación regional (producción agrícola, contaminación, manejo de recursos hídricos), así como cualquier tarea relacionada con la realización de proyectos de construcción de gran envergadura (carreteras, puentes, presas, etc.). Por lo tanto, las variables que incorporará el sistema no se limitan a aquellas recopiladas a través de la red meteorológica nacional, sino que caen dentro del campo de acción de otras entidades.

Sin embargo, dentro de las variables que se incorporan en estas funciones de análisis, las de mayor frecuencia de registro son aquellas correspondientes a los parámetros climáticos. En la División se concentra el mayor volumen de datos y en su mayoría se encuentran ya estructurados, por el contrario de la información en otros campos, que carece de una organización adecuada. Por tanto, se identifica la División de Meteorología e Hidrología como la institución primaria (coordinadora) de un sistema con las características descritas.

Por su ubicación dentro de la Dirección de Recursos Naturales del MAG, se le facilita a la División el contacto directo con la mayor parte de las dependencias generadoras de información ambiental y con aquellas encargadas del monitoreo de los recursos naturales en el país. Es una institución eminentemente técnica, no posee una función política normativa en el marco del funcionamiento del estado. Sin embargo, puede ser proporcionadora de insumos para aquellas dependencias de planificación tanto a nivel sectorial como intersectorial,

desempeñando el papel que ha jugado desde su creación, correspondiente a un instituto consultor y asesor técnico en gran variedad de funciones.

Existe apoyo de instituciones y agencias internacionales para fortalecer el servicio de meteorología del país, porque la información que proporciona puede ser útil para la planificación de regiones que se extienden más allá de los límites nacionales, por lo tanto es de amplio interés para la investigación científica a nivel mundial.

6.4. INFORMACION REQUERIDA

Como es evidente, la orientación multidisciplinaria de este sistema de información requiere del uso de varias capas de información o coberturas, las cuales se pueden obtener de varios mapas temáticos diferentes.

La información que se requiere para integrar un sistema de información geográfico orientado al manejo de los recursos naturales generalmente no es recopilada por una sola institución, ya que el volumen de la información es muy elevado y la labor de recolección de datos es intensiva y lenta con los métodos tradicionales.

Entre los segmentos principales de datos que el sistema de información deberá incorporar se puede contar:

- ▶ Información climatológica
- ▶ Fuentes de Recursos Hídricos (superficiales y subterráneos)
- ▶ Uso actual de suelo y cobertura vegetal estacional y permanente
- ▶ Capacidad de uso y composición de los suelos
- ▶ Formaciones geológicas superficiales
- ▶ Relieve de terreno
- ▶ Infraestructura existente (vías de transporte, tendidos y redes de servicios básicos)
- ▶ Delimitaciones administrativas (político departamentales, unidades de manejo, etc.)
- ▶ Información socioeconómica

Fácilmente se observa que la información de cualquiera de estos grupos en forma aislada posee mucha menor utilidad que el conjunto conformado por todas ellas.

En el país, ninguna institución gubernamental cuenta con la capacidad para realizar mapeos detallados que cubran todo el territorio nacional, generando coberturas temáticas para todas las variables requeridas. Sin embargo, la DGRN reúne diferentes entidades que se ocupan de vigilar y monitorear el desarrollo de sectores de los recursos naturales, de esta manera se tienen diferentes servicios y/o divisiones que tienen a su cargo el manejo de los recursos forestales, el manejo de cuencas hidrográficas, la conservación de parques nacionales, etc.

Además de las instituciones directamente relacionadas con el área de recursos naturales, existen otras, que son a la vez generadores y usuarios de información socioeconómica y divisiones administrativas, como son: el Ministerio de Planificación, el Ministerio de Economía, etc.

La generación de la información tiene un alto costo; y en un sistema de carácter permanente como el propuesto debe minimizarse el monto destinado a la recopilación de los datos de campo, la captura de la información y los costos de operación y mantenimiento. Hasta el momento, la recopilación de datos generalmente se ha realizado en forma aislada y puntual motivado por las necesidades de información de cada proyecto, en lugar de esto, el sistema deberá implementar programas de recolección de información que sean de carácter permanente.

En caso de que se integrara un sistema como el propuesto, parte de los costos se podría financiar por la venta de la información a los usuarios externos. De hecho, el modelo de modernización del estado que se ha venido implementando en los últimos años ha promovido esto, sin embargo ya que la información en que se basa el producto del sistema proviene de diversas fuentes, se debe considerar la compensación adecuada a cada una de ellas y el derecho que cada una debería tener sobre la utilización del sistema.

6.4.1. SUELOS Y VEGETACION

En esta categoría debe considerarse el Uso Actual de la Tierra y Cobertura Vegetal, la Capacidad de Uso de la Tierra y la Geología Superficial.

El Uso Actual se refiere a las diferentes categorías de utilización de la tierra, como cultivos, bosques, poblados, etc. De especial importancia en esta información es la referente a la cobertura vegetal.

La Capacidad de Uso de Suelo representa la aptitud pedológica de los suelos, caracterizándolos de acuerdo a su vocación (uso idóneo) como forestal, agrícola, urbano, y diferentes subclasificaciones.

La Geología indica el tipo de roca predominante en el lugar. Esta información es importante para determinación de la infiltración y del flujo en los mantos freáticos.

Toda esta información debe concentrarse por medio del Servicio de Suelos y Cuencas Hidrográficas. En la actualidad no ha sido actualizada, a excepción de áreas limitadas, que han sido mapeadas por iniciativa de diferentes proyectos. El Servicio de Suelos deberá crear una base de datos sobre estos parámetros. En este sentido, se cuenta con la facilidad de que la información puede ser levantada por medio de clasificación de imágenes de satélite.

6.4.2. RECURSOS HIDRICOS

En el área de recursos hídricos, se debe contar con información sobre la Red Hídrica (ríos permanentes e intermitentes, quebradas, lagos, embalses), Mantos Freáticos, Infraestructura de Irrigación y Líneas Principales para Abastecimiento Humano, así como Fuentes de Contaminación.

En esta área se combinarán los esfuerzos de varias instituciones, como el Departamento de Hidrología de la División de Meteorología e Hidrología, la Administración Nacional de

Acueductos y Alcantarillados, el Servicio de Suelos y Cuencas Hidrográficas, la Dirección de Riego y Drenaje y el Instituto Geográfico Nacional.

Se requerirá confrontar los mapas existentes por medio de muestreos y mapeo en áreas piloto, sobre todo para la determinación de los mantos freáticos, sobre lo cual no hay suficiente información en el país.

En cuanto a Infraestructura, se han mantenido bases de datos actualizadas y restaría únicamente enlazarlas con los mapas digitales. Será necesario realizar un trabajo extensivo de digitalización y actualización de mapas.

