

351.78  
V433H  
1963  
F. Ing. Arq.  
Cj. 3

069896

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



“LA HIDROLOGIA EN EL SALVADOR”

TESIS

PRESENTADA POR

JOSE VELASCO MORAN

PREVIA A LA OPCION DEL TITULO

DE

INGENIERO CIVIL

SAN SALVADOR,

EL SALVADOR,

CENTRO AMERICA



1963

UES BIBLIOTECA CENTRAL



INVENTARIO: 10123506

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DR. FABIO CASTILLO

SECRETARIO GENERAL:

LIC. MARIO FLORES MACALL

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. GERMAN ROQUE MOLINA

SECRETARIO:

ING. JOSE NAPOLEON GOMEZ



J U R A D O S

PRIMER EXAMEN GENERAL PRIVADO:

ING. GUILLERMO IMERY

ING. VICTOR MANUEL DUARTE

ING. RODOLFO YENKIS

SEGUNDO EXAMEN GENERAL PRIVADO:

ING. LEOPOLDO NOTARBARTOLO

ING. GUSTAVO CARTAGENA

ING. ANGEL DUARTE

EXAMEN DE TESIS:

ING. JORGE ERNESTO CAMPOS

ING. ENRIQUE JOVEL

ING. GUIDO ARMANDO LUCHA

DEDICATORIA

EN MEMORIA DE MI MADRE

A MI QUERIDA ESPOSA CORDE;

A MIS HIJOS JOSE MAURICIO,

MANUEL ANTONIO Y ANA CECILIA

A MI PADRE JOSE VELASCO O.



LA HIDROLOGIA EN EL SALVADOR

D E S A R R O L L O

=====

- 1) Historia de la Hidrología en El Salvador.
- 2) Generalidades sobre Hidrología.
- 3) Aparatos usados en Hidrometría.
- 4) Forma de Trabajo.
- 5) Estaciones Hidrométricas.
- 6) Evaluaciones fluviométricas.
- 7) Cuencas Hidrográficas.
- 8) Presentación de datos.
- 9) Recomendaciones.

## PROLOGO

Desde el apareamiento del hombre sobre la tierra, su principal preocupación fué la de proveerse de los medios necesarios para su subsistencia, no te niendo mas que los que la naturaleza le brindaba en forma espontánea.

En un principio los hombres se agrupaban en tribus nómadas, que deambulaban en busca de lugares abundantes en alimentos, pero con el correr de los si glos y debido a los cambios climatológicos y al crecimiento de las tribus, -- les fué imposible continuar con esa forma de vida, dandose cuenta que podian establecerse en lugares fijos al combinar su alimentación de carne por vegetales; siendo así el inicio de la agricultura, observaron además que la agricultura estaba ligada estrechamente con la feracidad de la tierra y con el agua, y para no depender exclusivamente de la lluvia, se establecieron a la orilla de los ríos y lagos que dieron por resultado las aldeas y ciudades, cunas de las grandes urbes modernas.

Se puede ver a lo largo de la historia el florecimiento de grandes culturas en las márgenes de los ríos, como en la Mesopotamia entre los ríos Tigris y Eufrates; la India en los ríos Ganges o Hindus, La China en los ríos Hoang Ho y el Yang-Tse-Kiang y en fin Egipto que se desarrolló gracias a las inundaciones periódicas del río Nilo. En America se pueden citar el imperio Azteca e Inca como ejemplos del aprovechamiento del agua en el florecimiento de sus culturas.

A medida que la superficie de la tierra se ha ido poblando, las necesidades de alimento han sido mayores, recurriendo a la explotación de la tierra - en forma mas efectiva y técnica; las ciudades crecieron en forma fabulosa, te niendo la urgencia de abastecerse de agua potable para el consumo de los habitantes; con la invención de la electricidad, se buscó la forma de producirla económicamente, y se recurrió al agua, obteniéndose resultados magníficos; se utiliza como medio de transporte, en fin todas las actividades humanas están relacionadas con ese precioso líquido llamado agua.

Pero ha medida que se usa se ha incrementado en la vida del hombre, al mis mo tiempo se ha hecho cada vez más escasa, tropesando con problemas muy complejos para usarla con el máximo de economía, viéndose en la necesidad de cono-- cer el comportamiento del agua, con estudios especiales, naciendo así, la --- ciencia hidrológica.

## CAPITULO I

### HISTORIA DE LA HIDROLOGIA EN EL SALVADOR

El Salvador es un país que está ubicado sobre la costa del Océano Pacífico en Centro América, entre los 13 grados 10 minutos y 14 grados 26 minutos 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 aproximada de 21,000 km<sup>2</sup>.

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 del 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 metros, siendo el de Santa Ana el más alto con una elevación sobre el nivel del mar de 2,385 metros; en esta zona se encuentra el volcán de Izalco que estuvo en actividad hasta hace poco tiempo.

A lo largo del territorio se encuentran varios lagos, siendo los más importantes: la laguna de Coatepeque, el lago de Güija, 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 km<sup>2</sup>, en este río se encuentra la presa "5 de Noviembre" y una gran central hidroeléctrica.

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 desagüe 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 desemboca en el "Golfo de Fonseca". Los demás ríos con excepción de los tributarios ya mencionados, son corrientes generalmente cortas, de menor importancia.

El Salvador es un país con pocos recursos hidráulicos superficiales y siendo estos básicos en el desarrollo nacional se debe buscar la forma de utilizarlos al máximo, pero desgraciadamente los estudios hidrológicos han sido iniciados desde hace poco tiempo en una forma general. En la rama de la meteorología se cuenta con registros de lluvia de aproximadamente 40 años, de la zona de San Salvador, recopilados por el Instituto Tropical de Investigaciones Científicas, de distintas dependencias gubernamentales y privadas, principalmente de la Compañía de Ferrocarriles Internacionales de Centro América que opera una red de pluviómetros instalados en distintos lugares de su recorrido.

Desde hace varios años funciona el Servicio Meteorológico Nacional, que cuenta con instalaciones meteorológicas, distribuidas en todo el territorio, registrando datos de lluvia, viento, temperatura, radiación solar, etc. 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., iniciándolo en el año de 1942, previos a la construcción de la presa mencionada. Para llevar a cabo estos trabajos se formó la Comisión Ejecutiva del Río Lempa (C.E.L.), la que ha continuado el estudio hasta la actualidad, haciendo mediciones en los tributarios del Lempa; tales como el Guajoyo, Sumpul, etc. y construyendo la presa en el desagüe del lago de Güija, para aumentar el potencial eléctrico en el país, cuya demanda cada día es mayor.

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

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 de agua 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.

En el año de 1957 la compañía norteamericana Tipptts, Abbett, Mac Carthy Stratton of Panamá, presentó un reporter del estudio encomendado de investigar las áreas con posibilidades de riego y drenaje y el control de crecidas en El Salvador, recopilando datos de meteorología, climatología, hidrología, topografía, etc., relacionados con las áreas en estudio.

La cuenca del río Sucio también ha sido ampliamente estudiada, habiendo varios proyectos de riego y drenaje de esta zona, el primero de los cuales fué presentado por el Centro Nacional de Agronomía; luego siguieron los "Estudios Hidrológicos del Río Sucio", por el Ing. Enrique Jovel; "Estudio y aprovechamiento de los recursos hidráulicos del Valle de Zapotitán" por el Ing. Guido A. Lucha y finalmente el proyecto realizado por la compañía holandesa Grontmy; que está próximo a construirse.

También 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.

Y para concluir esta serie de trabajos hidrológicos, se puede contar el estudio de las aguas subterráneas del Valle del río Grande de San Miguel, ejecutado por la comisión del mismo nombre.

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, fué que en 1956, se fundó la Sección de Estudios Hidrológicos en el Departamento de Ingeniería de la Dirección General de Agricultura; cuyo primer Jefe fué 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.

Se adquirieron molinetes hidráulicos, para medir la velocidad de las corrientes y aparatos registradores automáticos de nivel, el primero de los cuales fué instalado en el río Sucio, en el paso de la Carretera Panamericana; actualmente hay 22 limnigrafos en funcionamiento instalados en diferentes ríos, como puede verse en el cuadro explicativo en el capítulo N° 5.

GENERALIDADES SOBRE HIDROLOGIAImportancia de los recursos naturales.

La base de la economía y progreso de los pueblos, está relacionada muy es trechamente con los recursos naturales de que se dispone, que no son más que una riqueza en potencia que la naturaleza ha dado a cada comunidad, que explotados en una forma bien orientada, sirven para el bienestar social y económico de la humanidad.

Para que esta riqueza sea utilizada correctamente, se necesita ante todo conocer: su clase, su cuantía, su calidad, etc., para tener una idea clara de la forma en que puede ser aprovechada.

De los recursos naturales, quizás los más importantes, son los recursos - hidrúlicos, pues de ellos depende en gran parte la riqueza con que cuenta un país; por recursos hidrúlicos se entiende, todas aquellas cantidades de agua, ya sea en cursos como los ríos, en depósitos superficiales como los lagos o - en depósitos subterráneos, que en una u otra forma pueden ser aprovechados para beneficio de la humanidad.

El agua es de suma importancia en la vida del hombre y la vemos relacionada con todas sus actividades; así, se utiliza en la agricultura, en instalaciones hidroeléctricas, en la industria, en fin en las ciudades en forma potable, es imprescindible para dar alimento y bienestar a sus habitantes.

Pero también, cuando por fenómenos naturales incontrolables, se rompe el equilibrio de los elementos, el agua en grandes torrentes, produce inundaciones y como consecuencia desolación y muerte; la historia es rica en ejemplos de esta naturaleza y en la actualidad en muchos puntos de la tierra, año tras año ocurren tragedias motivadas por el desbordamiento de los ríos, dejando -- pérdidas lamentables.

De todo lo anterior se desprende la importancia del estudio de los recursos hidrúlicos, de la cual se ocupa la ciencia conocida con el nombre de Hidrología.

Hidrología.

Hidrología es la rama de la Geografía Física que trata del estudio y comportamiento del agua, en sus distintos estados, en el globo terrestre.

El agua en estado de vapor, se acumula en la atmósfera y forma las masas gaseosas, que conocemos con el nombre de nubes; estas nubes al ascender a las capas frías superiores, se condensan y se precipitan sobre la tierra. Del agua precipitada, una parte se evapora nuevamente, otra se infiltra en la tierra, formando los estratos acuíferos que dan origen a los manantiales, otra parte es consumida en su proceso vegetativo por las plantas y el resto se escurre sobre la superficie de la tierra, formando juntamente con el agua subterránea que aflora a la superficie, las corrientes naturales, o ríos, estos -- llegan al mar o a los lagos, y aquí y en todo su recorrido, por intervención del sol y el viento, el agua se evapora y el proceso se repite, recibiendo es te fenómeno el nombre de Ciclo Hidrológico.

La Ecuación del equilibrio hidrológico en su forma más simple, se puede - escribir así:

$$P = E + V + I + R$$

P = Precipitación

E = Evaporación

V = Transpiración

I = Infiltración

R = Escorrentilla

De todos los factores que intervienen en la ecuación, los más difíciles de obtener son la infiltración y la transpiración, debido a la gran variedad de causas que intervienen en su funcionamiento, pero si se conocen los demás factores, se puede conocer  $I + V$ ; en último caso se puede conocer aproximadamente; aunque con gran dificultad, la infiltración.

La hidrología se divide en varias ramas, que tratan específicamente cada una un factor determinado: La hidrometría estudia las corrientes superficiales; la hidrogeología estudia el agua subterránea; la hidrometeorología se ocupa del agua precipitada y sus distintos fenómenos y en fin la ciencia que se ocupa del estudio de los lagos, lagunas, etc.

### PRECIPITACION

La palabra Precipitación usada en hidrología, consiste, en todas aquellas cantidades de agua depositadas en la superficie terrestre, provenientes del vapor de agua atmosférico; presentándose en distintas formas, como son: La neblina, la lluvia, el rocío, el granizo y la nieve. Generalmente se usan los términos, precipitación y lluvia indistintamente para nombrar las formas mencionadas, a menos que se indique lo contrario.

### VAPOR DE AGUA

El antecedente de la precipitación es el vapor de agua y siendo un gas atmosférico, obedece como tal, a las mismas leyes de los gases, siempre que esté sujeto a temperaturas y presiones que no lo lleven al punto de condensación; su origen principal es la evaporación del agua de los océanos, los lagos, los ríos, la humedad del suelo y por la transpiración de las plantas; siendo la principal fuente la evaporación de los océanos.

El aire al mezclarse con el vapor de agua, está sujeto a cambios en su contenido de humedad, de acuerdo a las variaciones de presión y de temperatura; si con una presión constante, el aire húmedo se enfría hasta llegar al punto de saturación, la temperatura correspondiente recibe el nombre de "Punto de Rocío", por ser cuando se forma el rocío, ocurriendo a una temperatura arriba de  $0^{\circ}$  C.; si el enfriamiento continúa por debajo de  $0^{\circ}$  C., se formará la escarcha.

### CONDENSACION

Condensación es el fenómeno por el cual el vapor de agua se cambia al estado líquido o sólido.

En la superficie del agua, la evaporación y la condensación se producen simultáneamente, si la evaporación es mayor que la condensación, se dice que no hay saturación; cuando ambos fenómenos se equilibran, existe la saturación.

Quando en la atmósfera hay una sobresaturación, invariablemente aparecen núcleos de condensación, siempre que las condiciones sean favorables a este fenómeno.

Se puede decir que la condensación del vapor de agua comienza con la formación de las nubes, las cuales a su vez producen la precipitación, advirtiendo que no todas las nubes son capaces de producir precipitación, diferenciando los factores que producen condensación y aquellos que producen la precipitación.

La condensación se produce por los factores siguientes:

- 1) Enfriamiento adiabático o dinámico
- 2) Mezcla de dos masas de aire a diferentes temperaturas
- 3) Enfriamiento por contacto
- 4) Enfriamiento por radiación

La condensación producida por enfriamiento de mezcla, contacto y radiación es tan pequeña que rara vez producen precipitación, siendo ésta general-



mente producida por la condensación adiabática.

## FORMACION DE LA PRECIPITACION

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 0.01 mm. 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 solo 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, según Linsley, Rholer and Paulus.

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

- 1) Conveccional
- 2) Orográfica
- 3) Ciclónica

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 hemos visto, la precipitación es el resultado de un gran número de factores como son el viento, clima, topografía, posición geográfica, etc., fenómenos todos estudiados por la meteorología, pero la parte más importante en la hidráulica es la precipitación en sus distintas formas como son la lluvia, nieve, granizo, escarcha, etc., que es la que produce el escurrimiento, tema principal de este trabajo.

Así pues el volumen de las precipitaciones atmosféricas determinan el de las aguas terrestres siendo de suma importancia su medida; estas mediciones se efectúan en las llamadas estaciones meteorológicas, instaladas en casi todos los países del mundo.

Estas estaciones cuando son completas, están equipadas con un gran número de instrumentos destinados a medir los distintos fenómenos meteorológicos; el aparato destinado a medir la lluvia se llama pluviómetro o pluviógrafo si además da un registro continuo de la misma. Corrientemente el resultado de las mediciones se expresan en milímetros de altura de agua y se designa convenientemente con el nombre de altura de lluvia.

Las precipitaciones varían corrientemente en un mismo país, y aumentan con la altitud, siendo mayores en las laderas de las montañas expuestas a los vientos, produciéndose en la ladera opuesta una zona que se puede llamar sombra pluviométrica.

## PLUVIOMETRO

Hay pluviómetros de varios tipos, siendo el de Hellman el más usado. Este pluviómetro consta esencialmente de un depósito cilíndrico de lámina galvanizada, en cuyo interior se aloja un recipiente del mismo material, al cual -

se llama vaso medidor, porque en él se mide la cantidad de lluvia caída; la tapa del cilindro está formada por un embudo receptor, terminado en la parte superior en una arista viva y en la parte inferior termina en una pequeña abertura, que descarga en el vaso medidor, en la abertura tiene un tapón que evita la entrada de cuerpos extraños en el vaso.

La boca del pluviómetro o sea la arista viva, está formada de un anillo = reforzado de bronce que tiene 226 milímetros de diámetro; el vaso medidor tiene un diámetro de 71 milímetros y una altura de 20 cm.

Como se puede comprobar el área de la sección del vaso medidor es 10 veces menor que la del embudo, esta relación de áreas hace que cada milímetro de altura real de precipitación, se amplifique en el vaso medidor diez veces más, es decir cada centímetro en el vaso equivale a un milímetro de altura real de precipitación, y así poder leer con facilidad las décimas de milímetro.

El pluviómetro está protegido por una caja de madera que además de servir de protección, evita que se caliente demasiado y produzca evaporación con la consiguiente pérdida de agua que interesa medir.

### OPERACION

Como la lluvia se recibe en el vaso medidor, las mediciones se hacen en él, con la ayuda de una regla de madera graduada de 1 a 20 cm., o con una probeta graduada para obtener mayor precisión.

Se quita el embudo y se saca el vaso medidor, se introduce la regla en él y se lee la altura hasta donde está mojada la regla, teniendo cuidado de leer hasta los décimos de cm.

\* En caso de lluvias muy fuertes en que el vaso medidor se llena y el agua se derrama, esta cae en el cilindro exterior; al hacer las medidas después de medir el agua del vaso, esta se bota y se echa en él, el agua que contiene el cilindro, hasta su última gota y se mide de la misma manera y la altura de lluvia caída será la suma de todas las lecturas hechas.

Es importante revisar diariamente el pluviómetro y dejarlo listo aún en tiempo seco, pues podría ocurrir que cayera alguna lluvia que afectaría las posteriores lecturas si no se vacía a su debido tiempo.

Las lecturas así obtenidas se anotarán en cuadros especiales para su posterior análisis.

### PLUVIOGRAFO

Es un aparato mucho más completo que el pluviómetro puesto que da un registro continuo de la lluvia caída, permitiendo medir las intensidades de precipitación, dando la hora del principio y final de la lluvia, permite conservar las gráficas de lluvia y no necesita una observación tan continua como el caso del pluviómetro, que tiene que ser diaria.

El pluviógrafo registra las alturas de lluvia, mediante una plumilla entintada, en una foja de papel especial para gráficas, la cual está graduada horizontalmente en horas y minutos y verticalmente en milímetros y décimos de milímetros. Esta hoja está arrollada a un cilindro que gira por medio de un mecanismo de reloj. Exteriormente el pluviógrafo consta de un cilindro exterior metálico, que termina en su parte superior en un embudo, que tiene una abertura, que comunica por medio de un tubo metálico a un depósito interior provisto de un flotador, el cual transmite a la plumilla inscriptora mediante un trazo, las variaciones de nivel de agua. El área de la entrada como en el pluviómetro es 10 veces mayor que el depósito interior, con el objeto de que las alturas de nivel sean 10 veces mayores en el depósito. Cuando el depósito se llena, un sifón de vidrio se encarga de desalojar el agua y el flotador vuelve entonces a su posición inicial, cero, repitiéndose el proceso según la intensidad de lluvia caída. El agua por el sifón es recogida por un colector o totalizador usado como medio de comparación.

Uno de los problemas más importantes en hidrología, es el cálculo de los volúmenes de agua caída en una cuenca dada; debido a que la precipitación no es uniforme en toda ella; existen varios métodos de cálculo de los cuales los mas usados son: el de la media aritmética, el de las isoyetas y el polígono de Thiessen; adelante se explica cada uno de ellos.