6.4.3. TOPOGRAFIA Y GEOGRAFIA

En esta categoría se incluye la información relativa a Divisiones Políticas y Administrativas, Relieve del Terreno, Cartografía Básica, opcionalmente podría incluirse Catastro y Mapeo de Infraestructura en General.

La información aplicable en esta área se encuentra concentrada en su mayor parte en el Instituto Geográfico Nacional. Se requerirá la digitalización de mapas, aunque probablemente, muchos de ellos pueden conseguirse de diversas fuentes, ya que este trabajo ha sido realizado para diversos fines en áreas seleccionadas del país.

Entre estas variables, el Relieve del Terreno es de gran importancia en todos los análisis geográficos. Este se obtiene creando modelos digitales de terreno a partir de los trazos de las curvas de nivel.

6.4.4. VARIABLES CLIMATOLOGICAS

Esta información se encuentra actualizada permanentemente y es recogida y mantenida en forma estructurada por la División de Meteorología. Cada una de las variables climatológicas da la base para la creación de diferentes mapas, los cuales se forman estandarizando la

información en cada estación por parámetro para luego interpolar los parámetros y calcular una aproximación a la distribución real de las variables climáticas.

Uno de los parámetros de máxima importancia es la cantidad de lluvia, la cual se utilizaría en la forma de Mapas de Isoyetas, que podrían ser calculados en base a promedios y/o acumulados anuales o mensuales e incluso para tormentas específicas.

También tendrán un uso muy amplio los mapas de distribución de temperaturas (Isotermas), que al igual que los de lluvia podrán ser generados bajo diversos criterios, de acuerdo a los diferentes usos que se piensen dar a la información.

La generación de estos mapas se hará por medio de las herramientas de software. Ya que se tendrá ubicadas las estaciones dentro de un mapa base, solamente será necesario relacionar cada estación con el valor del parámetro (por ejemplo: cantidad de lluvia) y utilizar los comandos para realizar la interpolación.

Es necesario recalcar que el sistema de información en realidad se constituirá por varias instituciones que funcionarán como unidades de recopilación y análisis de la información, que se encargarán de digitalizar y actualizar aquellos conjuntos de información cubiertos por sus funciones institucionales, y que recibirán, ya procesada, la información que requieran de las otras fuentes a través de una unidad central dedicada a la coordinación y recopilación de información y de reproducción de la misma.

Cada una de las instituciones generadoras de información contará con su propio centro de análisis, el cual puede consistir únicamente en una computadora personal con alta resolución de gráficos, una mesa digitalizadora mediana y un impresor de tinta a color. Mientras que la División de Hidrología y Meteorología funcionaría como institución coordinadora, con un papel principal debido a que el mayor volumen de información proviene de sus registros. De esta forma, la división proporcionaría selectivamente insumos y datos preprocesados que fueran requeridos para análisis en otras instituciones. No sería conveniente duplicar la base de datos climatológicos en todas las demás unidades miembros del sistema ya que la mayoría de los

datos no les son de utilidad y requieren una alta capacidad de cómputo para su manejo, con los altos costos inherentes.

6.5. DISEÑO GENERAL PARA EL SISTEMA DE INFORMACION DEL SERVICIO METEOROLOGICO DE EL SALVADOR

El Sistema de Información propuesto para el Servicio de Meteorología e Hidrología dentro del contexto de un Sistema de Información Geográfica tiene como fin el favorecer o facilitar investigaciones en campos como Disponibilidad de los Recursos Hídricos, Producción agrícola y Cambio climático.

En estas áreas, los SIG proveen importantes herramientas para la elaboración de análisis y predicciones, entre los que destacan: el análisis de series temporales (para determinar tendencias y causas de los cambios climáticos y del uso de la tierra), la correlación multivariable (que permite verificar hipótesis sobre las relaciones entre las variables climatológicas y de cualquier otra naturaleza en cualquier fenómeno bajo análisis), y el cálculo de superficies y de volúmenes por integración numérica (utilizada para los cálculos de producción agrícola, disponibilidad de agua superficial y subterránea).

6.5.1. SOFTWARE DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA

Considerando las diferentes alternativas existentes en cuanto a sistemas de información geográfica, se ha seleccionado el tipo de software ráster (matricial), ya que para el tipo de análisis que se necesita realizar en las áreas mencionadas, no se requiere de alta precisión espacial en las aplicaciones. Como se ha mencionado anteriormente, si la aplicación requiere un gran detalle y exactitud en las mediciones de superficies, en los cálculos de distancias y en la definición de los límites de los polígonos, se requiere un software de tipo vectorial debido a que este conserva la precisión matemática de los contornos digitalizados. El software matricial, sin embargo, aproxima en forma prácticamente arbitraria los contornos que atraviezan cada celda al valor más representativo en ella.

Los análisis que se han mencionado como servicios típicos del sistema que se planea diseñar proporcionan, básicamente, aproximaciones a los valores reales (que nunca llegan a ser medidos con precisión) que son aplicables en las tareas de planificación regional; por lo tanto el error en las mediciones debido a la rasterización no es una condición crítica. El mismo software generalmente proporciona herramientas para medir la probabilidad de que el valor obtenido sea igual al real con un nivel de confianza previamente establecido (análisis de hipótesis).

6.5.2. EQUIPAMIENTO

Debido a que las estructuras de almacenamiento de datos de tipo ráster requiere de una gran cantidad de espacio, las computadoras a utilizar deberán poseer capacidades de almacenamiento del orden de gigabytes ($n \times 2^{20}$ Bytes), y contar con considerable capacidad de memoria RAM (8 Megabytes o más). La unidad principal del sistema necesitará también de medios de almacenamiento secundario capaces de retener fuera de línea los respaldos de la información, así como los mapas digitales que no se encuentren en uso permanente.

En cuanto al equipo adicional requerido, se contará con tablas digitalizadoras de para la producción de mapas digitales en base a copias existentes, las cuales deberán ser de la mejor calidad posible. Se emplearán impresores de tinta a color, capaces de producir imágenes en hojas de papel en tamaños carta, oficio o legal. Estos principalmente se utilizarán para reproducir imágenes producto del análisis (imágenes de satélite corregidas, superposición de imágenes poligonales y todo tipo de mapas de distribuciones discretas). Ya que la producción de mapas no es considerada como una función principal del sistema no es necesaria la adquisición de costosos plotters de plumillas (impresores para mapas).

Para permitir la intercomunicación directa con otras instituciones o con fuentes de información en el extranjero se requerirá que las computadoras estén equipadas con tarjetas de fax-módem de alta velocidad (28,800 bits por segundo - bps) y con el software necesario para el manejo de las comunicaciones.

6.5.3. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES DEL SISTEMA

Un sistema de información que sea aplicable en tareas de muy diversa naturaleza y que satisfaga los requerimientos de equipos de trabajo multidisciplinarios debe poseer la capacidad de recopilar tanto información estructurada como no estructurada y de proporcionar una forma de relacionar los diferentes atributos de información dentro de un contexto común a todas las disciplinas. Obviamente, las bases de datos numéricas y alfanuméricas por si solas carecen de la capacidad de interrelación entre tópicos tan variados y presentados en formas tan diversas; sin embargo, son una herramienta insustituible para el manejo de información en general. Por otro lado, en las tareas de planificación regional, administración de los recursos naturales, conservación del medio ambiente y desarrollo de proyectos de gran escala, el aspecto geográfico es imprescindible.

En cuanto a los procesos generales requeridos de un sistema de información para apoyar el manejo de los recursos naturales y la planificación de obras de ingeniería, podemos contar:

- ▶ La capacidad de producir distribuciones superficiales de los diferentes parámetros (lluvia, temperatura, viento, tipo de suelo, vegetación, geología, etc.). Dado que muchos de los parámetros mencionados son medidos puntualmente, generalmente es tarea del analista, del planificador o del diseñador realizar las distribuciones necesarias en las áreas de estudio utilizando métodos más o menos precisos dependiendo de los requerimientos del estudio.
- ▶ Posibilidad de integrar información presentada con diferente nivel de detalle y con diferentes grado de estructuración. Muchas de las variables que se incorporarán al sistema son recogidas con diferente periodicidad y para unidades geográficas no coincidentes.
- ▶ Habilidad para determinar superficies de polígonos irregulares y de medir distancias tanto sobre trayectorias rectilíneas como sobre trayectorias compuestas de múltiples arcos.

- ▶ Capacidad para realizar análisis comparativo de diferentes alternativas o instantes en una misma área. Frecuentemente se requerirá hacer pruebas de tipo "qué pasará si...", generando alternativas diversas variando alguno de los parámetros, o se analizará el cambio que ha sufrido con el tiempo una determinada área.

- ▶ Funciones para optimizar la asignación de recursos naturales. Para las tareas de planificación se requerirá funciones de asignación de recursos en situaciones en que se presentan objetivos complementarios, así como también objetivos conflictivos.

Los sistemas de información geográfica poseen todas estas capacidades, ya que en general fueron diseñados para satisfacer este tipo de tareas relacionadas con el manejo de los recursos naturales y la planificación.

En cuanto a la capacidad de realizar distribuciones, generalmente permiten seleccionar entre varios métodos de interpolación de variables. De esta manera, un conjunto de temperaturas puntuales ubicadas en el espacio pueden ser convertidas fácilmente en una cobertura "continua" de temperaturas o en un mapa de isotermas de la región. Y de manera similar, estos procedimientos pueden aplicarse a cualquiera de los parámetros bajo análisis.

La capacidad de concentrar información de diferentes unidades geográficas que se entrecruzan, o que no son perfectamente complementarias y que se encuentran estructuradas de diferentes maneras se satisface por medio de la creación (en forma semiautomática) de coberturas intermedias conteniendo reclasificaciones de los datos.

La medición de superficies y distancias es una operación común a todos los sistemas de información geográfica cualquiera que sea su estructura interna (matricial o vectorial). De esta manera es posible medir recorridos de ríos, áreas de cuencas, recorridos de rutas de transporte, etc.

El análisis de series temporales proporciona la habilidad de presentar una secuencia de mapas que representen la evolución de las condiciones sobre el terreno o el resultado de aplicar diferentes variantes en los parámetros bajo consideración. El resultado del análisis de series

temporales es no sólo gráfico, sino también por medio de tablas cruzadas que presentan los porcentajes de cambio de atributos entre las diferentes situaciones.

Las funciones de asignación de recursos son un estándar también en todos los sistemas de información geográfica. Existe una variedad de procedimientos de carácter estadístico y probabilístico; en combinación con los conceptos de programación lineal que permiten correr procedimientos de optimización utilizando múltiples criterios y restricciones, y ponderando objetivos complementarios y conflictivos.

6.6. SELECCION DEL SISTEMA

Como se puede observar, las tareas que atenderá el sistema de información no enfocan generalmente áreas reducidas, sino zonas de varios cientos de kilómetros cuadrados de extensión. Solamente se requiere la estimación de valores en aproximaciones confiables, no es necesaria la determinación precisa de los mismos. Por ejemplo, al realizar un análisis de infiltración, interesará saber si la cantidad de agua en los mantos acuíferos de la zona es de 5 millones de metros cúbicos, y no si serán 5.129 seleccionada es suficiente para satisfacer la demanda de una población que también es estimada de manera aproximada. Por lo tanto, no se requiere utilizar un sistema que mantenga al máximo la precisión topográfica.

Un sistema de tipo vectorial almacena la base de datos geográfica como un conjunto de arcos y puntos con coordenadas exactas, manteniendo la precisión topográfica cualquiera que sea la extensión del área de análisis. Esto requiere por una parte de una capacidad de procesamiento extensiva - computadoras de gran velocidad y alto poder; por la complejidad que tiene el diseño de este tipo de software, los sistemas de información geográfica basados en estructuras vectoriales son muy caros: el precio de una sola licencia del software se encuentra alrededor de US\$ 40,000, costando cada licencia adicional alrededor de US\$ 10,000. El equipo tiene un costo muy elevado también, ya que se requieren estaciones de trabajo especializadas (aunque puede trabajarse en los modelos más sofisticados de PC's); sólo una terminal de trabajo sin periféricos cuesta más de US\$ 30,000.

Por otro lado, los sistemas de análisis geográfico tipo ráster son menos sofisticados y pierden la precisión topográfica, ya que cada celda representa no un punto, sino un rectángulo del terreno. Sin embargo, para las aplicaciones que aquí se plantean, proporciona otras conveniencias, como son su bajo costo, los requerimientos relativamente bajos en cuanto al equipo para procesamiento y la incorporación de útiles funciones de análisis. La precisión espacial variará de acuerdo a los objetivos y a la extensión del área bajo estudio. Así, para un estudio de toda el territorio nacional, posiblemente se empleen celdas de 1/4 o hasta de 1/8 de Km cuadrado. Las mismas coberturas maestras (con las más altas precisiones) pueden ser convertidas a una precisión menor para análisis de amplias áreas, o manejarse a su precisión original para regiones más pequeñas. El costo del software es generalmente inferior a los US\$ 500, pero en algunos casos son donados sin costo alguno por las instituciones que los producen (este tipo de software es producido por universidades e institutos de investigación, cuyo principal objetivo no es la comercialización del producto a diferencia de los productores de software vectorial). En cuanto a los requerimientos de máquina, estos programas están diseñados para utilizarse en PC's comunes; aunque es deseable que sean veloces, equipadas con coprocesadores matemáticos y con mucho espacio en memoria RAM y en disco duro u otro medio de almacenamiento. Las mayores limitaciones de este tipo de programas se encuentran en lo referente a la pérdida de la precisión espacial y a la capacidad de producción de mapas de presentación, que como se ha visto, no son objetivos primordiales del sistema propuesto. La única desventaja sería con respecto a este software es que el manejo de la base de datos relacional que se maneja en conjunto con la base geográfica debe hacerse desde fuera del sistema, por medio de un manejador de base de datos comercial.