TOTALES MENSUALES Y ANUALES DE LA PRECIPITACION  
 PLUVIAL EN MILIMETROS, REGISTRADOS EN CUATRO ES  
 TACIONES METEOROLOGICAS PROPIEDAD DEL M. A. G.  
 AÑO 1961

MESES	SANTA TECLA	SAN ANDRES	POSTA DE IZALCO	STA. CRUZ PORRILLO
ENERO	2.5	8.1	1.3	-
FEBRERO	0.8	10.5	2.1	1.0
MARZO	26.1	16.8	5.2	27.2
ABRIL	27.6	49.3	117.8	34.8
MAYO	80.5	100.4	250.8	75.6
JUNIO	187.1	168.2	251.2	201.2
JULIO	422.6	351.6	455.9	418.9
AGOSTO	217.1	199.5	274.0	124.7
SEPTIEMBRE	574.3	524.6	1016.2	474.6
OCTUBRE	165.7	113.6	202.4	243.5
NOVIEMBRE	141.8	114.5	284.3	162.5
DICIEMBRE	80.6	87.3	38.6	11.4
TOTAL ANUAL. . .	1926.7	1744.4	2899.8	1775.5
PRECIPITACION MAXI MA DURANTE 24 HO-- RAS.	158.8	175.0	350.6	74.8
FECHA	7 Septiembre	8 Septiembre	8 Septiembre	18 de Julio
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA ANUAL	124	119	136	105

## EVAPORACION

La evaporación es una parte importante del ciclo hidrológico y consiste - en términos generales en el proceso por el cual, el agua precipitada sobre la tierra vuelve a la atmósfera en estado de vapor; pueden considerarse varias - formas de evaporación como son: la que se produce en la superficie del agua, en la superficie del suelo, en la superficie de la vegetación y también la -- transpiración de las plantas; llamándose a todo el conjunto evapo-transpira-- ción.

Todo cuerpo está formado por un gran número de moléculas, cada una de las cuales se encuentra en constante movimiento, con velocidad variable y en distintas direcciones; siendo la velocidad promedio de todas las moléculas de di-- cho cuerpo, las que determinan su temperatura, considerándose que a una tempe-- ratura de cero absoluto, todo movimiento molecular cesa. También las molécu-- las se atraen entre sí por fuerzas que son inversamente proporcional al cua-- drado de sus distancias y directamente proporcional al producto de sus masas.

En una masa de agua, sus moléculas obedecen a los mismos principios ex--- puesto y aquellas partículas que se encuentran cercanas a la superficie, ade-- más de la energía cinética propia, son empujadas por decirlo así, por las o-- tras partículas situadas abajo de ellas, saliendo de la masa de agua al aire atmosférico, formando una capa de vapor de agua sobre la superficie del agua; pero en las moléculas del vapor se produce el mismo fenómeno y las que tienen más energía, entran a la masa de agua, produciéndose un intercambio de molécu-- las de un medio al otro. Cuando la cantidad de moléculas que salen del agua, es mayor que las que entran, se produce el fenómeno de la evaporación, en el caso contrario, la condensación.

La evaporación está afectada por varios factores conocidos, pero no se -- puede saber el efecto particular de cada uno, debido a las interrelaciones de los mismos, siendo estos factores: Presión del vapor en la superficie del -- agua y, el aire sobre ella, la temperatura, el viento, la presión atmosférica y la composición química del agua.

## PRESION DEL VAPOR

Cualquier gas ejerce una presión debido a la energía cinética de sus molé-- culas; en una mezcla de gases cada uno ejerce una presión parcial independien-- te de los otros gases. La presión parcial ejercida por el vapor del agua es lo que se llama Presión del Vapor.

Si llamamos P. a la presión ejercida por el aire húmedo confinado en un - recipiente cerrado y si quitamos el vapor del agua, la presión del aire será P' que es menor que P entonces la diferencia de estas presiones será la pre-- sión del vapor del agua  $P - P' = E$ .

Lo mismo sucede en general en la superficie libre del agua; se forma una pequeña capa de vapor sobre ella que tiene una presión P y el aire situado so-- bre el vapor de agua tiene una presión P'; entonces la razón por la cual las moléculas salen del agua depende de la presión del vapor, igualmente la razón por la cual las moléculas del agua entran en ella, depende del valor de la -- presión del aire; y la evaporación a su vez depende de la diferencia de estas presiones y se puede decir que es proporcional a ella, produciéndose hasta -- que ambas presiones se equilibran.

Este principio conocido como la Ley de Dalton se expresa por la fórmula:

$$E = C (P - P')$$

En la cual E es la evaporación, P es la presión del vapor en la capa for-- mada sobre la superficie del agua o dicho en otras palabras, es la máxima pre-- sión del vapor correspondiente a la temperatura del agua; P' es la presión en el aire arriba de la capa del vapor de agua, y C es un coeficiente que depen-- de de la presión barométrica, velocidad del viento y otros factores.

TEMPERATURA

La temperatura juega un papel importante en la formación de la evapora--- ción pues experimentalmente se ha comprobado que la evaporación se incrementa con el aumento de la temperatura debido al aumento de la presión del vapor -- que en experiencias realizadas se ha visto que este aumenta aproximadamente -- al doble con un incremento de 20º F. en la temperatura.

VIENTO

Como se sabe la turbulencia atmosférica varía con la velocidad del viento, teniendo una relación estrecha con la evaporación, aunque no hay datos que es pecifiquen estas relaciones, se cree que el efecto del viento decrece a medi da que se aproxima a altos valores, aunque el efecto depende de la rugosidad de la superficie y de las dimensiones del cuerpo del agua, favoreciendo la -- mezcla del aire saturado con el aire seco.

PRESION ATMOSFERICA

La evaporación varía con los cambios de presión atmosférica, aunque es im posible especificar estas variaciones en dondiciones naturales; las moléculas de aire por unidad del volumen aumentan con el aumento de la presión y éstas entran con más facilidad en el agua, luego se puede decir que la evaporación baja con el incremento de la presión.

También se puede decir que la presión atmosférica decrece con la eleva--- ción del lugar, favoreciendo la evaporación, pero por otro lado, la temperatu ra también baja con la elevación siendo menos la evaporación, así pues las re laciones entre elevación y evaporación no se pueden definir con claridad.

CALIDAD DEL AGUA

Es importante saber, que la evaporación varía de acuerdo a la calidad del agua y se ha comprobado que es menor en el agua salada que en la dulce, decre ciendo con el aumento de la gravedad específica, así podemos decir que la eva poración baja uno por ciento con un aumento igual en la densidad del agua y -- se ha estimado que la evaporación en el mar es alrededor del 2% a 3% menos -- que el agua dulce en las mismas condiciones.

La turbidez del agua no tiene un efecto visible en la evaporación.

MEDIDA DE LA EVAFORACION

Se ha explicado brevemente como se produce el fenómeno de la evaporación; falta añadir la forma de medirla, que es la parte que más interesa al hidrólo go. Se pudiera encontrar la medida de la evaporación haciendo una compara--- ción con los valores de los otros factores que intervienen en el ciclo hidro lógico (precipitación, escurrimiento, infiltración); pero como la infiltra--- ción no se puede medir con precisión, solamente se pueden obtener estimacio-- nes de la misma, los errores cometidos en las evaluaciones de la evaporación serían muy grandes, por lo tanto se recurre al uso de instrumentos para su me dida, los cuales dan el poder de evaporación de un lugar y no la evaporación actual; así el poder de evaporación es una medida que dá el grado con que una región es favorable o no a la evaporación; a las medidas obtenidas se les a-- plica una corrección para obtener la evaporación directa, esta corrección va ría con la clase de instrumento usado, posición geográfica, calidad de las a-- guas etc., teniendo un valor medio de 0.75 para el tipo de tanque.

El instrumento, comunmente usado para medir la evaporación se llama evapo rímetro y son de tres clases.

- 1) El de tanque o basija
- 2) El cuerpo de porcelana porosa
- 3) El papel húmedo (Método de Piche)



## TANQUE O VASIJAS DE EVAPORACION

Se describe este tipo por ser el de más interés en la medida de la evaporación.

Se fabrican generalmente de hierro galvanizado, zinc, de sección circular y de diferentes tamaños, se instalan en el suelo o flotando en el agua, generalmente constan de dos partes:

- a) Un depósito donde se pone el agua
- b) Un dispositivo para medir las variaciones de altura del agua en el depósito.

El depósito más usado es un tanque de forma cilíndrica con un diámetro de 122 cms. y 26 cms. de altura.

El dispositivo para medir la altura del agua en el depósito, consta de un cilindro de reposo y un tornillo micrométrico; el cilindro de reposo tiene -- por objeto evitar que lleguen al tornillo micrométrico las ondulaciones que produce el viento en la superficie del agua; este cilindro es hueco y se hace de material inoxidable, su arista superior debe de estar completamente horizontal, lo cual se logra por medio de un nivel y los tornillos niveladores colocados en la base del cilindro. La base es una placa triangular y los tornillos niveladores se encuentran en sus vértices. El fondo del cilindro tiene un orificio que pone en comunicación el agua del tanque con el cilindro. -- Una vez nivelado el cilindro no deberá moverse para hacer las observaciones.

Para hacer observaciones precisas se hace uso de un tornillo micrométrico que tiene un mm. de paso y termina en su parte superior en un disco graduado en cien partes iguales, lo que permite hacer lecturas con una aproximación de un centésimo de milímetro, ya que cada vuelta completa del tornillo, representa un milímetro de altura. El tornillo está provisto de una tuerca que a la vez le sirve de soporte mediante unas barras en forma de Y sobre el borde del cilindro de reposo.

La graduación del tornillo se hace mediante una regla graduada de 0 a 70 cm. de abajo a arriba unida sólidamente a uno de los brazos de apoyo y el disco graduado en 100 partes dicho anteriormente.

Cuando debido a la lluvia se aumenta el nivel del agua en el evaporímetro, se hacen las deducciones convenientes con los datos de lluvia registrados en el pluviómetro.

## USO DE FORMULAS

La evaporación se puede calcular por medio de fórmulas empíricas cuando no existen datos de registro directos; existe un gran número de formulas, las cuales se pueden dividir en dos grupos:

- 1º) Fórmulas teóricas basadas en los cambios de energía.
- 2º) Fórmulas empíricas basadas en estudios de correlación de datos de -- evaporación en los elementos del tiempo.

Las más usadas son:

- 1) Fitzgerald

$$E = (0.40 \mp 0.199 W) (P - P'')$$

donde:

- E = evaporación en pulgadas por día  
 W = velocidad del viento en millas por hora  
 P = presión de vapor máxima en pulgadas de mercurio  
 P' = presión del vapor en el aire en pulgadas de mercurio

## 2) Russell

$$E = \frac{(1.96 P \mp 43.88)}{B} (P - P')$$

donde:

B = Presión media barométrica en pulgadas de mercurio a 32º F.

## 3) Horton

$$E = 0.4 (XP - P')$$

donde:

$$X = 2 - e - 0.2W$$

e = base logarítmica neperiana

## 4) Departamento de Agricultura de E.E.U.U. (División Ingeniería)

$$E = 0.771 (1.465 - 0.0186B) (0.44 \mp 0.118 W) (P - P')$$

En todos se usa la misma nomenclatura

## 5) Meyer: Para pequeños cuerpos de agua

$$E = 15 (V - v) \left( 1 \mp \frac{W}{10} \right)$$

E = evaporación en pulgadas por mes

v = Máxima presión del vapor en pulgadas de mercurio, correspondiente a la temperatura media mensual del aire, registradas en las estaciones de observación.

V = Presión actual de vapor en el aire, basada en la media mensual de la temperatura del aire y la humedad relativa.

W = Media mensual de la velocidad del viento en millas por hora.

Esta misma fórmula se puede aplicar a cuerpos mayores de agua cambiando el coeficiente por 11, y tomar la velocidad del viento a una altura de 7 m. a 9 m. sobre el suelo.

En los otros casos la velocidad del viento se deberán relacionar o acomodarse a una altura de 15 cm. sobre el nivel del suelo, siendo preferible tener anemómetros a diferentes alturas.

TRANSPIRACIONRelaciones entre las plantas y el agua.

La célula vegetal necesita estar saturada de agua para funcionar normalmente; en las plantas acuáticas, la saturación es el resultado del medio que las rodea; en cambio en las que habitan en zonas secas la necesidad de mantener el protoplasma de sus células en estado de saturación es de gran importancia a su crecimiento.

Para que la fotosíntesis se mantenga satisfactoriamente, las células clorofílicas de las plantas terrícolas deben estar en contacto continuo con la atmósfera, que les cede el anhídrico carbónico indispensable, pero este fenómeno ocasiona una evaporación de agua desde la célula al aire circundante.

Los rayos solares que dan la energía necesaria para la fotosíntesis, elevan la temperatura de la hoja, acelerando la evaporación; debe haber por ello una corriente de agua que atraviese las células clorofílicas y compense las pérdidas que allí se produzcan, manteniéndose la saturación vegetal gracias a que la absorción del agua y su evaporación están coordinadas, creando relaciones hídricas que el investigador L. A. IVANOV llamó "Intercambio hídrico de la planta".

La cantidad de agua que atravieza la planta, es grande y por lo tanto esta necesita absorberla con bastante rapidez, siendo las raíces las encargadas de esta función, las cuales están provistas de órganos especiales en sus extremos que absorben el agua contenida en el suelo.

Las células de las raíces se saturan pronto, cesando la absorción si la planta no transpira constantemente. El agua que pierde el vegetal produce -- una tensión de succión, que se transmite mediante una serie de mecanismos de las hojas a las raíces, para que la absorción se inicie.

Sin embargo las raíces tienen sus propios medios para forzar el agua hacia arriba, que recibe el nombre de presión radical; al cortar una planta al nivel del suelo, se observa que por el corte emana agua llamándose a este fenómeno "llanto de las plantas".

La presión radical también se manifiesta en las hojas de las plantas en cuyos ápices se acumulan gotas de agua que caen periódicamente, recibiendo el nombre de "gutación".

El agua eliminada por la presión radical es relativamente insignificante y no influye prácticamente en los problemas de hidrología.

### ABSORCION DEL AGUA DEL SUELO, FUERZAS QUE RETIENEN EL AGUA EN EL SUELO, AGUA APROVECHABLE E INUTIL.

El suelo no contiene agua pura, sino que en solución a distintas concentraciones, las cuales tienen una tendencia a retener el agua; experimentos -- realizados por Paiestley han demostrado que cuando la concentración del agua en el suelo es igual a la del agua en los vasos de la planta, la absorción cesa; pero también por un mecanismo especial de la planta, ésta mantiene en concentración más alta la solución en ella, que la del suelo; sin embargo esto -- es válido hasta ciertos límites, pues es bien conocido que solo cierta variedad de plantas pueden vivir en terrenos fuertemente salinos.

Aparte de este obstáculo osmótico, la absorción encuentra en el suelo otro tipo de resistencia debido a la adsorción. El suelo está formado por partículas de diferentes tamaños mezclados con materia orgánica, más o menos degradada, de naturaleza coloidal, encontrándose también coloides inorgánicos. El agua del suelo se distribuye en el agua gravitacional, que llena los espacios grandes y permanece en estado móvil, obedece a la fuerza de gravedad y descende en el suelo después de la lluvia; el agua capilar que llena los orificios pequeños y es retenida por la tensión superficial; en ambos casos las raíces toman el agua con facilidad; en cambio el agua de adsorción o sea la debida a la fuerza de atracción molecular, es retenida por las moléculas del suelo con una fuerza considerable que aumenta rápidamente a medida que la capa de agua que rodea las partículas se hace más delgada y las plantas tienen una gran dificultad en aprovechar esta agua.

Finalmente, un suelo secado al aire contiene la llamada "agua higroscópica" y la fuerza con que las partículas retienen esta agua puede llegar hasta 1000 atmósferas, y prácticamente es inútil para las plantas, cuya fuerza de succión es mucho menor.

Las sustancias coloidales del suelo tienen la propiedad de hincharse con el agua y su aptitud para retener este compuesto es considerable, cuanto mayor es la cantidad de coloides en el suelo, tanto mayor es la cantidad de agua conservada; el "agua de imbibición" que así se le llama abunda sobre todo en los suelos turbosos constituidos en su totalidad, por residuos vegetales -- parcialmente degradados.

Los pelos absorbentes de las raíces para retener el agua deben competir -- con las partículas edáficas circundantes. Cuanto más pequeñas son estas partículas y cuanto mayor es la cantidad de coloides presentes en el suelo, tanto más elevado es el monto de agua fijada y por lo mismo inútil para los pelos absorbentes.



Para determinar la cantidad de agua del suelo no aprovechable para las plantas se puede aplicar el método siguiente: una vez que la planta en estudio se ha desarrollado lo suficiente, se suspende el riego y se guarda en un sitio con sombra, hasta que empieza a marchitarse, lo cual indica que la provisión edáfica se ha agotado. Cuando se produce la marchitez permanente, se mide la cantidad de agua que aún queda en el suelo tomando una muestra de éste y secándola a 100° C. determinándose así la reserva acuosa inútil para la planta denominada "humedad no aprovechable".

Briggs y Shautz hicieron estudios más detallados sobre la cantidad de agua inútil de diferentes suelos y establecieron una relación simple entre la cantidad de agua inútil a la que designaron "coeficiente de marchitez" del suelo y las demás propiedades de la misma relacionadas con la retención del agua; entre estas últimas figuran el coeficiente higroscópico, la capacidad de retención total y la composición mecánica.

Con los datos obtenidos, propusieron las fórmulas siguientes para calcular el coeficiente de marchitez, o sea la reserva de humedad no aprovechable, expresada en tanto por ciento del peso del suelo seco.

$$q = \frac{\% \text{ de agua higroscópica}}{0.68} = \frac{\% \text{ de agua a saturación completa}-21}{2.9}$$

Si se tiene en cuenta los datos de análisis mecánico la reserva inútil puede ser calculada así:

$$q = \% \text{ de arena} \times 0.001 + \% \text{ de limo} \times 0.12 + \% \text{ de arcilla} \times 0.57$$

El coeficiente de marchitez varía para distintos suelos según puede verse en el cuadro siguiente:

Suelo de arena gruesa	1%
Suelo de arena fina	2-3%
Suelo franco	5-10%
Suelo fuertemente arcillado	14-18%

Para determinar la cantidad de agua absorbida por la planta, se usa un aparato llamado "Potómetro" que puede tener diferentes formas, el más empleado consta esencialmente de un recipiente en el cual se coloca la planta en estudio, ajustada mediante un tapón de tal modo que las raíces entren íntegramente y un tubo capilar graduado dispuesto en posición horizontal para registrar el agua absorbida; generalmente solo se emplean ramas en lugar de plantas enteras y a menudo conviene construir un potómetro susceptible de ser pesado, de modo que se pueda comparar el agua absorbida, con la que la planta pierde al transpirar.

La transpiración se verifica a través de las hojas por las células llamadas "Estomas" cuyo mecanismo es sumamente complejo y es debido a un sinnúmero de factores de los cuales el más importante es la luz solar; la forma en que la transpiración se verifica en las plantas es puramente fisiológica y está fuera del alcance de este trabajo, correspondiéndole al hidrólogo únicamente conocer las cantidades de agua que entran en el proceso. Los métodos para estudiar este fenómeno son comparativamente simples y se les puede dividir en tres grupos.

- 1) Los que recogen y miden el agua evaporada.
- 2) Los que estiman las variaciones ponderales de la planta, debidas a las pérdidas de agua durante la transpiración.
- 3) Los que miden la cantidad de agua que absorbe la planta a fin de compensar lo que se pierde por transpiración.

Para precisar la cantidad de vapor de agua transpirada, se coloca la planta en un recipiente herméticamente cerrado, hecho de vidrio para no excluir la luz. El agua transpirada se recoge por medio de alguna sustancia higroscópica, como el cloruro de calcio desecado; el aumento de peso del agente desecante revela el total de agua que se perdió en el transcurso de la transpiración; debido a que la transpiración en el aire se retarda, conviene dirigir una corriente de aire a través del recipiente que aloja la planta y luego ha-

cer pasar este aire por un aparato que contenga un agente higroscópico.

Las ventajas de este procedimiento residen en que la hoja o rama sobre -- la cual se investiga puede permanecer unida a la planta y es casi el único mé todo para conocer la transpiración en condiciones naturales, siendo su defec to en que se encierran los órganos transpiratorios en un recipiente que sin - duda dificulta el desarrollo normal del proceso.

Los procedimientos más seguros para estudiar la transpiración son los que se fundan en la variación ponderal de la planta a consecuencia de la pérdida de agua. Podría suponerse que están viciados por un error considerable, ya - que los cambios de pesos no sólo dependen de la salida o entrada de agua, sino también de la ganancia o pérdida de la materia seca, originada por la fotosín tesis y la respiración. Sin embargo, numerosas experiencias demuestran que el peso del agua perdido por una planta, en la unidad de tiempo, excede en varios centenares de veces al incremento de materia seca. De allí que sea desprecia ble el error de no tomar en cuenta la fotosíntesis y la respiración.

El procedimiento consiste en conocer la diferencia en peso de la planta, debido a la pérdida de agua por transpiración; se puede utilizar plantas --- arraigadas en una maceta, ramas u hojas, pesándolas en balanzas especiales de gran precisión.

La determinación de la transpiración midiendo el volúmen de agua absorbi do por las plantas se efectúa en los potómetros explicados antes; este método tiene la ventaja de poder hacerse lecturas ininterrumpidamente. La desventa ja de este sistema es que no siempre coincide la cantidad de agua absorbida - con la transpirada, pudiendo cometerse errores hasta de 5.0 por ciento; de -- allí que sean preferibles los métodos gravimétricos a los volumétricos.

Para disponer de un registro continuo de la transpiración se utilizan apa ratos autoregistradores llamados "Transpirógrafos" que constan de balanzas en las que el movimiento de la aguja o de las plantillas, se transmite a un tam bor rotativo de superficie ennegrecida con negro de humo, estos experimentos tienen éxito cuando se practican en un lugar cerrado, como en un invernadero, pues al aire libre, el viento perturba la precisión de los registros.

INFILTRACION

La importancia del papel que juega la infiltración en el ciclo hidrológi co, fué discutido por Horton en 1933 y según fué concebido por este investiga dor, consiste, en el paso del agua de la superficie del suelo a su interior, distinguiéndose del fenómeno conocido con el nombre de Percolación, que con-- siste en el movimiento del agua en el interior del suelo. Ambos procesos se relacionan muy estrechamente, tan es así, que la infiltración se suspende --- cuando la percolación no es suficientemente rápida, para dejar espacio libre al agua de infiltración.

La teoría de la infiltración ha sido estudiada por muchos investigadores, siendo la expuesta por Sherman la que más se adapta a los problemas de hidro logía: El suelo está cruzado en todas direcciones por numerosos canales con - secciones capaces de llevar agua por medio de la fuerza de gravedad, estos ca nales tienen numerosos puntos constreñidos que dificultan el paso del agua -- hacia el interior y como es lógico suponer, se moverá por aquellos que le o-- frecen menos resistencia; además el suelo tiene una infinidad de orificios ca pilares conectados entre sí, que presentan una gran afinidad por el agua, la cual se mueve en ellos de acuerdo a las fuerzas capilares que generalmente ex ceden a la gravedad; y debido a ellas el agua se mueve de las partes húmedas a las secas conforme a las leyes de la capilaridad.

Cuando el suelo está seco y cae una lluvia, la infiltración en la capa su perficial tiene lugar no solamente a través de los canales, sino también por la acción directa de la capilaridad en toda la superficie; pero el movimiento capilar se hace cada vez menor a medida que el agua penetra más profundamente en el suelo, debido a que el potencial capilar disminuye de acuerdo a la menor velocidad de entrada del agua superficial. En cambio el agua gravitacional - continúa hasta penetrar más profundamente y con velocidad más uniforme, sumi-

nistrando además la fuerza necesaria para la absorción capilar lateral. Si se supone que la infiltración cesa después de un tiempo dado, los canales de gravedad, se encontrarían llenos y la acción capilar se continuaría ejerciendo sobre el agua de los canales, hasta que los poros se llenan completamente o hasta que termina el suministro de agua.

La consideración expuesta en su forma más simple, prácticamente no pueden aplicarse debido a la dificultad en determinar las condiciones naturales en una cuenca.

Capacidad de Infiltración

Horton definió la capacidad de infiltración, como la máxima razón con que un suelo en condiciones dadas, puede absorber la lluvia a medida que cae; la capacidad de infiltración es igual a la infiltración siempre que la intensidad de lluvia sea igual o mayor a la capacidad de infiltración. Los valores de la capacidad de infiltración varían de un máximo al principio de la lluvia, disminuyendo hasta llegar a un valor aproximadamente constante y puede expresarse por la fórmula del mismo Horton así:

$$f_p = f_c + (f_o - f_c) e^{-ktr}$$

en donde:

- $f_p$  = Capacidad de infiltración en pulgadas por hora en un tiempo  $t$ .
- $f_c$  = Valor constante de la capacidad de infiltración.
- $f_o$  = Valor máximo de capacidad de infiltración.
- $k$  = Constante positiva.
- $t_r$  = Tiempo de duración en horas.

Factores que afectan la Infiltración

La infiltración es afectada por un gran número de factores entre los cuales los más importantes son:

- 1) La Precipitación
- 2) Características del suelo
- 3) Condiciones de textura del suelo
- 4) Condiciones de la superficie
- 5) Cobertura
- 6) Humedad del suelo

1) LA PRECIPITACION

La lluvia afecta considerablemente la infiltración, la que varía de acuerdo a la intensidad de la misma; si la intensidad de lluvia es menor que la capacidad de infiltración del suelo, hay oportunidad para que el agua se infiltre en una gran proporción, si por el contrario la intensidad es mayor que la capacidad de infiltración una cantidad grande de agua precipitada escurre sobre la superficie del suelo; cuando llueve durante un tiempo largo, como en los temporales, de varios días de duración, al principio la infiltración es grande, disminuyendo a medida que la saturación del suelo aumenta, hasta llegar a un valor estable. En casos de tormentas de gran intensidad, la fuerza de impacto de las gotas de agua al caer, compactan la superficie del suelo o disgregan las partículas del mismo, reduciendo su capacidad de infiltración.

2) Características y textura del Suelo

La permeabilidad, que en términos generales, es la habilidad de un suelo para permitir el flujo del agua en su interior, depende de las partículas que lo componen, de su forma y arreglo, las cuales determinan el tamaño de sus poros; así se puede decir que la infiltración varía de acuerdo a la textura del suelo, el cual está compuesto de mezclas en distintas proporciones de grava, arena, limo, arcilla y material orgánica.

A continuación se ve el cuadro con las diferentes mezclas dado por Davis y Bennet.

Composición Mecánica de distintos tipos de suelo.-

A Suelo	Por Ciento		
	Arena	Limo	Arcilla
Arenoso	80-100	0-20	0-20
Francoarenoso	50-80	0-50	0-20
Franco limoso	0-50	50-100	0-20
Franco	30-50	30-50	0-20
Franco arcillo limoso	0-30	50-80	20-30
Franco arcillo arenoso	50-80	0-30	20-30
Franco arcilloso	20-50	20-50	20-30
Arcillo limoso	0-20	50-70	30-50
Arcillo arenoso	50-70	0-20	30-50
Arcilloso	0-50	0-50	30-100

También la permeabilidad varía debido a otros factores como son: la actividad biológica en sus distintas formas, la formación de gases, las prácticas agrícolas y en fin muchos otros difíciles de anumerar que hacen al suelo más o menos permeable.

### 3) Condiciones de la Superficie

Según sea el arreglo de las partículas en la superficie del suelo, pueden permitir un alto grado de infiltración o disminuirlo considerablemente, pudiendo ser variadas estas condiciones por la mano del hombre o por la naturaleza misma, como sucede con la preparación de las tierras para los cultivos agrícolas las cuales se vuelven más sueltas y favorecen la infiltración o en caso contrario la compactación debido a los animales en terrenos sujetos a un pastoreo excesivo.

### 4) Cobertura

La infiltración también está regulada por la protección superficial del suelo, en un terreno cubierto por una vegetación densa, disminuye la compactación debido a la lluvia, además provee al suelo de una capa de material orgánica en donde viven infinidad de insectos que fabrican galerías por donde el agua se infiltra; en los terrenos agrícolas la protección contra el impacto de la lluvia es mayor cuando los cultivos están en máximo crecimiento que cuando están recién sembrados, siendo importante el tipo de cultivo, debido a que unos dan mejor protección que otros.

### 5) Humedad del Suelo

La humedad contenida en el suelo afecta grandemente las propiedades físi-

cas del mismo y por lo tanto la infiltración, si la lluvia cae en un suelo seco, la capacidad de infiltración es mayor al principio y disminuye en relación a la saturación, como se explicó antes, otro efecto importante es debido a la adsorción de líquidos por los coloides, resultando fenómenos muy complejos que varían con la clase y cantidad de bases presentes en los coloides y con los diferentes suelos.

### Forma de Obtener datos de Infiltración

Los métodos más corrientemente usados son:

1) Por análisis de registros de lluvia, de escurrimiento, evaporación y transpiración en áreas de drenaje modelos, con los datos obtenidos se aplica la ecuación del ciclo hidrológico explicado antes.

$$P = R + E + I + V \quad \text{ó}$$

$$E = P - I - V - R$$

Los datos así obtenidos se aplican a otras cuencas semejantes a la estudiada.

2) Por análisis de hidrogramas, en los cuales por métodos empíricos aplicados solo por personas con gran experiencia, se puede diferenciar la parte correspondiente al escurrimiento y la parte de la infiltración. Como a grandes rasgos se detalla adelante en el capítulo referente a las cuencas.

3) Utilizando aparatos llamados Infiltrómetros que los hay de dos clases de inundación y los de lluvia artificial; los primeros consisten en términos generales en tubos de hierro de 9" de diámetro que se hincan en el suelo hasta una profundidad de 24"; en el lugar de observación se puede poner una batería de ellos y se mantienen llenos de agua hasta una altura de  $\frac{1}{4}$  de pulgada sobre el suelo y mediante un tubo de vidrio calibrado colocado en cada infiltrómetro, se puede conocer por observaciones periódicas, las variaciones de nivel del agua en los calibradores, que corresponden a las cantidades de agua infiltrada, conociendo la evaporación.

El segundo consiste en escoger una cuenca modelo de tamaño pequeña, de 1 m<sup>2</sup> a 100 m<sup>2</sup> según el caso, y producir con drenaje controlable una lluvia artificial mediante aspersores, sobre esta cuenca; así se puede conocer el agua infiltrada, conociendo el caudal aplicado mediante la lluvia, el escurrimiento y la evaporación.

#### 4) Lisímetros

Este sistema es el más importante y el mejor método conocido hasta la fecha, teniendo el inconveniente de lo caro de su instalación.

Los lisímetros pueden ser definidos en general, como las estructuras que contienen una masa de suelo y diseñados de tal modo que permitan la medida del drenaje del agua a través del suelo. Los tipos más generalmente utilizados son los siguientes:

1º) El tipo de relleno: Consiste de un recipiente de paredes verticales con la parte superior abierta y la inferior perforada en donde se recoge el agua; en su interior se pone tierra recogida del lugar en estudio, la tierra se pasa por la zaranda y luego se mezcla para hacerla uniforme; ya que el perfil natural del terreno no se puede conservar en este tipo de lisímetro, las relaciones de humedad y suelo no representan condiciones naturales.

2º) Lisímetro tipo Ebermeyer: En estos aparatos se introduce en el suelo un recipiente o embudo, hasta la profundidad deseada, en un suelo que no ha sufrido ninguna perturbación; como no hay paredes, el suelo del lisímetro no se encuentra separado del suelo adyacente.

El agua que se recoge en el recipiente pasa a un tanque en donde se mide. Este tipo de aparato permite el movimiento lateral del agua y el drenaje superficial sin interrupción.



3º) El lisímetro monolítico o de suelo sin perturbación: En este aparato se construyen paredes verticales alrededor de un bloque de suelo que permanece en su sitio.

Se coloca un recipiente debajo del bloque para guardar el agua percolada para su medición.

La instalación lisimétrica más importante conocida, está en los E.E.U.U. en la cuenca experimental al norte de los montes Apalaches, esta estación fue construida en el año de 1935 con el objeto de estudiar las leyes que gobiernan la hidrología.

Los lisímetros se instalaron en diferentes lugares de la cuenca para obtener datos apegados a las condiciones naturales.

Las partes más importantes de esta instalación son como sigue:

- 1) Paredes laterales que permiten detener el drenaje lateral del suelo.
- 2) Una superficie rectangular de 6.22 x 14 pies para el cultivo de plantas -- con espaciamiento conveniente.
- 3) La superficie horizontal relativamente grande atenúa los efectos antinaturales que producen las paredes laterales.
- 4) Cuatro cortinas laterales insertadas después de la colocación de los lisímetros, para reducir el escape del agua a través de las paredes del aparato.
- 5) Se ha mantenido el perfil natural del subsuelo y la superficie para obtener un campo de observación donde las relaciones del agua-suelo se presentan como en la naturaleza.
- 6) Tienen una capa de arena de tres pies de espesor en el fondo de los aparatos, lo cual permite que el agua sufra los efectos de la gravedad al ser percolada sin evitar el movimiento de la misma hacia arriba, como realmente sucede en el suelo, permitiendo además que recipientes colectores sean removidos sin interrumpir el flujo del agua hacia arriba o hacia abajo.
- 7) Recipientes que recogen el agua percolada a lo largo de los aparatos.
- 8) Aparatos pesadores automáticos, contruidos especialmente, registran los cambios de peso en la masa de suelo, con bastante precisión.

#### Construcción de los lisímetros

En general los lisímetros consisten en una caja de concreto reforzado, -- sin cubiertas inferior ni superior; esta caja se hinca en el suelo, teniendo especial cuidado en no dañar el bloque de suelo que quedará en el interior de la caja; las paredes del lisímetro deberán ser verticales y en su parte inferior se dejan biseladas para poner una cuchilla metálica para facilitar su penetración en el suelo; las dimensiones de los lisímetros son variables y para tener una idea se mencionan los de Coshocton cuyas medidas son 8 pies de altura x 6.22 pies de ancho por 14 pies de largo teniendo una superficie interior de 0.002 acres.

El aparato se procura que quede paralelo a la superficie natural del suelo para que el agua percolada no sufra distorsiones en su recorrido.

Quando el aparato ha sido completamente colocado se construye un túnel -- desde la superficie hasta el fondo del bloque de suelo; abajo de éste se colocan los conductos que recogen el agua percolada y la llevan a un tanque colector en donde se mide ya sea por medio de aparatos automáticos o manuales según el caso. En el túnel se ponen todos los aparatos necesarios para la investigación.

Los distintos aparatos con que está equipado el lisímetro son:

Aparato automático para medir el drenaje superficial.

Aparato para medir el agua percolada.

Mecanismo automático para medir las variaciones de peso del bloque de suelo.

Además se instalan termógrafos para medir la temperatura del aire a una altura de 30 pulgadas de la superficie del suelo, igualmente se instalan higrótermógrafos siempre a 30 pulgadas de la superficie.

## Evaporímetros y medidores de la humedad del suelo.

Lo correcto es tener una instalación meteorológica en el lugar donde se instala el lisímetro que generalmente se colocan en baterías o sea varios aparatos iguales en el mismo lugar a distancias cortas unos de otros para que el túnel común a todos sea más económico.

### RETENCION, DETENCION Y FLUJO SUPERFICIAL

De el agua precipitada sobre la tierra, una parte es interceptada por la vegetación, otra parte se deposita en las depresiones del terreno formando el almacenamiento superficial, otra se infiltra, otra se evapora durante la lluvia y el resto, a medida que quedan satisfechas las demandas anteriores, se empieza a formar una capa de agua sobre la superficie del suelo, que es detenida momentaneamente en su recorrido, recibiendo el nombre de detención "Superficial"; luego el agua se desliza hacia los canales superficiales, formando el flujo superficial; cuando el agua fluye dentro de los canales recibe el nombre de "escorrentía".

### RETENCION SUPERFICIAL

Recibe el nombre de retención superficial a la parte de la precipitación que se deposita en la superficie de la vegetación y en las depresiones del terreno, sin incluir la infiltración, ni la escorrentía, ni la evaporación posterior a la lluvia. En la retención se incluyen directamente:

- 1ª) La intercepción de los vegetales
- 2ª) El almacenamiento superficial en las depresiones del terreno
- 3ª) La evaporación durante la lluvia

### INTERCEPCION

Recibe el nombre de intercepción, el efecto de retención de la precipitación por la superficie de la vegetación. Generalmente queda satisfecha en la primera parte de una lluvia promedio y según investigaciones realizadas por Harrington, en un bosque u otra cobertura vegetal densa, se retiene hasta un 25% de la precipitación anual.

Durante la lluvia, las gotas de agua que son retenidas por las hojas de las plantas, se van uniendo con otras, hasta formar una capa de agua que cubre toda la superficie foliar de la vegetación, hasta que por la acción de la gravedad, las gotas caen al suelo; con el impacto debido a su caída en el suelo y las gotas que caen directamente en las hojas, se transforman en gotitas muy pequeñas, que favorecen la evaporación.

Al terminar la lluvia, todo el volumen de agua interceptada por la vegetación, vuelve a la atmósfera debido a la evaporación.

### ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL

Durante la lluvia, el agua se deposita en las concavidades del terreno, - cuyas dimensiones varía desde tamaños del orden de las partículas del suelo - hasta grandes extensiones de terrenos sin drenaje, las depresiones pueden ser naturales o artificiales, siendo estas últimas debido generalmente a trabajos agrícolas.

Al terminar la lluvia el agua retenida en los depositos del suelo, se infiltra y se evapora.

### DETENCION SUPERFICIAL

Cuando durante la lluvia se llenan completamente las depresiones del terreno, el agua forma una lámina en toda la superficie de la cuenca afectada -

por la lluvia que se escurre hacia los canales naturales, pero en su recorrido, el agua sufre detenciones momentaneas que afectan su movimiento, como son: el tiempo que tarda en formarse la lámina de agua mencionada, vencer la tensión superficial, vencer obstáculos que encuentra a su paso etc. recibiendo - este retraso el nombre de detención Superficial.

Despues de vencer la detención superficial el agua se escurre hacia los - canalitos naturales formando el flujo superficial; entendiendose como esco--- rrentía cuando el agua entra en los canales principales de drenaje de la cuen--- ca.