En conclusión, se prefiere la instalación de un sistema de tipo Ráster, por su adecuación a los usos que se establecerán y por que no establece requerimientos muy específicos respecto al hardware. Dentro de las opciones referentes al Software rástes, se encuentran:

MicroMap: Este es un programa producido en México, por una compañía privada, diseñado específicamente para un inventario forestal de México, y que ha sido progresivamente modificado para utilizarlo en otras aplicaciones de sistemas de información geográfica. Tiene capacidad limitada en las áreas de asignación de recursos y análisis estadístico.

MapInfo: Es una alternativa de bajo costo puesta en el mercado por ArcInfo, uno de los más fuertes productores de Software de tipo vectorial. Posee un subconjunto de las funciones presentes en el software vectorial de la misma firma. Básicamente provee herramientas para todas las funciones requeridas, además de que provee un alto grado de compatibilidad con el software vectorial, por lo que facilita la migración hacia ese tipo de sistemas de las bases de datos levantadas con MapInfo.

Idrisi: Este paquete ha sido desarrollado por la Universidad Clark en Massachusetts, por un equipo de investigación permanente. Se hacen revisiones periódicas y se aceptan contribuciones de los usuarios en todo el mundo. Tiene una amplia cobertura de todas las funciones requeridas, además de herramientas para el procesamiento de imágenes de satélite. Los módulos para asignación de recursos y para análisis de series temporales son fuertes y proporcionan útiles parámetros estadísticos. Dentro de las redes de comunicación internacional hay secciones de usuarios de Idrisi, a donde se pueden colocar consultas y recomendaciones.

Existen varias opciones además de éstas, sin embargo, estos programas tienen mucha mayor difusión y el set de herramientas para procesamiento geográfico es bastante robusto como para satisfacer casi cualquier aplicación. En el país, se sugeriría implementar Idrisi, ya que existen usuarios en diferentes instituciones con información digitalizada y rasterizada para este sistema que podría integrarse fácilmente.

6.7. EQUIPO REQUERIDO

6.7.1. ESTACIONES DE TRABAJO

Se recomienda que todas las computadoras posean como mínimo 8 Mb de memoria RAM, con capacidad de expandirse hasta 32 Mb; y al menos 500 Mb de almacenamiento en disco. Los procesadores deben tener capacidades de 32 bits, como mínimo se requerirán procesadores 486DX, (con coprocesador matemático integrado) con una velocidad de 66 Mhz. Actualmente se encuentran en el mercado procesadores más veloces denominados P5 o Pentium (con

velocidades de hasta 150 Mhz), con capacidad de procesar hasta 64 bits en paralelo, aunque ya que los sistemas de procesamiento geográfico de tipo ráster están diseñados para funcionar bajo el sistema operativo de PC (D.O.S.), no pueden aprovechar esta capacidad debido a limitaciones impuestas por el mismo sistema operativo. Sin embargo, se conseguiría un mejor rendimiento con este tipo de equipo.

El costo por estación de trabajo con procesador 486 se encuentra alrededor de US\$ 2,500 y cerca de US\$ 3,500 para un sistema Pentium.

No se requiere que el sistema completo sea manejado en una red, de hecho, habrían limitantes técnicas y financieras para instalar una red que enlazara las terminales en cada uno de los centros de recolección y procesamiento. En la División de Meteorología e Hidrología ya se cuenta con una red que enlaza las cuatro computadoras personales con que actualmente cuenta. Esto es apropiado, ya que para la introducción de la información generada por la misma institución se prefiere el procesamiento en modo multiusuario para reducir la complejidad de la actualización de archivos, permitiendo que se ingrese información simultáneamente de varias terminales. En los otros centros de procesamiento, se podrá instalar redes locales a medida que se incrementa en volumen la recopilación de datos en cada una de ellas.

6.7.2. DISPOSITIVOS PARA ALMACENAMIENTO FUERA DE LINEA

Se requiere que las unidades posean una unidad lectora de CD (disco óptico) y un dispositivo para almacenamiento fuera de línea, que puede ser una unidad de cinta magnética o una unidad de escritura de discos ópticos. Es preferible que la División cuente con un medio de reproducción de discos ópticos, ya que esta forma de distribución de la información es más adecuada y más sencilla. Los drives para CD son casi un estándar en las computadoras modernas, mientras que las unidades de respaldo de cinta tienen interfaces y formatos muy diferentes, por lo que posiblemente habría dificultades con la distribución de los datos. Una unidad de respaldo en cinta cuesta alrededor de US\$ 500, un dispositivo para grabación de CD's tiene un valor aproximado de US\$ 3,000. Sin embargo, si se plantea vender la información, debe considerarse el costo del dispositivo de almacenamiento: el cartucho de

cinta más común cuesta alrededor de US\$ 25, cada CD en blanco vale menos de US\$ 7, por otro lado, hay un mercado más amplio para usuarios de CD que de cinta magnética.

La capacidad de almacenamiento en cinta puede ser de 120 hasta más de 4,000 Megabytes, dependiendo del dispositivo de lectura/escritura. La capacidad de un CD es de 600 Megabytes. El CD tiene otras ventajas importantes sobre la cinta; siendo una de ellas la capacidad de acceder los datos directamente del disco, sin tener que transferirlos a almacenamiento en línea (disco duro), por el contrario de las cintas, que deben ser copiadas al disco duro antes de poder emplearse.

Considerando todo esto, se recomendaría que se utilizaran CD's como método de almacenamiento fuera de línea, intercambio y distribución de datos a los usuarios.

6.7.3. GPS

Se debe considerar la adquisición de varios aparatos GPS, que puedan ser empleados según se requieran por las diferentes unidades de recolección de información, pero estos equipos deberán estar bajo la administración de la institución supervisora del sistema.

De esta manera, cuando se necesite realizar un muestreo de campo o un recorrido de terreno, se solicitará a la División el préstamo del equipo. En el campo, la recopilación de atributos se haría con libretas de campo, incorporando la información a los archivos digitales de vuelta en la oficina.

El costo cada unidad de GPS (con un grado de exactitud de ± 5 m) es alrededor de US\$ 6,000. Se requiere utilizar al menos dos unidades en un recorrido de campo, una de ellas situada en una ubicación fija, como punto de control, y la otra móvil. Se requiere de un mínimo de tres equipos, para contar con una unidad de respaldo permanentemente. El costo de adquisición del equipo es de US\$ 18,000. Se considera que la vida útil de éstos no debe tomarse mayor de 5 años, debiendo sustituirse el equipo al final del período. Además se debe estimar un costo de mantenimiento de 10% anual, equivalente a US\$ 1,800 anuales.