### ESCORRENTIA

Se le puede llamar escorrentía al producto final de la precipitación o -- sea el agua que fluye en los canales principales de una cuenca; es una parte muy importante del ciclo hidrológico porque de el dependen en mayor grado las corrientes naturales o ríos cuyo estudio se debe hacer con mucha precisión.

La escorrentía esta regida por un gran número de factores inherentes a la cuenca tributaria, siendo los mas importantes:

- 1ª) La precipitación y sus características
- 2ª) Superficie de recogimiento
- 3ª) Tiempo de concentración de las aguas, que a su vez dependen de la forma de la cuenca, pendiente, densidad, distribución y arreglo de los - drenajes de la misma.
- 4ª) La topografía influye decididamente en la escorrentía; en las cuencas de fuerte pendiente, el agua escurrida es mayor que en las sensible--- mente planas, debido a que la velocidad adquirida es mayor, disminu--- yendo el tiempo de detención que favorece a la infiltración y evapora--- ción.
- 5ª) La Vegetación  
En las páginas anteriores se discutió el papel que juega la vegeta--- ción en el ciclo hidrológico favoreciendo la infiltración y evapora--- ción y por lo tanto disminuyendo la escorrentía.
- 6ª) Las condiciones edáficas y geológicas del suelo influyen grandemente en la escorrentía, aumentandola o reduciendola según el grado de permeabilidad del suelo.

Se da el nombre de coeficiente de escorrentía a la relación entre el volu--- men de agua escurrida sobre una cuenca determinada y el volumen de agua preci--- pitada sobre la misma; tomando como tiempo de observación el año hidrológico que comienza y termina en Mayo inmediatamente después del período seco, en -- nuestro medio, para evitar lo mas posible la influencia del período lluvioso anterior al año de observación.

El conocimiento de estos coeficientes es importante para el diseño de mu--- chas obras de ingeniería, existiendo diferentes métodos para su determinación.

### Método Directo

Por medio de las evaluaciones de los aforos hechos en las Estaciones Hidro--- métricas, se conocen los volúmenes de agua escurridos anualmente en la cuenca estudiada, cuyo porcentaje con relación a los volúmenes de agua precipitada - en la misma cuenca, dará los coeficientes de escorrentía que se deben usar en proyectos de obras en el lugar de la estación o en sus cercanías.

### Método de Comparación

Cuando en la cuenca en estudio no se tienen datos de aforos, se adoptan - los datos de otra cuenca que tenga características similares a la que nos ocu--- pa, los cuales se usan con suficiente seguridad.

### Uso de Fórmulas

Existen muchas fórmulas empíricas para determinar la escorrentía, pero se puede incurrir en grandes errores cuando no se emplean en condiciones simila---



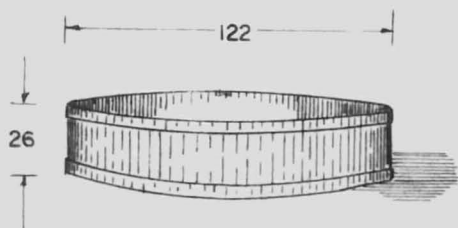
res a las usadas en su determinación, pero si son de gran ayuda cuando se usan moderadamente y cuando es imposible usar otro método de cálculo.

### Hidrograma Unitario

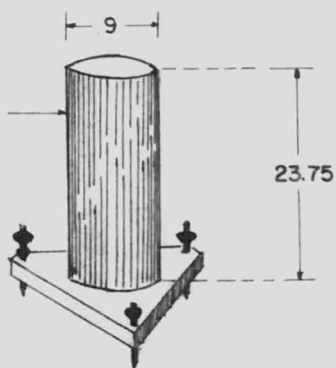
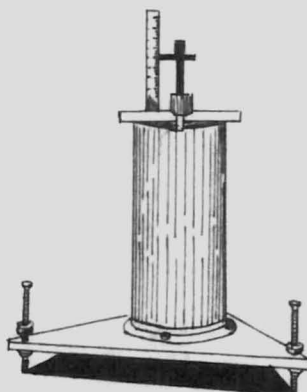
El Hidrograma Unitario que fué explicado por Sherman, se deriva de la teoría que; tormentas idénticas con las mismas condiciones antecedentes, producen hidrogramas idénticos y se deduce que los hidrogramas que resultan de tormentas de una duración dada, tienen el mismo tiempo como base.

Si la distribución de la lluvia en las tormentas es similar con respecto al tiempo y a la superficie, las ordenadas de cada hidrograma serán proporcionales a su escorrentía; y se puede encontrar el hidrograma para cualquier tormenta similar de la misma duración, multiplicando las ordenadas de la gráfica unitaria por la escorrentía producida por la tormenta. El trabajo principal consiste en establecer el hidrograma unitario para poderlo aplicar a otras -- tormentas. Este principio tiene sus limitaciones no pudiéndose usar en cuencas extensas debido a que la distribución de las lluvias en superficies grandes varían de una tormenta a otra. Lo mismo se puede decir de aquellas cuencas de forma estrecha y alargadas.

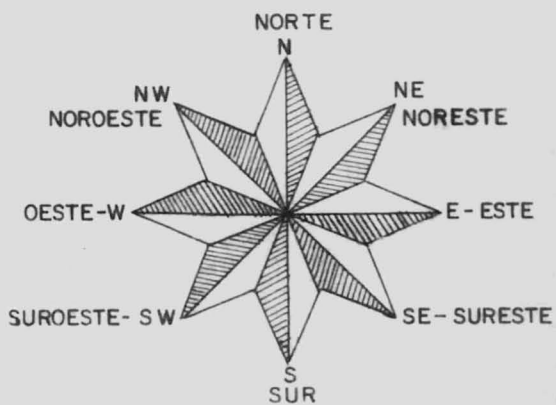




TANQUE EVAPOROMETRO



CILINDRO DE REPOSO



ROSA DE LOS VIENTOS



TORNILLO MICROMETRICO

OPERACION DE DIVERSOS APARATOS

## CAPITULO III

### APARATOS USADOS EN HIDROMETRIA

No se puede hablar de los aparatos solamente, sin hablar de la forma de usarlos, así que en este capítulo se tratará juntamente con la descripción de los mismos, las mediciones que con ellos se hacen en las corrientes superficiales.

#### Distintos métodos de aforos

Se le dá comunmente el nombre de aforo a las distintas mediciones relacionadas con el caudal, que se llevan a cabo en los ríos. Los aforos se pueden hacer de distintos métodos, los cuales se pueden enumerar así:

#### Métodos directos

Se les dá este nombre porque se obtiene directamente el caudal de las corrientes y son:

- 1) Volumétrico
- 2) Vertederos
- 3) Orificios
- 4) Parshall
- 5) Control químico

#### Volumétrico

Este método sirve únicamente para conocer el caudal de pequeñas corrientes las cuales se pueden acomodar para verterlos en un recipiente o tuberías. Esencialmente consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido.

Se tiene que:  $Q = \frac{V}{t}$  - Siendo Q el caudal en  $m^3/\text{seg}$ .

V volumen del recipiente en  $m^3$

t tiempo que tarda en llenarse en seg.

#### Vertederos

Este método sirve para medir el caudal de canales pequeños, pues para corrientes mayores es necesario construir instalaciones costosas (presas de vertedero).

Consiste en obstruir la corriente colocando un vertedor de cualquiera de los tipos conocidos (rectangular, triangular, cipolletti, etc.) Se coloca una regla graduada (mira) a una distancia prudencial aguas arriba del vertedor, - adonde no influye la curva de contracción de la vena líquida; la lectura de esta mira da el nivel del agua, o la altura del agua en el vertedor, con estos datos y utilizando la ecuación propia del vertedor obtendremos el caudal que pasa en él.

#### Orificios y Medidor de Ventury

Los métodos del orificio y medidor de Ventury se usan solamente para medir el caudal que sale de un depósito y para medir el gasto de las tuberías.

La ecuación del Orificio se aplica para conocer el caudal y cuya forma general es:

$$Q = KA\sqrt{2gh}$$

Siendo:

Q el caudal en  $m^3/\text{seg}$ .

A área de la sección del orificio en  $m^2$



## Control Químico o Dilución

El método de dilución utilizado para medida del gasto en las corrientes de agua, es llamado también método químico, colorimétrico, de mezclas o aforo por dosificación; estos diferentes términos indican las dos fases principales del método: la dilución por inyección y la dosificación (química o colorimétrica).

Sírve principalmente para medir el gasto en corrientes muy turbulentas.

### Principio del método

Se inyecta en una sección dada de la corriente en la cual se desea conocer el gasto Q, una solución concentrada de dosificación N1, de sal apropiada, esta inyección se hace con un gasto constante.

En otra sección situada aguas abajo de la anterior y tal que la turbulencia entre ambas secciones verifique una mezcla homogénea, se determina la dosificación N2 de la sal inyectada.

Si N es la dosificación de sal del agua de la corriente, tenemos:

$$Q/q = \frac{N1 - N2}{N2 - N}$$

Si N2 es prácticamente insignificante con relación a N1, queda:

$$Q/q = \frac{N1}{N2 - N}$$

Si N = 0, queda finalmente

$$Q, = q \frac{N1}{N2}$$

Este es el caso de utilizar como sal, Bicromato de sodio.

### Gasto máximo medible

El gasto medible con este método, está en función de la sal empleada y del volumen de la solución.

Con el bicromato de sodio, en un recipiente de 125 lbs. se pueden medir caudales de la orden de 100 m<sup>3</sup>/eg.

### Precisión

La precisión que se puede esperar en la medida de un caudal por el método de dilución, depende esencialmente de los siguientes factores:

- 1) Del material
- 2) De las condiciones del empleo
- 3) De las condiciones de aplicación del método
- 4) De los análisis

### Material

Consiste en la calidad de los materiales de que están hechos los aparatos usados en este método, deberán ser de acero inoxidable para evitar deformaciones por la corrosión.

### Las condiciones del empleo

Los productos químicos utilizados en la medida deberán ser usados con mucho cuidado y saber escoger la sal mas conveniente.

### Condiciones de aplicación del método

Las condiciones de aplicación son numerosas e importantes, siendo en resú

men:

Ausencia de fugas o aportes de agua entre la sección de inyección y de --  
muestreo.

Obtención de una mezcla homogénea (Turbulencia activa en todo el sector --  
de la medida).

Obtención rápida de un régimen permanente en la inyección de la solución  
(movimiento acelerado en las masas de agua, evitando las zonas de aguas muer-  
tas).

METODOS DE AREA - VELOCIDAD

Estos métodos consisten en medir la velocidad media de una corriente y co-  
nociendo el área de la sección, obtenemos el caudal aplicando la fórmula de --  
continuidad:

$$Q = AV$$

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

A = área de la sección en m<sup>2</sup>

V = velocidad media de la corriente en m/seg.

Los más conocidos son:

- 1) Flotadores
- 2) Tubo de Pitot
- 3) Molinete hidráulico

Flotadores

Es el más elemental de todos y únicamente dá el valor aproximado de la --  
velocidad superficial de una corriente y sirve para hacer mediciones de poca  
precisión.

Consiste en colocar un cuerpo flotador en la corriente y observar el tiem-  
po que tarda en recorrer una distancia previamente medida.

Se tiene que:

$$V = \frac{S}{E}$$

V = velocidad m/seg.

S = espacio m.

E = tiempo en segundos

La velocidad media se obtiene tomando el 85% de la velocidad superficial medi-  
da por el flotador.

Existen otras formas de flotadores con los cuales se mide directamente la  
velocidad media de la corriente, siendo de dos tipos: Flotador de superficie  
y flotador de bastón o varilla.

Flotador de Superficie

Consiste en un flotador superficial que se mantiene unido por medio de --  
una cuerda a otro flotador de mayor tamaño y con peso suficiente para mante-  
nerse sumergido, con la cuerda tensa, pero sin hundir el flotador superficial;  
generalmente se procura que el flotador sumergido se encuentre siempre a 0.60  
metros de la profundidad media de la corriente, a lo largo de toda su trayec-  
toria.

Flotador de bastón o varilla

Está compuesta de una barra de madera o de metal, de forma cilíndrica y --  
hueca y sobrepesada de un lado; este aparato es arrastrado por la velocidad --

media de la corriente, manteniéndose en posición vertical y con el extremo de menor peso, fuera del agua.

### Método de Unwin

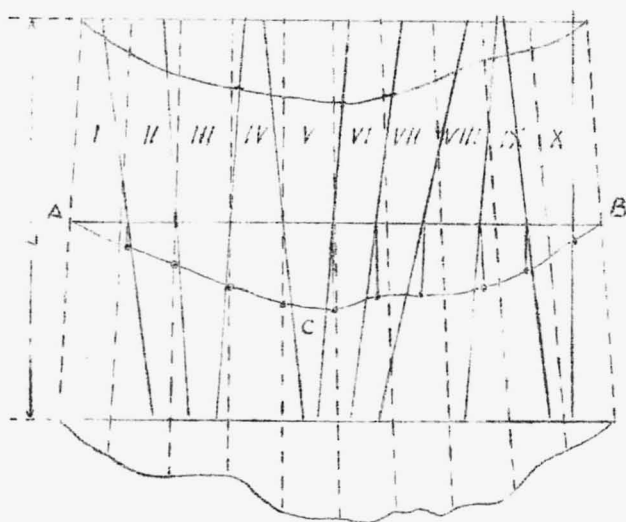
Una aplicación de los flotadores en el aforo de las corrientes, es el método descrito por el investigador Unwin que se describe a continuación:

En la corriente que se desea medir, se eligen dos secciones transversales separadas por una distancia  $L$ , en cada sección elegida se tiende una cuerda -- transversalmente, con tarjetas identificadoras separadas por una distancia -- conveniente; se miden las profundidades de la corriente, a lo largo de las -- secciones transversales, en el lugar correspondiente a cada tarjeta; se observa el tiempo empleado por unos flotadores en pasar de una sección a la otra y el sitio por donde estos flotadores pasan por cada sección.

Después de hechas estas observaciones, se prepara un diagrama semejante -- al de la figura. Las secciones transversales se dibujan a escala adecuada y el ancho de la corriente se divide en secciones longitudinales iguales por líneas de trazos; indicando las trayectorias de los flotadores por líneas llenas; se traza una recta  $AB$  a la mitad de la distancia entre las dos secciones y en el sitio donde las líneas de las trayectorias de los flotadores cortan -- a  $AB$ , se bajan verticales sobre las que se toman a escala conveniente las velocidades observadas para cada flotador ya reducidas a la velocidad media, según el tipo de flotador usado.

La línea  $ACB$  que une por puntos así obtenidos, es la línea de velocidades medias de la corriente. Las velocidades medias para las diferentes secciones I, II, III, etc., se determinan midiendo a escala los segmentos de ordenadas en el punto medio de dichas secciones, comprendidas entre las líneas  $AB$  y  $ACB$ . El gasto en cualquier sección es igual al producto del área media de sus extremos y la velocidad media. Así tenemos que el gasto en la sección I será:

$$\frac{A_1 + A_2}{2} \times V_m. \text{ El gasto total será igual a la suma de todos los gastos parciales.}$$



## Tubo de Pitot

Este aparato sirve para medir la velocidad de un fluido en movimiento, -- permitiendo calcular el flujo dentro de una sección dada.

Corrientemente es utilizado en laboratorios y en la industria como dispositivos de exploración de velocidades y muy raramente para efectuar medidas permanentes.

El aparato consiste de un elemento primario o captor el cual convierte la energía cinética, en energía potencial, bajo la forma de una presión dinámica con la presión estática, igualmente determinada, es convertida en velocidad -- por un elemento secundario, llamado receptor.

La diferencia de presiones, dinámica y estática,

h, se puede escribir así:

$$h, K \frac{V^2}{2g}$$

En la cual

K es el coeficiente del aparato que puede tener un valor de 1 -- para un aparato bien calibrado y usado en buenas condiciones.

V = velocidad de la corriente en m/seg.

G = Gravedad •

## PITOT VENTURY

Se fabrican también un aparato llamado Pitot Ventury que es una combinación del tubo Pitot y el medidor de Ventury, sirve para medir la velocidad o el gasto en un conducto, teniendo la ventaja sobre los dos aparatos sólo en que pueden medirse velocidades más bajas.

El aparato tiene un elemento primario o captor que convierte la velocidad de la corriente en una diferencia de presiones, teniendo adjunto el elemento secundario o receptor que mide la presión diferencial y las convierte en un -- indicador en velocidad o gasto.

Este aparato puede ser utilizado para medir la curva de la velocidad dentro de un conducto y también para medir el gasto de una manera permanente.

## Molinete hidráulico

El molinete hidráulico fué inventado por un inspector de trabajos hidráulicos de Hamburgo de nombre Woltman, por el año de 1790 en que usó un aparato similar al actual y le dió el nombre que hoy tiene.

El primer perfeccionamiento esencial introducido en el aparato, es decir, la adopción de hélices con superficies helicoidales, data del año de 1820 y -- se debe al Ingeniero alemán Treviranus.

A partir de esa fecha se han llevado a cabo infinidad de estudios e investigaciones para resolver por otros medios, el problema de la medición de la -- velocidad de una corriente de agua, pero ninguno ha conducido a un resultado positivo y práctico; siendo el molinete el instrumento que hasta la actuali-- dad se usa con resultados más seguros y exactos.

La parte principal del molinete está formada por una rueda de paletas --- helicoidales que gira impulsada por la velocidad de la corriente de agua.

La aplicación de este principio ha dado lugar a numerosas formas de construcción en los molinetes, que no difieren en sí, más que por la disposición del mecanismo cuenta revoluciones de la hélice, en la unidad del tiempo, y -- por la manera de fijar el aparato a los distintos puntos de observación.



## Mecanismos contadores y de señales

En el molinete Woltman, el mecanismo cuenta revoluciones está formado por un sistema de dos ruedas dentadas, graduadas, una de las cuales se pone en movimiento por un engrane con un tornillo sin fin, fileteado sobre la prolongación del eje del molinete y fijo directamente al aparato. Este mecanismo, -- queda fijo o libre para girar, mediante un trinquete accionado por medio de un cable de tiro, de tal manera que se puede, por lecturas verificadas antes y después de cada observación sobre la numeración que tienen en su periferie las ruedas dentadas, determinar el número de revoluciones que haya dado la hélice del molinete, durante el tiempo de observación.

Como para hacer las lecturas es preciso sacar el instrumento fuera del agua, perdiendo mucho tiempo en la operación, sobre todo cuando se opera a --- grandes profundidades, es por eso que los molinetes de contador mecánico han caído en desuso.

Para corregir esa imperfección se les puso a los molinetes de contador mecánico un circuito eléctrico, que permite al operador saber el número de revoluciones, mediante señales, sin necesidad de sacar el aparato fuera del agua.

El sistema de señales más comunmente usado consiste en un timbre colectivo simple, que suene cada 10, 20, etc., revoluciones de la hélice, gracias a un dispositivo que cierre al circuito que enlaza al molinete con la fuente de energía eléctrica y el tiempo transcurrido entre cada dos señales consecutivas se observa con un cronómetro, pudiéndose de este modo conocer el número de revoluciones de la hélice por segundo; también se usa con frecuencia un receptor telefónico y cuando la velocidad es tan grande, que las señales se suceden con frecuencia, se usa un contador de mano o automático según el caso. Otra señal utilizada consiste en un bombillo eléctrico que se enciende en cada contacto; algunos molinetes están equipados con dos señales un timbre y un bombillo, para mayor seguridad.