6.7.4. OTROS PERIFERICOS

Se requerirá en cada centro de recopilación y procesamiento de datos de una tabla digitalizadora, dimensiones 36" x 48", para la introducción de la información geográfica recopilada. El costo de cada unidad es de US\$ 4,000.

También se emplearán impresores de inyección de tinta a color, para la producción de imágenes en papel o en transparencias. Estos tienen un valor aproximado de US\$ 600.

Se deberá dotar a la División con un plotter pequeño con carro de 17", con plumillas de colores, para cuando se requiera salidas con mejor presentación como para la producción de material para documentos técnicos de circulación internacional. Un equipo similar cuesta alrededor de US\$ 2,000.

Para permitir la intercomunicación directa y la transmisión de datos entre los centros de procesamiento, se necesitará dotar a todas las computadoras con tarjetas de fax/modem de alta velocidad 24,400 bps (bits por segundo). También sería necesario inscribirse en un sistema de comunicación internacional como la red Internet, para acceder información de otros centros y sistemas similares en la región.

6.8. TELEDETECCION

Datos de satélite recibidos localmente pueden proveer una ventaja de costo para el monitoreo continuo de algunas de las variables del sistema. En nuestro país aún existen dificultades para la observación terrestre de datos geográficamente referenciados; por lo tanto la teledetección, tanto en la forma de imágenes de satélite como en mosaicos fotogramétricos, es una alternativa que ofrece un alto potencial de aprovechamiento.

Existen sistemas receptores de datos de satélite, como LARST (Local Application of Remote Sensing Techniques = Aplicación local de técnicas de monitoreo remoto), que pueden recibir información diaria de baja resolución de los satélites NOAA sin costo, que puede ser usada en

una variedad de aplicaciones de monitoreo ambiental. Una instalación LARST tiene un bajo costo e incluye el software para captura, procesamiento y algunas aplicaciones de esta información, como estimación de la producción agrícola, diferencias eco-climáticas, monitoreo de eventos climáticos excepcionales (ciclones, sequías, etc.). En combinación con información periódica de satélites de alta resolución, información sistemática del terreno y un sistema de información geográfica, la información proporcionada por el sistema LARST puede ser una herramienta precisa y de alto valor.

El equipo requerido en una instalación LARST consta de una antena, receptores encargados de descifrar la información, computadores personales e impresores. El sistema mínimo puede costar menos de US\$ 45,000, y tiene la capacidad de cubrir diariamente toda la región centroamericana.

El costo del traslado al país de un técnico para la instalación y de la capacitación (2 semanas) es de US\$ 10,000.

La teledetección, sin embargo, al igual que los sistemas de posicionamiento global, son solamente una tecnología complementaria. Parte de la información se puede obtener de esta manera, mientras que otra parte únicamente puede ser colectada por medio de muestreos de campo o formularios de encuesta.

Sin embargo, es importante incorporar en el sistema la capacidad de analizar información de satélite, ya que de esta manera se puede monitorear efectivamente en cortos periodos las alternaciones en el medio ambiente y en la disponibilidad de recursos.

6.9. RESUMEN DE COSTOS

Se considera que se comprarán 5 estaciones de trabajo, con sus periféricos básicos (tablas digitalizadoras, impresores de tinta a color, dispositivos de respaldo, etc.). Además se considera la adquisición de un sistema de reproducción de Discos láser y un impresor de planos (plotter) para la unidad coordinadora del sistema.

Los costos de adquisición del software y equipo, y la capacitación e instalación del sistema ascienden a US\$ 110,500, equivalentes a ¢960,000 aproximadamente. A continuación se detallan estos costos en dólares. Se han estimado los costos en dólares considerando que tanto el equipo como las consultorías para la capacitación serán adquiridas en el extranjero.

Rubro	Costo Unitario US\$	Cantidad	Total
Estaciones de Trabajo y accesorios	2,500	5	12,500
Sistema de Reproducción de CD	3,000	1	3,000
Unidades de GPS	6,000	3	18,000
Tablas digitalizadoras	4,000	5	20,000
Impresores Ink Jet a color	600	5	3,000
Plotter de plumillas	2,000	1	2,000
Asesoría y capacitación en SIG	10,000	1	10,000
Equipo LARST para procesamiento de imágenes	45,000	1	45,000
Capacitación para uso de equipo LARST	10,000	1	10,000
Adquisición de Software SIG Tipo Ráster	500	5	2,500
Total US\$			110,500

Agregando el Costo de la Alternativa 1 para Mejoramiento y Ampliación de la red presentada en el capítulo V, en combinación con el componente de mecanización descrito anteriormente se llega a un costo global de ¢ 3,971,720.

Ampliación de la red y capacitación del personal	3,011,720
Adquisición e instalación del sistema de información	960,000

Costo Global de la Modernización de la Red	¢ 3,971,720

CAPITULO VII.

CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

7.1.1. RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION

- ▶ La recolección de la información no es eficiente en la mayor parte de los casos, ya que tarda mucho tiempo en llegar a la oficina por correo. Sin embargo, la implementación de un plan de monitoreo facilitaría que la recolección fuera realizada por el mismo inspector en aquellas zonas de mayor dificultad de acceso, lo cual se planificaría por medio de una calendarización adecuada de las visitas.
- ▶ El procesamiento de la información duplica esfuerzos e implica que se realicen pasos que no serían necesarios si la información fuera procesada completamente en las computadoras desde un principio. Por el momento, se hace una revisión y cálculo manual previo a la introducción de datos a las bases de datos mecanizadas.
- ▶ La confiabilidad del dato es buena, aunque no hay suficiente control sobre la precisión de las mediciones realizadas por los observadores. El control de calidad del dato es, hasta cierto punto, basado en apreciaciones subjetivas soportadas únicamente por la amplia experiencia de los encargados del mismo.

7.1.2. CAPACITACION DEL PERSONAL Y OBSERVADORES

- ▶ La capacidad técnica de la institución es muy elevada, ya que cuenta con profesionales especializados en el área, con mucha capacitación y adiestramiento; respaldados además por la experiencia del trabajo de campo por varios años. Sin embargo, la capacidad operativa se ha visto mermada por los retiros de personal valioso que no ha sido sustituido.
- ▶ La capacitación de observadores no está sistematizada, y no hay programas de reforzamiento. Sin embargo, las tareas del observador son muy mecánicas, así que no se requiere de un alto grado de capacitación.