Cuando se usa un contador automático generalmente en los aforos de gran duración e importancia, que presentan peligro relativo para el operador, que por otra parte debe concentrar su atención en los incidentes de la operación, el molinete va provisto de un dispositivo que cierra el circuito eléctrico a cada vuelta de la hélice, el contador entra al empezar la observación y se para a voluntad después de un tiempo determinado; es recomendable conectar el conmutador con el cronómetro de manera que éste, y el contador de revoluciones puedan entrar en acción y pararse al mismo tiempo.

El procedimiento consiste en usar un mecanismo de relojería especial con un dispositivo que asegure la interrupción automática de la corriente eléctrica, es muy cómodo este sistema pues el circuito cierra y pone en marcha el contador de revoluciones por la simple maniobra de una pequeña palanca. Cada cierto número de segundos que varía de acuerdo a la corriente de agua aforada, el mecanismo de relojería, interrumpe la corriente eléctrica, se para el contacto y el sonido de un timbre avisa que debe procederse a la lectura.

Las instalaciones de aforo más importantes exigen el empleo simultáneo de varios contadores y aparatos de señal que se montan sobre un mismo tablero para poder controlarlos de un solo golpe de vista.

Otro perfeccionamiento introducido en estos aparatos es el de un registrador automático, que tiene la forma de un cronógrafo de cinta, el cual nos permite no solo obtener un diagrama del aforo y reducir al mínimo el trabajo del operador, sino que nos dá una idea clara de la forma de deslizarse la corriente.

### Molinetes montados sobre barra fija

Desde hace muchos años se ha venido usando para guiar el molinete, tanto en las corrientes de poca importancia como en grandes ríos, una barra vertical fija, que se apoya sobre el cauce del río, a lo largo de la cual puede deslizarse el molinete y fijarse a distintas alturas.

Los molinetes pequeños cuyo uso es más sencillo se opera de la forma si---

guiente:

Se fija al aparato por medio de un tornillo de presión sobre una barra -- vertical, a la altura que se desee y se sumerge el conjunto en el agua efec-- tuándose varias observaciones sucesivas, después de las cuales se saca la ba-- rra a fin de cambiar la posición del molinete a lo largo de ella. La misma - operación se verifica a todo lo ancho del río hasta completar el aforo. Gene-- ralmente estos aparatos llevan un índice que señala la dirección de la co---- rriente y nos permite colocarlo en posición correcta.

También mediante un cable y un aditamento especial, se puede deslizar el aparato a lo largo de la barra sin sacarlo del agua, operando desde afuera.

### Molinetes suspendidos

En corrientes muy profundas o de gran ímpetu, no es posible el uso de mo-- linetes con barra fija por los peligros que ofrece al operador, siendo neces-- ario recurrir a dispositivos especiales que se denominan "molinete suspendi-- dos o flotantes" debido a que el molinete va libremente suspendido de una --- cuerda o de un cable de acero, según el tamaño del molinete.

No se puede fijar exactamente el límite entre la aplicación de los moline-- tes de barra y los suspendidos, debido a una serie de circunstancias que unas veces se presentan a favor de un sistema y otras en favor del otro sistema. - Pero si puede decirse en términos generales que el uso del molinete suspendi-- do se usa generalmente en corrientes de gran profundidad y gran ímpetu cuyas corrientes tienen una dirección desconocida o que varían constantemente en di-- rección e intensidad, debiendo ir provistos de un indicador de dirección para proyectar la velocidad normal al plano de la sección de aforo.

El empleo de este sistema se recomienda más que todo para medir las gran-- des avenidas pues es menos exacto que el de barra fija, aunque últimamente se han construido tipos especiales que dan casi iguales resultados que el ante-- rior, teniendo además la ventaja de la economía en personal y ofrecer menos - peligro al operador.

La construcción de estos aparatos tienen una serie de particularidades -- que se presentan a continuación:

El aparato de tamaño grande de la casa A.OTT, tiene la forma de un tubo, provisto en su extremo anterior de un molinete magnético y su parte posterior de una expansión en forma de masa y de un timón de cuatro aletas.

Está suspendido por medio de una articulación en forma tal que la cuarta parte de la longitud total queda adelante del punto de suspensión y las tres cuartas partes, quedan detrás.

A la caja del molinete, sigue la barra propiamente dicha que está formada por dos tubos de latón que se unen por medio de un enchufe de bayoneta, lla-- mándose al anterior, cuerpo sustentador (pieza central) y al posterior, ti-- món flotador.

Al primero está unida la articulación de suspensión y un contacto eléctri-- co de fondo. El cuerpo sustentador va relleno de plomo, mientras que el ti-- món flotador es hueco y herméticamente cerrado, pudiendo correrse las aletas del mismo a lo largo del tubo para equilibrar el aparato con exactitud.

El punto giratorio de la articulación está situada a 1 cm. por encima del eje de simetría, para asegurar la posición horizontal del molinete aún en a-- guas estancadas. El peso del aparato está calculado para que pueda sumergir-- se a regulares profundidades sin lastre adicional y poderse maniobrar con fa-- cilidad. Cuando se opera en profundidades excesivas se puede sobrecargar el aparato con lastres especiales que puedan tener la forma de un elipsoide de - revolución o forma de pez.

Con estos aparatos se hacen las mediciones desde un puente u otra estruc-- tura similar, o desde una lancha y cuando esto no es posible, se construye un mecanismo especial, denominado cable canastilla o cable molinete. Consistien

do de un sistema de cables colocados a través de la corriente sobre torres de hierro o madera, o en árboles ya existentes en las márgenes del río.

En el de cable canastilla, consiste de una canasta o carrito que se desliza por el cable y con capacidad suficiente para que quepan los operadores que hacen la medición; este sistema por ofrecer mucho peligro se ha ido sustituyendo por el de cable molinete en el cual, el molinete por medio de un sistema de poleas maniobrado desde la orilla de la corriente, es que se desliza -- por el cable, evitando así un accidente lamentable.

#### Aparatos medidores del nivel del agua.

##### Fluviómetro.

El más sencillo instrumento para medir el nivel del agua es el comunmente llamado fluviómetro, que no es más que una regla graduada en cm. como las usadas en topografía; pueden ser de madera o de metal pintadas con una pintura anticorrosiva.

Se colocan en la corriente, de preferencia en el mismo lugar donde se hace el aforo, fuertemente fijadas en un árbol o en un poste, o en la pila de un puente y debe leerse por lo menos tres veces diarias, durante las crecidas de la corriente de agua y cada vez que se hace un aforo, para poder relacionar el caudal del río con el nivel de la superficie del agua.

##### Limnógrafo

Cuando se desea llevar un registro continuo de las variaciones de nivel de un río, se instala un aparato registrador automático de nivel (limnógrafo), que dá un diagrama detallado de las fluctuaciones del río a través del tiempo, aunque la instalación de este aparato es cara, tiene la ventaja\* de no necesitar una observación diaria, pues sólo requiere visitas a intervalos de tiempo, de acuerdo a la duración del registro, para comprobar su buen funcionamiento.

El aparato consiste de un cilindro giratorio que tiene una faja de papel de diagramas arrollada, esta hoja de papel está graduada en dos escalas; en el lado de las abcisas en cm. y en el de las ordenadas en días, horas y décimas de hora.

Este cilindro está engranado con un reloj que lo hace girar y cuya cuerda dura un mes y es el que dá el tiempo que dura el registro. Un estilete entintado, con crayón de lápiz se desliza a lo largo del cilindro, marcando las variaciones del nivel, por medio de un tornillo sin fin, el cual a su vez está conectado con un sistema de poleas y por medio de una cuerda en uno de cuyos extremos pende un contrapeso y en el otro extremo un flotador que siempre está en contacto con el agua de la corriente y transmite las fluctuaciones del nivel de ésta a las poleas y al resto del aparato.

Las casas fabricantes de estos aparatos, los construyen de diferentes formas, pero en el fondo todos son similares, solamente los conocidos con el nombre de limnógrafo de burbuja, que funciona por el principio de la diferencia de presiones a que está sujeto un gas, que se suelta dentro del agua, con el aumento o disminución de la altura de éste.

##### LIMNIGRAFOS DE BURBUJAS

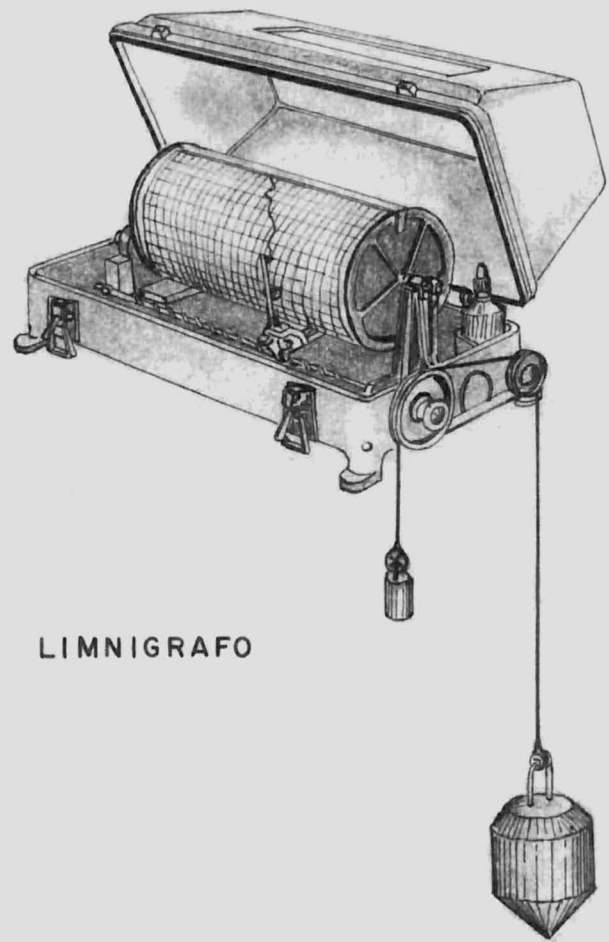
Este aparato es utilizado para el registro del nivel lentamente variable de la superficie del agua de un río, pudiendo medir diferencias de nivel grandes y aún en aguas fuertemente cargadas con materiales en suspensión.

La determinación se efectúa por la medida de la presión de un gas, equilibrada en todo momento por la presión hidrostática del agua.

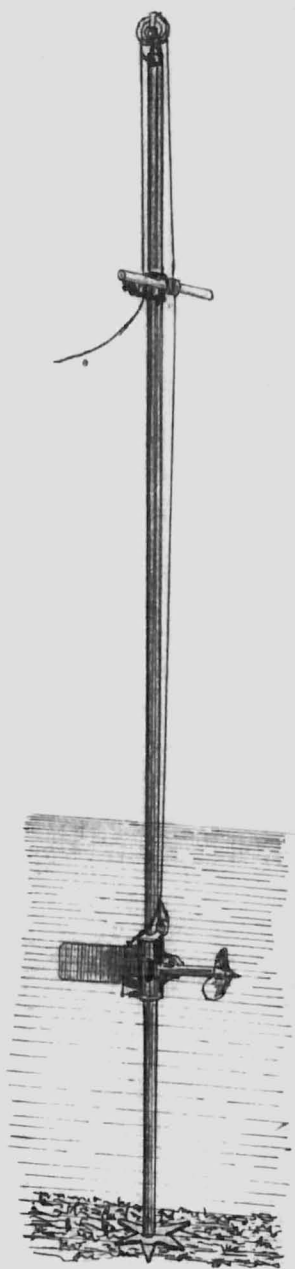
El aparato en sí, consiste de un depósito de gas a presión (generalmente aire), que descarga por medio de un tubo en el fondo de la corriente, y por medio de un manómetro, conectado a un tambor giratorio, en el cual se marcan

con una gráfica continua las variaciones de presión o variaciones de nivel -- del agua, dadas por el régimen del gasto del gas.

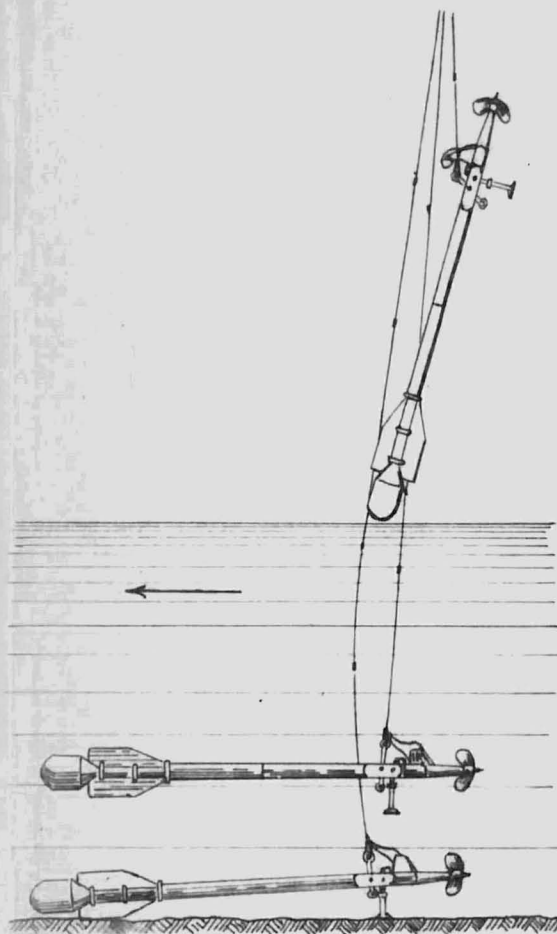
Este aparato se puede instalar fácilmente en cualquier río o lago con costo bastante económico y en un lugar bien protegido de las altas crecidas; pero tiene la desventaja de que solo mide variaciones lentas del nivel y su costo alto en comparación con los limnigrafos de flotador.



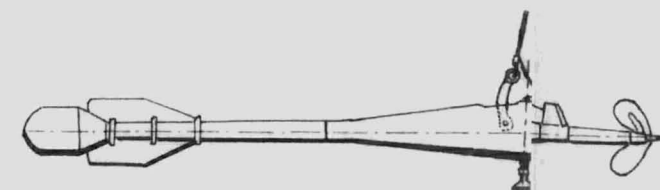
LIMNIGRAFO



MOLINETE  
SOBRE BARRA VERTCAL FIJA



MOLINETE SUSPENDIDO



MOLINETE SUSPENDID  
DE TAMAÑO GRANDE

DIVERSOS TIPOS  
DE APARATOS HIDROMETFOS

## CAPITULO IV

### FORMA DE TRABAJO

Desde que se formó la Sección de Estudios Hidrológicos, en el Departamento de Ingeniería, de la Dirección General de Agricultura, su personal ha ido --- aumentando de acuerdo a las necesidades de trabajo que también han aumentado con ritmo acelerado, hasta la actualidad en que está formada de la manera siguiente:

- 1 Jefe
- 1 Calculísta
- 2 Ayudantes de Ingeniero
- 2 Cuadrillas de aforadores
- 2 Dibujantes
- 1 Encargado de Laboratorio
- 1 Encargado de meteorología
- 1 Ayudante de meteorología

Aunque el personal es insuficiente debido a la gran cantidad de trabajo - que hay que realizar, algo se ha hecho y se tienen datos de la mayor parte de los ríos más importantes del país.

El desarrollo del trabajo se divide en varias etapas, considerando las modalidades del mismo, así:

#### Trabajo de campo.

##### Aforos.

Una de las etapas más importantes de la hidrología consiste en la medición de velocidad y caudal de las corrientes de agua, pues en ellas se basan - todas las conclusiones referentes al conocimiento de los recursos hidráulicos del país.

Los ríos incluidos en el plan hidrométrico nacional se han dividido de acuerdo a su importancia, en tres categorías.

En la primera categoría se toman todos aquellos ríos de gran caudal y que pueden aprovecharse directamente en distintas obras, estos ríos están equipados con instalaciones hidrométricas (Limnigrafos).

Los de segundo orden son aquellos menores que los anteriores y con instalaciones hidrométricas en proyecto.

Por último los de tercer orden que son los más pequeños y de escasa importancia.

El aforo de estos ríos se verifica como sigue:

##### Estación seca.

A los ríos de primer orden se les hacen dos aforos mensuales; a los de segundo orden un aforo mensual; y a los de tercer orden un aforo cada dos meses.

##### Estación lluviosa.

A los ríos de primer orden dos aforos mensuales y muestreo en los meses de máxima lluvia. Este muestreo consiste en hacer aforo continuos (tres aforos diarios si es posible) durante tres días consecutivos como mínimo, procurando hacer estas mediciones durante las crecidas del río. Estos muestreos se hacen con el objeto de reunir suficientes datos para construir la curva de caudal de cada río.



## Control Químico.

Además, en los ríos de primer orden se recogen muestras de agua para análisis químico, uno mensual por cada río y muestras diarias de agua para análisis físico (material suspendido). Este trabajo casi no se ha podido hacer -- por falta de material, equipo y personal en el laboratorio de la sección.

Para hacer un aforo correcto, en primer lugar se escoge una sección del río que reúna buenas condiciones; debe estar en un tramo recto, de sección -- transversal regular, con pendiente uniforme, que la dirección de la corriente sea paralela al rumbo del río; deben evitarse secciones transversales con puntos sin corriente o con corrientes contrarias o remolinos, así mismo se evitarán secciones con mucha vegetación pues da lugar a mucho error en la medición.

Para mediciones de aguas altas que sobrepasen las orillas del río, se evitarán las secciones en donde el agua en los terrenos vecinos, toma direcciones distintas a las del agua dentro del cauce. Los puentes son buenas estaciones de aforo si las pilas intermedias no ofrecen mucha resistencia a la corriente, el eje del puente debe estar normal a la dirección de la corriente y si no lo fuera se harán las reducciones necesarias de acuerdo al ángulo de inclinación del puente.

En toda estación de aforo, debe haber un fluviómetro permanente, para relacionar las mediciones de caudal con la lectura del fluviómetro; de ser posible el aforo debe hacerse en el mismo lugar del fluviómetro, permitiéndose -- distancias pequeñas entre ambos, solo cuando en el tramo intermedio no hay afluentes o desagües de importancia, y si las dos secciones ofrecen las mismas condiciones al paso de la corriente.

Las mediciones se hacen en el mismo sitio todo el tiempo, solamente en casos excepcionales, principalmente en aguas altas, se puede cambiar la sección de aforo, procurando que el área de recogimiento no sea muy diferente en ambos casos.

Una vez escogida la sección de aforo, se le ponen mojones referenciados -- para no cambiarla y entonces se procede a verificar las mediciones.

En El Salvador generalmente se utilizan molinetes hidráulicos en las mediciones de los ríos, solo excepcionalmente se usan vertederos en algunos ríos que por su tamaño pequeño es imposible el uso de molinetes.

La cuadrilla de aforadores consta como mínimo de un operador y tres ayudantes, que son los que se introducen al agua cuando el aforo se hace por vadeo.

## Aforo de puntos

Se fija el molinete en el extremo inferior de la barra, que siempre está graduada en centímetros, y se introduce dentro de la corriente a una distancia de la orilla en donde la profundidad sea lo suficiente para cubrir el molinete, apuntando en una libreta esta distancia lo mismo que la profundidad -- del punto donde está el aparato; luego se procede a hacer las lecturas o sea el número de contactos o señales del sistema eléctrico y el tiempo transcurrido que no debe ser menor de 30 segundos, repitiéndose la operación en caso de duda y anotando estas lecturas en la misma libreta.