- ▶ Existe suficiente material de apoyo para la capacitación de observadores, así como para la ejecución de las distintas etapas de procesamiento de la información de campo.
- ▶ Las actividades de capacitación técnica del personal, así como de difusión de los usos de la información meteorológica en distintos sectores que ha sido implementado por PRIMSCEN ha dado buenos resultados hasta el momento. Sin embargo, debe anticiparse la finalización del mencionado proyecto y tratar de incorporar capacidad suficiente, tanto técnica como financiera, dentro de la división como para darle continuidad a dichas actividades en el futuro.

7.1.3. EQUIPO DE COMPUTACION

- ▶ Actualmente se cuenta con buena capacidad en lo que respecta a equipo de computación para la División de Meteorología e Hidrología, sin embargo, no está siendo ocupado de manera óptima, ya que se encuentra muy limitado el acceso para los técnicos que no están directamente relacionados con el manejo del programa CLICOM.

7.1.4. NORMAS INTERNACIONALES

- ▶ Las normas de la OMM se cumplen en su mayor parte. Todo el proceso de toma de datos, procesamiento y verificación de los datos se cumple casi perfectamente. Sin embargo, la cobertura que actualmente tiene la red no está acorde a las sugerencias de la OMM de que cada estación debe cubrir un radio de 10 km y menor en áreas con una topografía muy accidentada.
- ▶ La capacitación técnica de los meteorólogos en nuestro país se realiza siguiendo lineamientos y guías establecidas por la OMM. Por lo tanto, se considera que los procedimientos son apegados a la normatividad establecida a nivel mundial.

7.1.5. ADMINISTRACION

- ▶ Los incentivos dentro de la División son insuficientes para lograr la retención del personal capacitado. Principalmente, es necesario elevar los niveles salariales, ya que los sueldos no son competitivos con los sueldos para profesionales en el sector privado.
- ▶ Para lograr que sea efectivo el manejo de la distribución comercial de la información generada por la división debe permitirse cierta autonomía administrativa para que los fondos producidos de esta manera sean reinvertidos en el mejoramiento de la red.

7.1.6. APOYO INTERNACIONAL

- ▶ Existe un gran interés de la comunidad internacional para la investigación y el desarrollo de los recursos naturales; por lo tanto hay disposición hacia apoyar actividades de modernización de la red y la implementación de sistemas de información multidisciplinarios, como el que se propone en este caso.
- ▶ Se cuenta con una vasta experiencia técnica internacional en implementación de sistemas similares, por lo tanto, debe buscarse el intercambio de conocimientos en lo relativo a los sistemas actualmente operantes en la región.
- ▶ El financiamiento que proporcionan los programas de asistencia internacional, tanto para la iniciativa de mejoramiento de la red meteorológica, como para muchas otras áreas, es por tiempo limitado, aunque todos estos proyectos incluyen un componente de fortalecimiento institucional para permitir que en el futuro la misma organización pueda darle continuidad a los proyectos y convertirlos en alternativas sostenibles.

7.1.7. ANALISIS DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

- ▶ Existen dos tipos de sistemas de información geográfica consistentes en sistemas vectoriales y sistemas matriciales (ráster). Los sistemas vectoriales son caros y usualmente requieren hardware especializado, mientras que los sistemas ráster son mucho más baratos y flexibles. Los sistemas vectoriales se aplican en aquellas tareas que requieren conservar la precisión espacial, como catastro y planificación de obras, los sistemas ráster son utilizados cuando el análisis de tendencias y estimados son requeridos, como en el manejo de recursos naturales.

- ▶ La teledetección es una tecnología de muy alto potencial, ya que la riqueza de la información recogida es inigualada por otras metodologías, sin embargo, esta información requiere un procesamiento complejo y es utilizable en grandes extensiones debido a que la resolución espacial de las imágenes no permitiría aplicaciones como determinación de límites de propiedades o aplicaciones urbanas.

- ▶ La integración de información que se puede lograr a través de los sistemas de información geográfica permite que la información en que se basa la toma de decisiones en aspectos geográficamente condicionados sea mucho más adecuada, ya que permite relacionar variables que usualmente no serían tomadas en consideración, así como relaciones espaciales que no son obvias cuando la información no se maneja en un contexto geográfico.

- ▶ Los sistemas de posicionamiento global GPS son una herramienta que puede facilitar enormemente el monitoreo y las condiciones de campo. Sin embargo, no puede considerarse como una tecnología alternativa a la topografía tradicional, ya que en la actualidad aún no alcanza el grado de precisión de ésta.

7.1.8. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE INFORMACION

- ▶ En el país existe muy poca experiencia en la implementación de sistemas de información técnica que incorporen áreas que usualmente se han manejado separadas o con muy poca coordinación institucional.
- ▶ No hay bibliografía suficiente en las fuentes de consulta de nuestro país sobre sistemas de información geográfica. Por lo tanto, no hay facilidades para el aprendizaje y desarrollo en esta área para profesionales en las áreas de planificación regional y urbana, manejo de los recursos naturales e informática.
- ▶ No existe ningún sistema similar al propuesto en el país, aunque existen planes para integrarlo a corto plazo, como un sistema de información ambiental. En este sentido, el desarrollo deberá coordinarse con los esfuerzos realizados por otras instituciones.

7.2. RECOMENDACIONES

7.2.1. DISTRIBUCION DE LA INFORMACION

- ▶ El dato meteorológico es muy valioso para una gran cantidad de aplicaciones, sobre todo en planificación del manejo de los recursos naturales. Los usuarios principales dentro del país son instituciones del gobierno, como miembros de una misma institución -el estado- no debe cobrarse por la distribución de la información. Sin embargo, hay muchos usuarios en el sector privado, que emplean la información para soportar actividades lucrativas. Para ellos, deben establecerse tarifas y vender la información procesada, como una forma de autofinanciar el mantenimiento y expansión de la red.
- ▶ La División de Meteorología e Hidrología debe suscribirse a redes de comunicación internacional para el intercambio de información climatológica y ambiental, con otros países de la región.
- ▶ Debe trasladarse a la mayor brevedad posible aquellas tareas que puedan realizarse con apoyo de equipo de cómputo con dos finalidades: reducir el tiempo requerido para la verificación de la información y agilizar el proceso de alimentación de la base de datos.
- ▶ Es necesario adquirir más equipo de cómputo para permitir la participación de mayor cantidad de personas en la alimentación de las bases de datos, así como también para la elaboración de otros productos de la División relacionados con su operación. Este equipo, sin embargo, no requiere ser muy sofisticado ni de alta capacidad.
- ▶ Debe capacitarse a todo el personal que trabaja con el control y procesamiento del dato y con el análisis de información climatológica en el manejo de programas de computadora, tanto para aplicaciones específicas, como en paquetes de aplicación general.