Cuando la profundidad es lo suficiente para permitir una nueva lectura en otro punto por encima del anterior, se saca el aparato y se fija a una distancia que varía de acuerdo a la profundidad obtenida, se introduce nuevamente -- el aparato y se hace la misma operación y así sucesivamente hasta la superficie del agua; enseguida se toma otro punto a una distancia horizontal del primero que varía también según el ancho del río, procurando que sea uniforme a todo lo ancho de la sección para evitar dificultades en el cálculo del aforo. Se fija el molinete en el extremo de la barra y el proceso se repite de la -- misma manera tanto en la vertical de cada punto como a todo lo ancho del río.

En el aforo de puente la operación en sí es la misma, la diferencia consiste en que el molinete en vez de estar fijo sobre una barra, pende de un ca

ble, midiéndose las distancias horizontales en el barandal del puente. Al introducir el molinete nos damos cuenta que tocó el fondo por medio de un contacto de fondo que tiene el aparato y mediante el sonido ininterrumpido del timbre de señales, lo sacamos un poco y procedemos a las lecturas como en el caso anterior, las distancias verticales de los puntos de observación se conocen por las cantidades de cable que se recoge en cada nueva posición del molinete.

A continuación se dá un ejemplo para mejor comprensión:

Si el río tiene 10 metros de ancho, se toma el primer punto de un metro. de la orilla.

$d = 1 \text{ m.}$ $t = 10 \text{ cm.}$ $o \quad \text{-----}$	$d = 2 \text{ m.}$ $t = 25 \text{ cm.}$ $o \quad \text{-----}$	$d = 3 \text{ m.}$ $t = 40 \text{ cm.}$ $o \text{---} \text{-----}$
$10 \text{ cm.} \quad \frac{5}{31}$	$10 \quad \frac{6}{32}$ $25 \quad \frac{7}{33}$	$10 \quad \frac{5}{30}$ $20 \quad \frac{9}{34}$ $30 \quad \frac{10}{34}$ $40 \quad \frac{9}{33}$

$d = 4 \text{ m.}$ $t = 60 \text{ cm.}$ $o \quad \text{-----}$	$d = 5 \text{ m.}$ $t = 60 \text{ cm.}$ $o \quad \text{-----}$	$d = 6 \text{ m.}$ $t = 40 \text{ cm.}$ $o \quad \text{-----}$
$10 \text{ --} \frac{8}{30}$ $20 \text{ --} \frac{9}{31}$ $30 \text{ --} \frac{10}{33}$ $40 \text{ --} \frac{13}{35}$ $50 \text{ --} \frac{12}{34}$ $60 \text{ --} \frac{12}{33}$	$10 \text{ --} \frac{8}{31}$ $20 \text{ --} \frac{8}{31}$ $30 \text{ --} \frac{9}{32}$ $40 \text{ --} \frac{9}{31}$ $50 \text{ --} \frac{13}{35}$ $60 \text{ --} \frac{12}{35}$	$10 \text{ --} \frac{5}{30}$ $20 \text{ --} \frac{8}{32}$ $30 \text{ --} \frac{10}{32}$ $40 \text{ --} \frac{9}{31}$

$d = 7 \text{ m.}$ $t = 20 \text{ cm.}$ $o \quad \text{-----}$	$d = 8 \text{ m.}$ $t = 22 \text{ cm.}$ $o \quad \text{-----}$	$d = 9 \text{ m.}$ $t = 12 \text{ cm.}$ $o \quad \text{-----}$	$d = 10 \text{ m.}$ $t = 0 \text{ cm.}$ $o \quad \text{-----}$
$10 \text{ --} \frac{5}{32}$ $20 \text{ --} \frac{6}{31}$	$10 \text{ --} \frac{6}{31}$ $22 \text{ --} \frac{6}{30}$	$12 \text{ --} \frac{3}{32}$	

en donde  $d$  es la distancia horizontal de cada vertical de aforo,  $t$  la profundidad en cada punto, el numerador del quebrado es igual al número de señales -- del aparato y el denominador el tiempo en segundos.

#### Instalaciones hidrométricas.

Un Ayudante de Ingeniero se encarga de dirigir los trabajos de instalaciones limimétricas, miras fluviométricas, y darle el respectivo mantenimiento a las instalaciones ya existentes. Las miras fluviométricas también se instalan en los distintos lagos y lagunas del país con el objeto de conocer sus variaciones de nivel.

## Topografía.

Levantamiento de secciones transversales en las estaciones hidrométricas de los ríos de primer y segundo orden.

Se encuentran las elevaciones de las estaciones hidrométricas de primer orden, referidas a los Bancos de Marca de la Dirección General de Cartografía.

Se levanta topografía especial de los ríos que por algún proyecto importante sea requerido, o para selección de secciones para aplicar otros métodos de aforo (sección-pendiente-hidráulica).

Estos levantamientos topográficos especiales consiste en tirar una línea de tránsito por el río en una distancia prudencial según el proyecto de la obra a realizarse, tomando curvas de nivel, y secciones transversales cada veinticinco metros y en lugares donde la sección sea peligrosa para desbordamientos del río.

Así hay levantamientos del río Sucio en el Valle de Zapotitán, las partes bajas de los ríos Grande de San Miguel y Lempa, con el objeto de utilizarlos en las obras de riego y drenaje en proyecto en estas zonas.

## Trabajo de Oficina.

Aquí solamente se enumeran las diferentes fases del trabajo de oficina, y en el capítulo referente a evaluaciones fluviométricas, se describe con bastante detalle.

Se hacen los cálculos de aforos practicados a los ríos incluidos en el plan hidrométrico nacional, aplicando distintos métodos de cálculo; se diseñan y calculan el costo de nuevas estaciones hidrométricas; y se calculan las topografías y niveles.

Interpretación de los registros limnimétricos, construcción de curvas de caudal y corrección de las ya existentes y evaluaciones hidrométricas de las mismas. Estadística hidrológica de los ríos en estudio. Estudio hidrológico de las cuencas tributarias a los ríos equipados con registradores automáticos de nivel y evaluación de los volúmenes de agua caídos y escurridos toda vez que haya datos de lluvia necesarios para tal trabajo.

## Laboratorio.

Se analizan las muestras de agua de los ríos y lagos incluidos en el plan hidrométrico nacional.

## Otros.

Se colabora con otras dependencias oficiales para la obtención de datos necesarios para el proyecto de obras que necesitan el aporte de esta oficina y además se publican todos los datos obtenidos para que puedan ser utilizados por el público.

ESTACIONES HIDROMETRICAS

Se da el nombre de estación hidrométrica en general, al lugar o sección transversal de un río, en donde se llevan a cabo mediciones y observaciones de su caudal; aunque en especial se reserva este nombre para aquellas secciones equipadas con instalaciones especiales como son las instalaciones limnométricas, para diferenciarlas de otras en donde solo se hacen mediciones de velocidad y que reciben el nombre de estación de aforo.

Como se dijo anteriormente los ríos se han dividido en tres órdenes de acuerdo a su importancia, los de primer orden están equipados con instalaciones limnométricas que pueden ser de dos tipos; de puente y de pozo.

Instalación de puente.

Como su nombre lo indica, el aparato se instala en un puente que ofrezca las condiciones esenciales para su buen funcionamiento.

Se coloca el aparato en una caseta de madera, en un saliente del puente, y mediante dos tubos verticales, fuertemente fijos en una pila que en todo tiempo permanezca rodeada de agua de la corriente; se comunica el aparato con la superficie del río. Estos tubos que deben ser de un material resistente (lámina de hierro, etc.) albergan en su interior un flotador y un contrapeso que equilibra el flotador, debiendo tener un diámetro suficiente para que éstos, se deslicen con holgura. También se coloca permanentemente en la pila a la par de los tubos, una mira graduada que sirva como referencia de las lecturas del limnógrafo.

La instalación debe colocarse de ser posible, en el lado de aguas abajo de la pila para protegerla del impacto de la corriente en las grandes avenidas.

Instalación de pozo.

Cuando no hay puente y si lo hubiera, éste no reúne los requisitos necesarios, se recurre al sistema de pozo.

Se busca una sección transversal del río apropiada, tanto para la instalación del registrador, como para estación de aforo, debiendo tener uno de los taludes lo suficiente alto para proteger la instalación de las crecidas del río.

Se perfora un pozo a una suficiente distancia de la orilla del río, con una profundidad de más o menos cincuenta centímetros más bajo que el lecho del río; esta profundidad adicional sirve como depósito de sedimentación; y con un diámetro que permita, además de dos tubos verticales, la entrada para inspección de un hombre, no debiendo ser menor de un metro.

Este pozo se comunica con el río, por medio de tubos de hierro, concreto, etc., colocado en posición horizontal en número de dos como mínimo y colocados uno encima del otro y separados en una distancia vertical que varía de acuerdo a la profundidad del río; estando el más bajo, unos quince centímetros sobre el nivel del lecho del río, para evitar que se entierre, dejando así de funcionar.

Las paredes del pozo se recubren con una capa de concreto, para darles resistencia y evitar en cuanto sea posible infiltraciones externas que afecten las lecturas del aparato.

Sobre el pozo se coloca una caseta que sirva de protección al conjunto y en la cual se pone el limnógrafo, dentro del pozo se colocan los tubos verticales fijos a la pared de éste y con una longitud que va desde el limnógrafo hasta el nivel del tubo horizontal más bajo y en los cuales se deslizan el flotador y el contrapeso respectivamente; también se pone dentro del pozo una mira graduada como en el sistema de puente.

Una escalera metálica puesta desde la entrada hasta el fondo del pozo, -- permite la entrada a él sin mayor dificultad.

Por el principio de los vasos comunicantes el agua del río entra al pozo por los tubos horizontales, alcanzando el mismo nivel y transmitiéndose al -- limnógrafo por medio del flotador como en el sistema antes explicado.

Actualmente hay 22 estaciones limnimétricas en funcionamiento en diferentes ríos del país como puede verse en el cuadro siguiente.







## CAPITULO VI

EVALUACIONES FLUVIOMETRICASCálculo de aforos.

Habiendo un sinnúmero de métodos de aforo, así también existen una forma de cálculo aplicada a cada método.

Cuando el aforo se hace con molinete hidráulico, dos son los sistemas usados para el cálculo de caudal, dependiendo el uso de cada sistema, de la importancia del río; para los de primer y segundo orden se usa el método conocido con el nombre de integración gráfica y, para los de tercer orden el denominado área-velocidad media; ambos obedecen al mismo principio, siendo el primero aunque complejo, mucho más exacto que el segundo.

Cálculo de velocidades.

Con los datos de aforo recogidos en el campo, se procede como primera fase, al cálculo de velocidades. Como se explicó anteriormente, los valores encontrados en cada punto de la vertical de aforo, son el número de contactos del molinete y el tiempo en segundo transcurrido; dividiendo el número de contactos entre el tiempo, se obtienen los contactos por segundo, como cada contacto equivale a cierto número de revoluciones de la hélice, de acuerdo al piñón usado en la medición, si multiplicamos los contactos por segundo por su equivalente en revoluciones, obtenemos las revoluciones por segundo que dá la hélice; haciendo estas operaciones en todos los datos de campo y usando una tabla propia para cada molinete, calculada en el laboratorio de la casa fabricante, conocemos la velocidad de la corriente en cada punto de observación.

Integración gráfica.

En papel milimetrado de preferencia, para facilitar el trabajo, se dibujan las gráficas de área velocidad, escogiendo escalas adecuadas tanto en la horizontal como en la vertical para tener una idea clara de la distribución de las velocidades en lo alto de la vertical de aforo, se dibuja la profundidad del río en el sentido de las ordenadas y en el sentido de las abscisas se ponen los valores de velocidades encontradas en cada punto de observación, -- asumiendo que la velocidad en el fondo es igual a la mitad de la próxima superior media, es correcto asumir esta velocidad, pues su verdadero valor es de difícil determinación, aún en laboratorio. De igual manera se dibujan todas las gráficas de velocidades medidas en todo el ancho del río; se determina el área de cada gráfica por medio del planímetro, considerando este valor como un caudal unitario, expresado en m<sup>3</sup>/segundo por metro de ancho del río.

Multiplicando estas áreas por la distancia entre cada vertical de aforos y sumando todos estos valores, se encuentra el caudal total del río.

En el ejemplo se tiene que la primera serie de mediciones de velocidades se hizo a un metro de la orilla e igualmente las otras mediciones se hicieron a intervalos de un metro, tenemos que:

La primera se multiplica por 1.50 m. que es la distancia de la orilla a la parte media de las dos primeras verticales de aforo; la segunda se multiplica por 1.00 m. y así sucesivamente hasta completar todas las verticales de aforo.

También se dibuja la sección transversal del río ubicando en ella todas las verticales de aforo. Se encuentra el área de la sección con el planímetro, dato que servirá en el cálculo que a continuación se detalla.

La fórmula empleada para encontrar los valores importantes de la corriente de agua, es la de Chezi:

$$V = C \sqrt{RJ}$$

donde:

- V = velocidad m/seg.
- C = coeficiente de velocidad
- R = radio hidráulico
- J = pendiente hidráulica

Si se sustituye en esta fórmula el radio hidráulico R por la profundidad t tenemos:

$$V = C \sqrt{tj}$$

como el caudal Q es igual al producto del área de la sección por la velocidad

$$Q = F \times V$$

tenemos que:

$$Fv = V \times f = V \times t \times l$$

Fv = caudal unitario

V = velocidad m/seg.

t = profundidad en la vertical de aforo

l = ancho unitario de la vertical de aforo

$$Fv = C t \sqrt{tj} \quad \text{Siendo } C = \text{coeficiente de velocidad}$$

$$Fv = C \sqrt{j} t^{3/2}$$

integrando o a b o sea a todo lo ancho del río, queda

$$Q = c \sqrt{j} \int_0^b t^{3/2} db$$

si llamamos P =  $\int_0^b t^{3/2} db$

queda:

$$Q = C \sqrt{j} P$$

Conociendo Q por el procedimiento explicado, y llamamos F al área de la sección recta y B al ancho del río, se puede encontrar los siguientes valores de cálculo.

$$V_m = \frac{Q}{F} \quad V_m = \text{velocidad media de toda la sección.}$$

$$t_m = \frac{F}{B} \quad t_m = \text{profundidad media de toda la sección.}$$

$$C j = \frac{Q}{P}$$

Para comprobar estos valores, se usa la fórmula en función del número de Reynolds

$$Re = \frac{t_m \times V_m}{M}$$

en donde: Re = número de Reynolds

M = viscosidad dinámica del agua, que para ríos tropicales tiene un valor de 0.00000089 dinas - segundo/cm<sup>2</sup>

$$\lambda = \frac{1}{\lambda}$$

$\lambda$  = coeficiente de rugosidad

$\lambda_0$  = constante encontrada por Nicuradse y que varía en función del número de Reynolds

$\lambda$  = constante y que tiene un valor de 5.5 para ríos tropicales

entonces

$$\lambda = 5.5 \lambda_0$$

$$C = \frac{\sqrt{eg}}{\lambda}$$

c = coeficiente de velocidad

g = aceleración de la gravedad

de la fórmula de Chezi

$$J_e = \left( \frac{V_m}{C \sqrt{tm}} \right)^2$$

$C \sqrt{J_e}$  = coeficiente de velocidad, multiplicado por la raíz cuadrada de la pendiente hidráulica.

Estos valores son experimentales y sirven para comprobar los valores de cálculo antes encontrados.

Los valores de  $C \sqrt{J}$  y  $C \sqrt{J_e}$  no deberán diferir en más del 10% a 15% como máximo; en caso contrario, el aforo no es correcto (ver cuadro de cálculo y gráficas adjuntos).

Es importante dibujar sobre la gráfica de la sección transversal, las curvas características de cada aforo, para comparar sus variaciones con las curvas de otros aforos hechos en la misma estación hidrométrica.

Estas curvas son: la de caudales unitarios  $F_v$  cuyos valores se colocan a una escala conveniente arriba de cada vertical de aforos, indicados en el dibujo de la sección y uniéndolos por una línea continua. El área comprendida entre la curva y la superficie del agua es igual al caudal total (Q).

Curva de velocidades (V) y curva de  $C \sqrt{J}$  igual que la de  $F_v$ . La curva  $t^{3/2}$  que se dibuja abajo de la superficie del agua, siempre en el dibujo de la sección transversal.

#### Area-velocidad media.

Este sistema es mucho más sencillo, pero también menos exacto que de integración gráfica y consiste en encontrar la velocidad media, como una simple media aritmética de todas las velocidades observadas, y multiplicar este valor, por el área de la sección recta del río, obteniendo así el caudal Q.

$$Q = V_m \times F$$

Q = caudal en  $m^3/\text{seg}$ .

$V_m$  = velocidad media en  $m/\text{seg}$ .

F = área de la sección en  $m^2$

Todos los cálculos de caudal se pasan a tarjetas especiales, similares a las fojas de cálculo, diferenciándose únicamente en que aquellas son de papel grueso para que tengan mayor duración; estas tarjetas se archivan para su posterior análisis.

Cuando se tienen suficientes datos de caudal de cada río o mejor dicho de todos los datos de caudal medidos en un año, tanto en la estación seca, como en la lluviosa y con aguas relativamente altas, que es lo que se persigue con el muestreo intensivo de aforos, se proceda a la construcción de la curva de caudal de cada río, principalmente en aquellos equipados con aparato registrador automático de nivel (limnógrafo).

#### Curvas de caudal.

Se construyen las curvas de caudal en papel milimetrado o logarítmico, y con dos escalas escogidas de acuerdo a la magnitud del río, se ponen sobre la horizontal los caudales en  $m^3/\text{seg}$ . y en la vertical, las alturas del nivel de la superficie del agua.

Por medio de puntos se ponen todos los datos de caudal con relación a la lectura de mira, desechando aquellos muy alejados o dudosos; se traza una curva continua por estos puntos, procurando que pase por el centro de los puntos que se agrupan más estrechamente y prolongándola en línea recta siguiendo su tendencia, aún más allá de los puntos marcados.

Por medio de esta curva se puede conocer el caudal de la corriente de agua en cualquier momento, con solo saber la altura del nivel de la superficie del agua.

La curva de caudal tiene una gran importancia, pues en las grandes avenidas, no es posible medir el caudal directamente, pero si se puede medir la altura que alcanza la superficie del agua por medio de un fluviómetro simple o con un limnígrafo; se lleva esta lectura de mira sobre la escala vertical --- hasta encontrar la curva, leyendo en la escala horizontal, el caudal correspondiente.

### Cálculo de las gráficas limnimétricas.

Los limnígrafos dan una gráfica continua de las variaciones del nivel de la superficie del agua de la corriente, durante el tiempo de observación, que generalmente es de un mes, aunque puede ser de una semana o un día, cuando se quiere conocer con más detalle dichas variaciones de altura.

En la gráfica, se calculan las alturas promedios diarias del agua y llevando estos valores\* a la curva de caudal, se obtienen los volúmenes medios diarios escurridos, pudiéndose también encontrar los volúmenes de agua escurridos en un año.

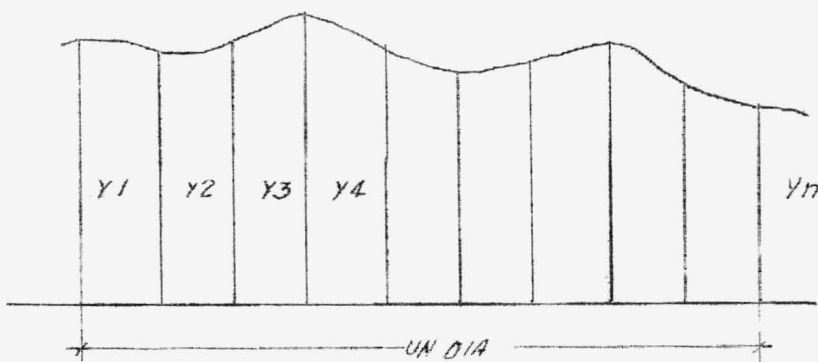
Un dato importante de conocer, es el caudal mínimo escurrido, que puede ser en un mes o en un año, según sea necesario. Este dato tiene un gran número de aplicaciones, como en agricultura con fines de riego, en abastecimiento de agua potable o como medio de desechar aguas negras.

El caudal máximo escurrido, que corresponden a la máxima lectura del limnígrafo, es otro dato importante de conocer, que sirve para el proyecto de muchas obras de ingeniería, como el cálculo del claro de los puentes, altura de presas, capacidad de las obras de demasía en los embalses, etc.

Para calcular los gastos promedios diarios de un río, se hace uso de gráfica del limnígrafo y aplicando la media aritmética, se obtienen las alturas de nivel promedios diarios que llevadas a la curva de caudales se encuentran los gastos promedios.

El cálculo de las alturas de nivel es como sigue:

De la gráfica diaria del limnígrafo se toman las alturas de nivel cada -- cuatro horas o menos, si hay una subida brusca de la gráfica, tomando solamente la mitad de la altura correspondiente a cada 24 horas.



$$Y_m = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + \dots + Y_n}{N}$$

Este cálculo dá el nivel promedio diario de la superficie del agua; para conocer el volúmen total de agua escurrido por un río simplemente se multiplica el gasto promedio diario por 86400 segundos que tiene un día y se suman to dos los productos así obtenidos para cada día.

Para conocer los gastos máximos y mínimos mensuales, se toman las máximas y mínimas alturas de nivel registradas en cada mes y llevadas a la curva de - caudales se obtienen los caudales correspondientes.

Otras gráficas interesantes de calcular son las conocidas como hidrogra-- mas de espejo, que consisten en gráficas de precipitación construídas de una línea horizontal hacia arriba y las gráficas de caudal, construídas de la mis ma horizontal hacia abajo; los valores de estas gráficas corresponden al mis mo tiempo de observación y dan una comparación de ambos fenómenos y la in---- fluencia de precipitación en el caudal de los ríos. Desgraciadamente no se -- han construido gráficas de esta naturaleza por falta de datos de precipita--- ción en la cuenca respectiva.

Análisis de laboratorio.

Todas las muestras de agua recogidas en los ríos se analizan en el labora torio, unas con el objeto de conocer la composición química del agua para com probar si es posible su uso en cada caso específico. Otros análisis se hacen para conocer la cantidad de material en suspensión que tiene el agua; el mate rial suspendido lo dá el laboratorio en gramos por litro, se encuentra su va- lor en kgr./m<sup>3</sup> y conociendo el volúmen de agua en m<sup>3</sup> escurrido en el tiempo - de observación, es fácil también conocer la cantidad de material en suspensión en el mismo tiempo.

El análisis de la muestra se toma como representativo para todo el caudal del río en el día en que se toma la muestra para el material suspendido, y -- para todo el mes en análisis químico.

Los principales elementos que se determinan en el agua son:

- PH.
- Conductividad
- Sólidos disueltos
- Carbonatos
- Bicarbonatos
- Cloruros
- Sulfatos
- Calcio
- Magnesio
- Sodio
- Potasio
- Boro

Conociendo estos componentes, se puede dictaminar la calidad del agua y - sus respectivos usos.

CALCULO DE VELOCIDADES

SENSUNAPAN

FECHA AGOSTO 13/59

Ar de Aforo: "Estación Hidrométrica"

gen - Izquierda. No. de Contactos l= 10 revoluc.  
Molinete A.OTT No.10043-1 - Lectura de Mira - 0.63

Hora - 10:00 horas

Cocien.	Velocid.	Prof.	Cocie.	Veloc.	Prof.	Cocie.	Veloc.
I			II			III	
d=0.00			d=2.00			d=4.00	
t=0.00			t=0.72			t=0.60	
		0.00		0.182	0.00		0.182
		0.10	1.39	0.365	0.10	1.39	0.365
		0.20	1.39	0.365	0.20	2.35	0.617
		0.30	1.82	0.478	0.30	2.16	0.567
		0.40	2.19	0.574	0.40	2.56	0.672
		0.50	2.19	0.574	0.50	2.70	0.708
		0.60	2.00	0.525	0.60	2.86	0.751
		0.72	1.52	0.398			
IV			V			VI	
d=6.00			d=8.00			d=10.00	
t=0.52			t=0.51			t=0.50	
	0.269	0.00		0.193	0.00		0.256
2.65	0.538	0.10	1.47	0.386	0.10	1.95	0.512
2.63	0.690	0.20	2.35	0.617	0.20	2.58	0.677
3.03	0.795	0.30	2.86	0.751	0.30	2.86	0.751
3.13	0.821	0.40	3.05	0.800	0.40	3.05	0.800
2.56	0.672	0.51	3.24	0.850	0.50	3.13	0.821
VII			VIII			IX	
d=12.00			d=14.00			d=16.00	
t=0.49			t=0.48			t=0.45	
	0.199	0.00		0.156	0.00		0.146
1.52	0.398	0.10	1.19	0.312	0.10	1.11	0.292
2.12	0.556	0.20	1.95	0.512	0.20	1.56	0.410
2.65	0.696	0.30	2.29	0.600	0.30	2.19	0.574
2.81	0.738	0.40	2.58	0.677	0.45	2.58	0.677
2.81	0.738	0.48	2.78	0.730			
X			XI			XII	
d=18.00			d=20.00			d=22.00	
t=0.40			t=0.31			t=0.24	
	0.142	0.00		0.109	0.00		0.109
1.08	0.284	0.10	0.83	0.219	0.10	0.83	0.219
1.32	0.347	0.20	1.29	0.338	0.24	1.18	0.310
2.12	0.556	0.31	1.39	0.365			
2.00	0.525						
						XIII	
						d=22.80	
						t=0.00	



# Rio Sensunapán

# Estación Hidrométrica

Fecha Agosto - 13- 59

Hora: 10:00 horas.

Seccion	Media	Fv	Vm	t	$t^{3/2}$	$C\sqrt{J}$
II	16.50	0.330	0.46	0.72	0.6109	0.54
III	16.80	0.336	0.56	0.60	0.4648	0.72
IV	17.83	0.367	0.71	0.52	0.3750	0.98
V	15.60	0.312	0.61	0.51	0.3642	0.86
VI	16.33	0.337	0.67	0.50	0.3536	0.59
VII	13.83	0.276	0.56	0.49	0.3430	0.80
VIII	11.76	0.235	0.49	0.48	0.3326	0.71
IX	13.36	0.267	0.59	0.45	0.3019	0.88
X	7.43	0.148	0.37	0.40	0.2630	0.58
XI	4.50	0.090	0.29	0.31	0.1726	0.52
XII	2.63	0.053	0.22	0.24	0.1176	0.45
$\Sigma$		5.82			7.31	
F	50.03					

## R E S U L T A D O

$$Q = 5.820 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$F = 10.01 \text{ m}^2$$

$$V_m = Q/F = \frac{5.820}{10.01} = 0.58 \text{ m/seg}$$

$$B = 22.80 \text{ m}$$

$$t_m = \frac{F/B}{B} = \frac{10.01}{22.80} = 0.44 \text{ m}$$

$$P = \int_a^b t^{3/2} db = 7.31$$

$$C\sqrt{J} = Q/P = \frac{5.820}{7.31} = 0.80$$

$$Re = \frac{t_m \times V_m}{\mu} = \frac{0.44 \times 0.58}{0.00000089} = 286741$$

$$\lambda = \alpha \lambda_0 = 5.5 \times 0.0143 = 0.08$$

$$C = \frac{\sqrt{8g}}{\lambda} \sqrt{\frac{78.45}{0.08}} = 981 = 31.31$$

$$J_e = \left( \frac{V_m}{C\sqrt{t_m}} \right)^2 = \left( \frac{0.58}{31.31 \times 0.66} \right)^2 = (0.028)^2$$

$$C\sqrt{J_e} = 31.31 \times 0.028 = 0.88$$

Lectura de Mira = 0.63 m

Producto de Escalas

$$F_v = 0.1 \times 0.2 = 0.02$$

$$F = 1 \times 0.2 = 0.20$$

CUENCAS HIDROGRAFICAS.

Se da el nombre de cuenca hidrográfica al área tributaria de un río o dicho en otras palabras, un área determinada en la cual la precipitación caída es drenada por el cauce de un río dado.

El estudio de las cuencas es de una importancia tal, que se puede decir - que es la base de la ciencia hidrográfica, pues no se puede conocer el comportamiento del agua en la superficie terrestre, sin antes conocer los caracteres inherentes de esta superficie.

No toda el agua precipitada en la cuenca es drenada por el cauce único, - pues además de las pérdidas causadas por la evapotranspiración, puede ocurrir, según la estructura geológica del suelo, que cierta cantidad de agua infiltrada se traslada a las cuencas adyacentes, enriqueciendo el caudal de sus corrientes.

El primer paso que se dá para el análisis de las características de una cuenca, es la determinación de sus límites con las cuencas vecinas, por medio de un plano topográfico con curvas de nivel, en nuestro caso se usan las restituciones de la Dirección General de Cartografía, se traza una línea que pase por los lomos o divisoria de aguas como se les llama comunmente. Así se obtiene una línea cerrada que no corta en ningún caso las corrientes, excepto en la desembocadura del río principal o en el punto sobre este río, hasta donde de interesa conocer su área de recogimiento.

Forma de la cuenca.

Las cuencas así determinadas, tienen diferentes formas, en los ríos grandes generalmente tiene forma de abanico o de pera y en los pequeños sus cuencas son estrechas y alargadas; también suele tener formas triangulares, circulares, ovoides, etc., dependiendo de su forma el tiempo de concentración del escurrimiento al curso principal y dando una idea del funcionamiento del drenaje y aún de su estructura geológica.

No basta conocer la forma de una cuenca, pues en forma comparativa con otras cuencas, solo se puede decir de más o menos una forma tal, sin darnos una diferencia completa, para salvar esta dificultad ciertos investigadores han encontrado índices característicos que si dan una idea clara de la diferencia entre cuencas; así tenemos los factores de forma de Gravelius, de Belgrand, de Horton, etc.

Han sido muchos los índices para expresar la forma de las cuencas, siendo los más conocidos el factor de forma de Gravelius, que expresa la relación del ancho promedio a la longitud axial de la cuenca, La longitud axial es la distancia entre el punto más lejano hasta la salida de la cuenca; el ancho promedio se obtiene dividiendo el área entre la longitud axial.

Puede ocurrir que el ancho promedio sea mayor que la longitud axial, dando entonces, la relación entre ambos valores mayor que la unidad.

Se tiene:

$$\text{factor de forma de Gravelius} = \frac{B_m}{L} = \frac{\frac{A}{L}}{L}$$

donde

$$\begin{aligned} B_m &= \text{ancho promedio} \\ A &= \text{área } \text{km}^2 \\ L &= \text{longitud axial en km.} \end{aligned}$$

Otro índice es el conocido como factor de compacidad de Gravelius, que expresa la relación del perímetro de la cuenca entre la longitud de circunferencia de un círculo que tenga la misma área de la cuenca.

Se tiene:

$$Kc = \frac{P}{2 \sqrt{TA}}$$

siendo

P = perímetro de la cuenca en km.  
A = área de la cuenca en km<sup>2</sup>

Una cuenca circular tiene un factor de compasidad igual a 1.

Es posible obtener algunas conclusiones de las cuencas conociendo estos factores; así se tiene que en una cuenca con factor de forma o compasidad de Gravelius, bajo, hay menos posibilidad de obtener una lluvia intensa al mismo tiempo sobre toda el área, que en otra cuenca con este factor alto.

En dos cuencas del mismo tamaño, se esperan crecidas mayores en la que -- tiene el factor de compasidad más bajo en igualdad de las otras características.

#### Elevación media.

La elevación media tiene una gran influencia en diversos fenómenos meteorológicos (precipitación, temperatura, etc.) por esa razón la elevación media tiene una gran importancia en la comparación de las cuencas.

Existen varios métodos para el cálculo de la elevación media, unos complejos y otros más sencillos, pero todos llegan a los mismos resultados.

En las cuencas grandes es posible calcular la elevación media, por el método de líneas de intersección; cuadrículando un mapa topográfico de la cuenca, de manera tal que tenga como mínimo 100 intersecciones dentro del área de la misma; siendo la elevación media, la media aritmética de las elevaciones -- de las intersecciones. Este método es puramente estadístico dando resultados precisos.

Otro método, usado en áreas menores, consiste en encontrar el área entre pares de curvas de nivel sucesivas; se encuentran los porcentajes de estas -- áreas con respecto al área total de la cuenca, y los porcentajes de área arriba o abajo de cada curva, se obtiene por suma acumulativa.

Se tiene:

$$Em = \frac{\sum ae}{A}$$

donde

Em = elevación media  
a = área entre dos curvas cualesquiera  
e = elevación media entre las curvas  
A = área total

#### Pendiente media.

La pendiente media tiene gran importancia, pues de ella dependen en gran parte, la infiltración, escurrimiento, humedad del suelo, etc., sirviendo -- para conocer el tiempo de concentración del agua que permite encontrar el valor de las crecidas de las corrientes, con distintas intensidades de precipitación.

El método más comunmente usado, es el de Horton llamado "Línea de intersección", se cuadrícula un mapa de la cuenca, como en el caso del cálculo de la elevación media; se cuenta el número de curvas a nivel que cortan cada línea vertical y se mide su longitud, limitada por el borde de la cuenca, de -- igual manera se procede en el sentido horizontal y aplicando la fórmula siguiente se obtiene la pendiente media:

$$S = 1.5 \frac{Dn}{L}$$

donde

- D = intervalo de curvas a nivel
- N = número de curvas que cortan las líneas
- L = longitud total de las líneas

Orientación.

La orientación de las cuencas es de mucha importancia para el comportamiento de las mismas, igualmente se puede decir de la dirección e inclinación de la pendiente, así se puede decir que en cuencas de fuertes pendientes tienen mayores escurrimientos debido a que el agua tiene más facilidad en deslizarse, ocupando menores tiempos de concentración.

En cuanto a la dirección u orientación de la cuenca, tiene una gran influencia en la evaporación y transpiración, las cuencas orientadas de Este a Oeste reciben más cantidad de calor solar.

Lo mismo puede decirse de la orientación de la cuenca con relación o dirección de las tormentas y del viento; pues cuando una tormenta tiene la misma dirección, hay más posibilidades de que caiga en toda el área de la cuenca y no así en el caso contrario.

Cuando una tormenta comienza a caer en la salida de la cuenca y avanza hacia su parte más alejada, el agua se desliza en forma rápida sin ocurrir grandes avenidas en el caso contrario, el agua se acumula y las avenidas son máximas.

Drenajes y sus características.

Se le da el nombre de drenaje a todos los cursos que desalojan la escorrentía de una cuenca. Es interesante conocer cada curso en especial para deducir conclusiones en cuanto al sistema de drenaje en conjunto, así se obtienen datos de cantidad de tributarios, longitud, orden de los mismos, densidad de cursos, densidad de drenaje, etc.

Orden de cursos.

El sistema más conveniente de clasificar los cursos es el que comienza con los tributarios superiores, como de primer orden y así sucesivamente como se detalla a continuación:

- 1º) Todos los tributarios no ramificados que llegan al principal o a sus brazos, son de primer orden.
- 2º) La unión de dos tributarios de primer orden forman uno de segundo orden.
- 3º) Los de tercer orden se forman por la unión de dos de segundo orden.
- 4º) De la misma forma se clasifican hasta llegar al curso principal.

Longitud de tributarios.

La longitud de tributarios en una cuenca, dan una idea de la inclinación y grado de drenaje de la misma; así se puede ver que en una cuenca de fuerte pendiente, la cantidad de tributarios de primer orden es numeroso. Al hacer comparación de cuencas es preferible verificarla con el promedio de longitud de los tributarios del mismo orden, especialmente cuando se trata de ríos de primer orden y nunca deben hacerse comparaciones con los promedios de todas las longitudes de un sistema, pues conduce a grandes errores.

Las longitudes de los tributarios aumenta directamente con su número de orden y es aproximadamente una progresión geométrica.

## Densidad de cursos de agua.

Es una característica comparativa pues en dos cuencas que tengan igual -- densidad de cursos y en condiciones similares de otras características su com portamiento será semejante aunque sus áreas sean diferentes.

Se encuentra este valor dividiendo el número de cursos entre el área de -- la cuenca.

tenemos:

$$Dc = \frac{Nc}{A}$$

siendo

Dc = densidad de cursos  
Nc = número de cursos  
A = área de la cuenca en km<sup>2</sup>.

En el estudio de las cuencas, siempre se debe tomar en cuenta el drenaje artificial, pues influye de una manera directa, cambiando el caudal de los -- ríos que sirven de drenaje natural.

## Volúmenes de precipitación.

En el estudio de cuencas es de suma importancia el cálculo de volumen de lluvia caído, pues de ello depende las fases del estudio del ciclo hidrológi-- co; hasta la fecha no existe ningún método exacto que determine este cálculo, pero si existen métodos empíricos que dan una aproximación suficiente.

Entre los métodos más apropiados están:

La media aritmética  
Las Isoyetas  
El polígono de Thiessen

## Promedio aritmético.

Es el más sencillo pero también el menos exacto y sólo se puede usar en -- las cuencas que no tienen suficientes estaciones meteorológicas para poder -- usar otros métodos más exactos.

Consiste en encontrar el promedio de todos los datos de las estaciones y este promedio se toma como representativo para toda la cuenca.

## Isoyetas.

Consiste en trazar sobre un plano de la cuenca las líneas de igual preci-- pitación; para esto se sitúan en el plano los lugares correspondientes a las estaciones meteorológicas y a la par se ponen los valores diarios, mensuales o anuales de lluvia; se hacen interpolaciones y se trazan las isoyetas como -- en el caso de curvas de nivel; el valor promedio de los datos de lluvia com-- prendidos en una faja limitada por dos curvas isoyeticas será representativa para toda el área de la faja mencionada.

Existen reglas que deben seguirse para la aplicación del método, que son:

- 1ª) Para mapas anuales se tomarán estaciones que tengan registros comple-- tos.
- 2ª) No deben hacerse estimaciones cuando los registros son incompletos.
- 3ª) El registro de cada medidor será tomado como representativo para la -- localidad en donde están instalados los instrumentos.
- 4ª) Entre estaciones adyacentes las isoyetas se trazarán por interpola--- ción, solamente con mucha experiencia se trazarán al ojo.

- 5ª) Las curvas deberán ser suavizadas entre las estaciones; cuando haya agrupaciones de estaciones se tomará la más representativa, para evitar interpolaciones dudosas.

Cuando se han trazado las curvas, se encuentran las áreas entre cada dos curvas por medio del planímetro y se asume que en esa área cae la misma intensidad de lluvia, que equivale al promedio de las dos curvas.