7.2.2. AMPLIACION DE LA RED

- ▶ Se debe buscar que se destine mayores recursos al mantenimiento y equipamiento de la red meteorológica e hidrológica, porque de lo contrario, al deteriorarse el equipo se irá produciendo una contracción en la capacidad de producir información en volúmenes adecuados.
- ▶ El mantenimiento de la red de estaciones requiere que se destine permanentemente una parte muy grande del presupuesto de la institución a la reparación y reemplazo del instrumental. En esta división, tiene una importancia fundamental que todo el equipo esté en perfectas condiciones y correctamente calibrado.
- ▶ De ser posible, se debe financiar la restauración de las estaciones Climatológicas Tipo A que fueron abandonadas durante el período bélico en el país. Ya que el monto es muy elevado, se deberá incorporar en los presupuestos de la División el costo distribuido en no más de 5 años.
- ▶ Si se recibe la donación de las estaciones automáticas, por parte del proyecto PROMESA, deberá mantenerse una estricta vigilancia de las mismas. De preferencia ubicarlas en el mismo sitio o en un lugar muy cercano a una estación Principal CP3 por un período de unos tres meses para contrastar las lecturas obtenidas por cada método.

7.2.3. SOSTENIBILIDAD DE LAS MEJORAS

- ▶ Se debe promover la comercialización del dato climatológico hacia los usuarios del sector privado para permitir que a mediano plazo la operación de la red pueda financiar al menos los costos de mantenimiento y monitoreo de la red.
- ▶ El plan de monitoreo de las estaciones será una herramienta para un mejor control del estado del instrumental en las estaciones. Por lo tanto, esta es una inversión prioritaria. Se debe incluir dentro de los presupuestos anuales de operación de la división los costos de dicho plan.

7.2.4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE INFORMACION

- ▶ Las aplicaciones que se plantean para el sistema de información en este estudio sugieren que el SIG implementado sea de estructura ráster. No se requiere alta precisión espacial, sino la capacidad de hacer estimaciones y proyecciones basados en el análisis de tendencias históricas.
- ▶ El sistema de información geográfica debe ser implementado por etapas en las diferentes instituciones que colaborarán con la recopilación de los datos y con el análisis y modelaje.
- ▶ El equipo que se adquiera para el sistema de información geográfica debe ser tratado con mucho cuidado y ser considerado dentro de un plan de mantenimiento preventivo permanente.
- ▶ Ya que el costo implicado en la recopilación de la información es el más alto en el manejo y operación de sistemas de información geográfica, se debe tener un cuidado especial en la creación periódica de respaldos de la información.

RESUMEN

El "Estudio Sobre la Red de Registro de Datos Climatológicos en El Salvador y Propuestas para su Mejoramiento y Automatización" se compone de la siguiente forma:

- ▶ El Capítulo I, "Introducción", presenta la base que fundamenta el estudio, consistente en la identificación y delimitación del problema. En este capítulo se indica a grandes rasgos el procedimiento a seguir para efectuar el diagnóstico de la red, así como para determinar las propuestas de mejoramiento y el diseño del sistema de información.
- ▶ El Capítulo II, "Conceptos Básicos, Climatología y Ciencias Afines", muestra las áreas que abarca el estudio en forma general, a fin de proporcionar un marco de referencia para el lector. Se describe de una manera breve el ámbito de cada una de las ciencias relacionadas con la información climatológica y conceptos elementales relativos, como hidrología, geografía y medio ambiente. Finalmente, este capítulo identifica a la institución que internacionalmente norma la toma de la información meteorológica, la Organización Meteorológica Mundial.
- ▶ El Capítulo III, "Variables Climatológicas", presenta los conceptos técnicos relacionados con la caracterización, estudio y análisis de las variables climatológicas, así como también una descripción climática de El Salvador. De esta manera se describe el instrumental empleado en la medición de temperatura, viento, presión atmosférica, radiación solar, precipitación y humedad, haciendo énfasis en las condiciones que rigen el comportamiento de cada una de estas variables. Este capítulo presenta figuras y esquemas para permitir una mejor comprensión del instrumental y la estructura física requerida en las instalaciones climatológicas. Se habla además de los métodos estadísticos aplicados al análisis climatológico, en diversas funciones, como validación y relleno de información. Para cerrar el capítulo se hace una descripción del comportamiento de las variables antes mencionadas en el territorio nacional, y sus tendencias estacionales.

- ▶ El Capítulo IV, "Sistemas de Información Geográfica", proporciona una introducción a las tecnologías de informática relacionadas al manejo de sistemas de información geográfica, utilización de imágenes de satélite y sistemas de posicionamiento global. Se indica la existencia de dos categorías de sistemas de información geográfica (vectoriales y matriciales), presentando las ventajas/desventajas de cada uno de éstos. El capítulo habla también sobre las alternativas de teledetección, describiendo los principios físicos de la toma de datos y los diversos programas de monitoreo por satélite que actualmente se realizan en el planeta. Sobre la tecnología de Posicionamiento Global, se habla del funcionamiento de la misma, y sus limitaciones, así como de las ventajas que ofrece para verificación y control de la información levantada por otros métodos. Se mencionan, finalmente, algunas de las aplicaciones más conocidas de los sistemas de información geográfica.

- ▶ El Capítulo V, "Estudio de la Red de Registro de Datos Climatológicos en El Salvador y Propuestas para su Mejoramiento", da a conocer la situación actual de la División de Meteorología e Hidrología, principal sujeto del estudio, en cuanto a organización administrativa, problemas operacionales, capacidad instalada y procesamiento de la información. Aquí se presentan las propuestas para mejoramiento de la red, las cuales enfocan la implementación de un plan de monitoreo, la ampliación de la red climatológica existente, y la capacitación de personal. Se han elaborado los presupuestos para la implementación de estas propuestas, seleccionando el más factible técnica y económicamente.

- ▶ El Capítulo VI, "Diseño del Sistema de Información Climatológica", describe las especificaciones técnicas para la implementación de un sistema de información multidisciplinario, indicando los requerimientos funcionales y operacionales del sistema, la coordinación interinstitucional requerida y el equipo y software capaz de soportar las tareas de planificación y administración de los recursos naturales que se apoyarán en ésta herramienta.

- ▶ En el Capítulo VII, "Conclusiones y Recomendaciones", se resume el producto de toda la investigación realizada. Este producto ha sido la determinación de las condiciones

en que actualmente opera la Red de Registro de Datos Climatológicos y la identificación de alternativas para el mejoramiento de la red, las cuales incluyen la capacitación de personal, la ampliación de la red, el fortalecimiento del programa de monitoreo de estaciones y la instalación de un sistema de información para el soporte de decisiones sobre planificación de los recursos naturales.

Como se indica en este capítulo, la División de Meteorología e Hidrología cuenta con personal altamente calificado, y equipamiento como para lograr un nivel de operación más elevado. Se requiere que los recursos existentes sean optimizados; pero también es necesario proporcionar un mayor apoyo económico de manera que se pueda dar cubrimiento a las necesidades de información de los diferentes usuarios de ésta.

A raíz de las conclusiones enumeradas en este capítulo surgió la presentación de varias alternativas para el mejoramiento de la red, de las cuales se ha elegido una alternativa que contempla la ampliación de la red meteorológica incluyendo tanto la recuperación de las estaciones suspendidas, como la incorporación de estaciones automáticas y el establecimiento de un sistema de información de carácter interdisciplinario que sea coordinado por la División de Meteorología e Hidrología.

El costo de realizar la propuesta seleccionada es de ¢ 3,971,720. Como se puede observar el costo es elevado, pero el monto se justifica en el valor de la información permanentemente actualizada que esta inversión generaría, así como la mayor capacidad de análisis para los planificadores que llevaría a un aprovechamiento óptimo de los recursos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aguirre Bonilla, Rogelio Arturo
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Dirección General de Recursos Naturales Renovables
Servicio Meteorológico
Manual de procedimientos para la elaboración de décadas como base de los resúmenes climatológicos mensuales
Junio de 1993
2. Alford, Donald
Documento Técnico: Integrated GPS/GIS Mapping and International Development Assistance
GEO Research Inc.
Abril de 1992
3. Brown, Clint
Artículo: Three Elements of GIS Success
Revista: GIS Trends, Summer 1989
Environmental Research Institute
4. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Agroambiente
San José, Costa Rica
5. Chacón Zúñiga, Abigail
Agroclimatología
Universidad Estatal a Distancia.
San José, Costa Rica

6. Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa
Breves Anotaciones sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica
Curso Taller "Diseño de Sistemas de Conservación de Suelos"
Marzo de 1993

7. Dangermond, Jack
Artículo: The Organizational Impact of GIS Technology
Revista: GIS Trends, Summer 1989
Environmental Research Institute

8. Digital Equipement Corporation
Folleto promocional: Powerful Solutions to Meet Critical Challenges
Digital Equipement Corporation
Sin fecha

9. División de Meteorología e Hidrología, Centro de Estudios sobre los Recursos Naturales,
Ministerio de Agricultura, República de El Salvador
Almanaque Salvadoreño
Soyapango, El Salvador
1994

10. Eastman, Ronald J.
Idrisi Version 4.1, Users Guide & Update Manual
Clark University
Worcester, Massachusetts
Septiembre, 1993

11. Envirotech Consultants
Documento: An Evaluation of the Current Use and Need for Geographic Information
Systems Technology in El Salvador
San Salvador, El Salvador
Septiembre, 1994

12. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática / Groupement Pour le Développement de la Teledétention Aérospatiale
Material de Apoyo del Seminario "La Percepción Remota y Los Sistemas de Información Geográfica en la Obtención y el Manejo de Información sobre Agricultura y Recursos Naturales"
Aguascalientes, México
Octubre, 1994

13. INTERA
High Resolution Radar for Tropical Forestry and Land Use Applications
INTERA
San Salvador, El Salvador
1992

14. INTERA
Radar: a Key Tool for Exploration in the 90's
INTERA
San Salvador, El Salvador
1992

15. Linsley, Kohler, Paulus
Hidrología para Ingenieros

16. Lowell, Kim E.
Artículo: Mapping Ecological Succession on a Federal Wilderness Area
Revista: Erdas

17. Mijares, Francisco Aparicio
Apuntes de Hidrología de Superficie
Universidad Nacional Autónoma de México

18. Ministerio de Agricultura y Ganadería
Documento: Plan de Trabajo de la Contrapartida al Proyecto PRIMSCEN
Noviembre de 1993

19. Ministerio de Agricultura y Ganadería,
Oficina Sectorial de Planificación Agropecuaria, División de Planificación y Estrategia
Institucional
Manual de Organización de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables
Septiembre de 1992

20. Ministerio de Cultura y Comunicaciones, República de El Salvador
Geografía de El Salvador
San Salvador, El Salvador
1986

21. Natural Resources Institute (NRI)
Documento: Propuesta Técnica para la Configuración e Instalación de una Red
Receptora de Datos de Satélites para el Monitoreo del Avance de la Frontera Agrícola
en Centro América
Natural Resources Institute (NRI)
Kent, United Kingdom
1994

22. Orjellana Avilés, José Ernesto.
Tesis: Procedimientos Estadísticos Aplicados a la Hidrología
Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador
San Salvador, El Salvador
1967

23. Organización Meteorológica Mundial
Folleto: Protección de la Atmósfera, los Océanos y los Recursos Hídricos:
Aprovechamiento Racional de los Recursos Naturales, La OMM y la CNUMAD
1992

24. Patillo, Carlos / Ponce, Raúl / Pozo, Verónica
Folleto: Texto Guía y Ejercicios en Sistemas de Información Geográfica
Universidad Católica de Chile, Programa de Percepción Remota y SIG
1992

25. Proyecto Agricultura Sostenible
Documento: Sistemas de Recolección de Datos Ambientales
FAO
Sin fecha

26. Proyecto PRIMSCEN
Agencia Finlandesa de Desarrollo Internacional /
Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Istmo Centroamericano
Brochure de presentación del Proyecto
(Sin fecha)

27. Rhind, David
Artículo: Why GIS?
Revista: GIS Trends, Summer 1989
Environmental Research Institute

28. Saborío, J.
Procesamiento de Imágenes con el Sistema Idrisi
Proyecto Apoyo al Desarrollo Institucional de la Comisión
Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
Guatemala, Guatemala
Mayo, 1994

29. Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura y Ganadería
Documento de Trabajo: Clasificación de la Información Básica Existente por Area de Estudio
Secretaría Ejecutiva del Medio Ambiente
San Salvador, El Salvador
Mayo, 1992

30. Senn, James A.
Análisis y Diseño de Sistemas de Información (2a Edición)
McGraw Hill
1991

31. Servicio de Meteorología e Hidrología, Centro de Estudios sobre los Recursos Naturales,
Ministerio de Agricultura, República de El Salvador
Almanaque Salvadoreño
Soyapango, El Salvador
1989

32. Troya Rodríguez, José Vicente
Artículo: El Deterioro Ecológico: un problema multidimensional
Periódico: La Prensa Gráfica
San Salvador, El Salvador
Febrero de 1994

33. Vanegas Rodríguez, Nelson Edgardo / Coto López, Herbert René
Tesis: Análisis, Diseño, Programación e Implementación de una Base de Datos
Climatológica de El Salvador para ser Implementada en un Computador Personal
con Fines de Planificación.
Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad Salvadoreña
San Salvador, El Salvador
1990

34. Valdivia, Freddy (Conferencista)
Seminario: Diseño e Implementación de Sistemas de Información Geográfica
Woolpert International Inc.
Febrero de 1994

35. Velasco Morán, José
Tesis: La Hidrología en El Salvador
Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador
San Salvador, El Salvador
1963