#### Polígono de Thiessen.

El método consiste en determinar, en la forma adelante descrita, el área de influencia para cada estación. Este método fué dado por un meteorólogo estadounidense del mismo nombre, en 1911 y desde ese año se usa con bastante frecuencia. Hay algunos técnicos que creen que el método de las isoyetas es más exacto.

Para la aplicación del método se observan las siguientes reglas:

- 1ª) En un plano de la cuenca se dibuja un juego de triangulos que unan las estaciones de medición incluyendo aquellas que queden fuera de los límites de la cuenca.
- 2ª) Se trazan las medianas de los lados de los triangulos, formando así una serie de polígonos, uno para cada estación, suponiendo que el área de cada polígono tiene la misma precipitación de la estación comprendida en él.
- 3ª) Se evitará construir triangulos alargados, prefiriendo desechar las estaciones que producen esos triangulos.
- 4ª) Se necesita hacer varias formaciones, para escoger con buen criterio la mejor distribución.

Cuando se tiene construidos los polígonos se encuentra el área de cada uno de ellos, se multiplica por los valores de lluvia se suman y se tabulan; la suma total será la precipitación caída en la cuenca durante el tiempo establecido.

#### Escorrentía.

Con el nombre de escorrentía se conoce, la cantidad de agua que se desliza sobre la superficie del suelo, la cual es evacuada por todo el sistema de drenaje de una cuenca dada.

Para la determinación de la escorrentía se aplican diversos métodos; el más exacto sería: determinar la precipitación en la cuenca por el método, que más convenga, explicado anteriormente; determinar experimentalmente los valores de la evapotranspiración y de la infiltración de toda la cuenca y así por la diferencia con el volumen de precipitación, se encuentra el escurrimiento. Este método es exacto pero también caro, pues es necesario una serie de aparatos para la determinación de los otros datos que intervienen en el ciclo hidrológico y además se necesita un tiempo largo de observación.

Un método más sencillo, aunque menos exacto, pero que en nuestro medio, por no contar con instalaciones suficientes y personal adecuado, se presta para la determinación del escurrimiento y la infiltración con cierto error que se puede corregir en el transcurso del tiempo de observación.

El método consiste en determinar en los hidrogramas limnimétricos una línea representativa de las alturas del agua aportada por la infiltración; de esta línea para arriba, será el agua producida por el escurrimiento y hacia abajo por la infiltración.

La línea divisoria puede obtenerse uniendo los puntos más bajos de la curva del hidrograma, siendo ascendente, durante la estación lluviosa salvo variaciones debidas a las irregularidades del invierno; y descendente en la estación seca; en esta estación la línea coincidirá con la gráfica del hidrograma pues en este tiempo el caudal de los ríos son alimentados casi exclusiva-



mente por la infiltración, aunque caen algunas lluvias, pero por la sequedad del suelo el agua se pierde por la evapotranspiración y por la infiltración, sólo cuando las lluvias son de gran intensidad producen escurrimiento. Estas consideraciones, no son tan sencillas como aparece, pues dependen de las condiciones geológicas de la cuenca, vegetación, cultivos, etc.

Con la línea así determinada y con la ayuda de la curva de caudal propia de la estación hidrométrica, se pueden encontrar los volúmenes de agua debidos al escurrimiento y los debidos a la infiltración.

Aunque durante los picos de crecidas hay un aumento de infiltración que dependen de las características geológicas de la cuenca, aumentos que son difíciles de determinar y que conducen a errores en el método; pero sí, se puede recomendar como aceptable por carecer de medios adecuados para aplicar otros métodos más exactos.

#### Uso de fórmulas.

Existen muchas fórmulas para el cálculo del escurrimiento, que son de gran utilidad en ausencia de otros métodos; pero, como se explica al principio de este trabajo, pueden conducir a grandes errores cuando se usan sin moderación y condiciones distintas a las que se utilizaron en su determinación.

Entre las fórmulas más conocidas están:

#### Fórmula racional.

Se usa para la determinación del escurrimiento en áreas pequeñas y para el diseño de alcantarillados.

$$Q = C I A$$

donde

- Q = caudal en m<sup>3</sup>/seg.
- C = coeficiente de escurrimiento
- I = intensidad por hora de lluvia
- A = área del vaso o cuenca

#### Fórmula de Burkey - Ziegler.

Es la más usada, tanto en áreas grandes como pequeñas y siendo una fórmula sencilla, toma en cuenta muchos factores que intervienen en el escurrimiento, dando resultados favorables.

Tenemos:

$$Q = 0.28 C I A \sqrt{\frac{S}{A}}$$

en la cual

- Q = escurrimiento en m<sup>3</sup>/seg.
- 0.28 = coeficiente del paso del sistema inglés al métrico
- C = coeficiente de escorrentía
- I = intensidad de lluvia por hora en centímetros
- A = área de la cuenca en km<sup>2</sup>
- S = pendiente tanto por mil

El coeficiente C es variable de acuerdo a muchos factores pero para nuestro medio por comparaciones hechas entre los datos de la fórmula y los datos obtenidos de la curva de caudales, se ha encontrado con un valor de 0.185

Ver cálculos y mapas.

RIO SENSUNAPAN

Cálculo de Pendiente Media (Pm.)

R U M B O N-S		
No.	Longitud línea	# curvas
2	1050	0
3	500	0
4	550	0
5	1450	0
6	1550	0
7	5150	3
8	6500	9
9	9100	8
10	20900	27
11	26300	26
12	25850	32
13	25300	35
14	24350	26
15	19400	27
16	15400	19
17	9150	19
18	8050	24
19	6650	13
20	5000	6
21	2950	9
22	2650	9
<u>23</u>	<u>21500</u>	<u>1</u>
	218300	293

R U M B O E-O		
No.	Longitud línea	# curvas
1	2650	0
2	1450	0
3	750	0
4	1175	0
5	1725	0
6	2575	3
7	2200	0
8	2950	0
9	3375	0
10	5025	0
11	5000	0
12	5175	9
13	5450	6
14	5150	2
15	4850	5
16	4800	7
17	5650	20
18	5975	5
19	6400	12
20	6850	18
21	6650	7
22	6175	19
23	6300	12
24	7075	17
25	7375	19
26	8750	12
27	9900	21
28	10500	26
29	13400	18
30	17050	26
31	16400	32
32	15650	41
33	12350	35
<u>34</u>	<u>3600</u>	<u>16</u>
	220350	388

$$Pm = 0 \times \frac{N}{L} \times 1.5$$

$$Pm = \frac{100 \times (293+388)}{(218300 + 220350)} \times 1.5 = \frac{150 \times 681}{438650} = \frac{102150}{438650} = 0.233$$

Pm = 23%

RIO SENSUNAPAN

Cálculo de Elevación Media (Em.)

Elevación	N.C. de Clase	Frecuencia	Frec.Acum.	%	f x
00 - 99	49.5	9	9	4.11	445.5
100 - 199	149.5	21	30	9.59	3139.5
200 - 299	249.5	17	47	7.76	4241.5
300 - 399	349.5	9	56	4.11	3145.5
400 - 499	449.5	13	69	5.94	5843.5
500 - 599	549.5	12	81	5.48	6594.0
600 - 699	649.5	10	91	4.57	6495.0
700 - 799	749.5	8	99	3.65	5996.0
800 - 899	849.5	12	111	5.48	10194.0
900 - 999	949.5	14	125	6.39	13293.0
1000 - 1099	1049.5	14	139	6.39	14693.0
1100 - 1199	1149.5	17	156	7.76	19541.5
1200 - 1299	1249.5	13	169	5.94	16243.5
1300 - 1399	1349.5	11	180	5.02	14844.5
1400 - 1499	1449.5	15	195	6.85	21742.5
1500 - 1599	1549.5	9	204	4.41	13945.5
1600 - 1699	1649.5	5	210	2.74	9897.0
1700 - 1799	1749.5	4	214	1.83	6998.0
1800 - 1899	1849.5	3	217	1.37	5548.5
1900 - 1999	1949.5	0	217	0.00	0.0
2000 - ----	2049.5	2	219	0.91	4099.0
		219		100.30	186940.0

$$Em = \frac{fx}{N} = \frac{186940}{219} = 854$$

$$\underline{\underline{Em = 854 \text{ m}}}$$

$$\underline{\underline{Area = 219.32 \text{ Km}^2}}$$

CAPITULO VIIIPRESENTACION DE DATOS.

Todos los datos recogidos en el campo y los calculados en la oficina, se tabulan en orden cronológico y se archivan; de estos se sacan solamente, los que tienen interés para el público y se publican; en El Salvador ha sido editado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, un folleto con bosquejo sobre Hidrología como preliminar de una serie de publicaciones que se piensa hacer; pero por falta de medios adecuados no ha sido posible continuar con tan importante medio de información.

A continuación se ven una serie de cuadros con datos referentes a los ríos equipados con registradores automáticos de nivel, y un cuadro con los caudales mínimos medidos y ocurridos en los ríos comprendidos en el Plan Hidrométrico Nacional; pues por falta de espacio no es posible incluir todos los datos existentes en el archivo.

Los cuadros en mención incluyen rendimiento de algunas cuencas en lts./seg./km<sup>2</sup>. El promedio diario en m<sup>3</sup>/seg. de los ríos de primer orden y los totales mensuales y anuales de agua escurrida, lo mismo que los caudales máximos y mínimos mensuales y anuales y las fechas respectivas en que sucedieron.

CAUDALES MINIMOS OBSERVADOS EN LOS DIFERENTES RIOS DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR

No.	R í o	Lugar de Aforo	Mínimo en metros cub/se			
<u>DEPARTAMENTO DE AHUACHAPAN</u>						
1	Cara Sucia	Carretera Litoral	0.001	4	Feb.	1958
2	Catarina	Carretera Litoral	0.109	24	Feb.	1961
3	El Molino	Carretera a Ataco	0.776	12	Nov.	1959
4	El Naranja	Carretera Litoral	0.671	26	Feb.	1959
5	Guayabo	Carretera Litoral	0.081	1	Abr.	1959
6	Paz	La Hachadura	9.569	22	Mar.	1960
7	San Lorenzo	San Lorenzo (Pueblo)	2.760	25	Feb.	1960
8	San Francisco	Carretera Litoral	0.015	1	Abr.	1959
<u>DEPARTAMENTO DE SONSONATE</u>						
9	Banderas	Carretera Litoral	0.840	25	Ene.	1960
10	Cauta	Carretera Litoral	0.689	24	Ene.	1959
11	Metalfo	Carretera Litoral	0.020	25	Ene.	1960
12	Moscúa	Carretera Litoral	0.013	5	Feb.	1958
13	San Antonio	Carretera a Sto. Domingo G.	0.231	20	Nov.	1958
14	San Pedro	Carretera Litoral	0.610	27	Ene.	1959
15	Sensunapán	Afuera de Acajutla	1.600	3	Feb.	1960
16	El Zunza	Carretera Litoral	0.094	23	Feb.	1960
<u>DEPARTAMENTO DE SANTA ANA</u>						
17	Angüe	Hacienda Ostúa	0.120	25	Mar.	1960
18	Chimalapa	Salida de Metapán	0.004	3	Abr.	1959
19	Guajoyo	Carretera a Metapán	0.195	1	Feb.	1960
20	Pampe	Salida de Chalchuapa	0.740	31	Ene.	1959
21	Ostúa	Hacienda El Platanar	2.260	20	Abr.	1960
22	San José	Salida de Metapán	0.025	30	Ene.	1960
<u>DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD</u>						
23	Agua Caliente	Carretera S.Salv.-Santa Ana	1.290	15	Dic.	1959
24	Copapayo	Carretera S.Salv.-Sonsonate	0.006	9	Ene.	1959
25	Colón	Camino Hacienda Arizona	0.006	26	Feb.	1960
26	Chuchucato	Carretera S.Salv.-Sonsonate	0.124	16	Dic.	1958
27	Huiza	Carretera Comalapa-La Lib.	0.037	11	Mar.	1959
28	Palio	Carretera a Opico	0.500	22	Ene.	1960
29	Sucio	Carretera S.Salv.-Santa Ana	0.941	6	Abr.	1960
30	Suquiapa	Tacachico	2.570	15	Mar.	1960
31	Talnique	Ateos	0.130	25	Mar.	1960
32	Tequesquillo	Carretera La Lib.-Comalapa	0.011	13	Ene.	1959
33	Tihuapa	Carretera La Lib.-Comalapa	0.180	22	Abr.	1959
<u>DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO</u>						
34	Asambio	Carretera a Chalatenango	0.006	5	Mar.	1959
35	El Paraíso	Carretera a Chalatenango	0.142	5	Mar.	1959
36	Lempa	Citalá	2.250	17	Mar.	1960
37	Motochico	Carretera a Chalatenango	0.009	15	Mar.	1960
38	Sumpúl	Chorrera del Guayabo	1.960	10	Abr.	1956
39	Soyate	Carretera a Chalatenango	0.037	16	Feb.	1960
40	Tamulasco	Carretera a Suchitoto	0.132	22	Ene.	1958
<u>DEPARTAMENTO DE LA PAZ</u>						
41	Apanta	Carretera a Zacatecoluca	0.065	17	Mar.	1959
42	Comalapa	Hda. Santa Clara	0.090	16	Abr.	1959
43	Jalponga	Carretera a Zacatecoluca	0.169	25	Feb.	1959
44	Jiboa	Carretera Litoral	2.100	8	Abr.	1960
45	San Antonio	Carretera a Zacatecoluca	0.190	17	Mar.	1959
46	Tilapa	Carretera a Zacatecoluca	0.094	22	Abr.	1959

No.	R f o	Lugar de Aforos	Mínimo en metros cub/seg			
<u>DEPARTAMENTO DE SAN VICENTE</u>						
47	Acahuapa	Entrada a San Vicente	0.413	7	Abr.	1960
48	La Bolsa	Carretera Litoral	0.058	14	Ene.	1958
49	San Cristobal	Afueras de San Vicente	0.032	14	Mar.	1960
<u>DEPARTAMENTO DE USULUTAN</u>						
50	Calentura	Aguas arriba de su desembocadura	0.628	4	Dic.	1958
51	G.de San Miguel	Vado Marín	4.530	5	Abr.	1960
52	El Molino	Salida de Usulután	0.155	4	Mar.	1959
53	Lempa	San Marcos	53.530	16	Mar.	1959
54	Lempa	Puente Cuscatlán	78.040	23	Nov.	1959
<u>DEPARTAMENTO DE SAN MIGUEL</u>						
55	G.de San Miguel	Puente Luis Moscoso	1.100	7	Abr.	1959
56	G.de San Miguel	El Delirio	2.307	8	Abri.	1959
<u>DEPARTAMENTO DE MORAZAN</u>						
57	Torola	Carretera Osicala-Torola	1.846	2	Mar.	1960
<u>DEPARTAMENTO DE LA UNION</u>						
58	Goascorán	Aguas abajo Puente	0.991	21	Mar.	1958
59	Pasaquina	Salida de Pasaquina	0.041	2	Mar.	1960
60	Sirama	Carretera al Goascorán	0.140	27	Abr.	1960
<u>DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR</u>						
61	Acelhuate	Carretera Troncal del Norte	2.908	16	Mar.	1960
62	Sucio	Desembocadura	4.280	9	Feb.	1960
<u>DEPARTAMENTO DE CUSCATLAN</u>						
63	Desagüe Ilopango	Cantón San Antonio	0.950	1	Mar.	1960
64	Lempa	Puente Lempira	31.060	17	Mar.	1960



GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO

Río "BANDERAS"

Departamento de SONSONATE

Año 1961

<u>DIA</u>	<u>Enero</u>	<u>Feb.</u>	<u>Marzo</u>	<u>Abril</u>	<u>Mayo</u>	<u>Junio</u>	<u>Julio</u>	<u>Agosto</u>	<u>Seppure.</u>	<u>Octubre</u>	<u>Nov.</u>	<u>Dic.</u>
1 <sup>a</sup>	2.20	2.26	2.00	2.00	5.10	7.32	15.80	8.45	7.10	27.45	4.70	
2	2.58	2.21	1.86	1.94	5.10	9.35	11.35	9.00	7.10	47.00	4.70	
3	2.48	2.14	1.94	2.10	4.70	6.40	9.69	17.40	7.90	35.15	4.70	
4	2.33	2.07	2.48	3.42	4.95	7.10	10.00	23.45	9.00	31.35	4.70	
5	2.38	2.00	6.60	16.45	4.95	20.25	8.49	13.70	12.10	22.20	4.70	
6	2.20	1.93	4.95	10.30	5.10	11.70	8.49	19.55	11.00	45.71	4.70	
7	2.00	1.86	4.20	11.00	4.50	13.70	7.35	285.00	12.45	57.25	4.70	
8	1.94	1.70	3.70	9.00	5.30	46.36	7.10	112.07	12.85	44.40	4.70	
9	2.20	1.70	3.59	8.49	6.20	10.30	7.35	66.96	8.15	28.70	4.70	
10	2.10	1.65	3.59	7.90	9.00	11.70	6.89	44.40	8.15	18.00	4.70	
11	2.00	1.79	2.80	7.60	5.50	23.45	6.60	42.40	9.69	13.70	4.70	
12	2.00	1.70	2.38	6.60	7.10	45.05	6.60	35.15	13.30	11.70	4.70	
13	2.20	1.79	1.65	6.20	8.15	33.30	6.40	36.45	9.69	10.30	4.70	
14	2.10	1.86	1.59	6.20	9.35	4.10	6.20	23.45	9.00	9.69	4.70	
15	2.20	1.59	1.70	6.40	8.70	13.43	5.75	18.00	7.10	8.70	4.70	
16	2.20	1.46	1.70	5.75	6.20	12.76	5.89	16.90	6.40	7.60	4.70	
17	2.20	1.46	1.86	8.70	7.10	12.09	6.89	16.45	6.89	6.89	4.70	
18	2.00	1.59	1.59	5.98	6.20	11.42	7.35	41.80	10.00	6.20	4.70	
19	2.00	1.65	1.59	5.30	2.58	10.75	6.20	24.70	10.00	5.75	4.70	
20	2.00	1.79	1.46	4.95	1.95	10.08	5.75	19.00	8.15	5.30	4.95	
21	2.00	1.79	1.50	4.95	4.95	9.41	5.98	16.90	6.60	4.95	4.95	
22	1.94	1.70	1.50	4.50	21.57	8.74	7.35	32.60	5.98	4.95	4.70	
23	2.00	1.70	1.50	4.70	7.10	8.07	8.15	46.36	5.75	4.95	4.95	
24	2.00	1.86	1.50	4.38	11.00	7.40	10.30	26.75	5.75	4.95	4.95	
25	2.00	1.79	1.70	4.70	18.45	6.73	19.00	19.00	5.50	4.95	4.95	
26	2.00	1.94	1.65	4.70	8.49	6.06	16.90	23.45	5.30	4.95	4.95	
27	1.86	2.00	1.65	5.10	6.89	5.30	9.35	31.35	5.30	4.95	4.95	
28	2.20	1.70	1.65	5.10	5.98	10.00	8.15	79.18	5.10	4.70	4.95	
29	2.20	1.79	1.79	5.75	5.75	39.90	7.35	16.00	6.20	4.95	4.95	
30	2.38	1.86	1.94	5.50	5.10	31.35	7.10	10.00	6.45	4.95	4.95	
31	2.29	2.00		5.98		20.25	7.90		7.90		4.95	

RESUMEN ANUAL DEL RIO "BANDERAS"

Departamento de SONSONATE

Año 1961

Mes	Lectura de Mira		Gasto en Metros Cúbicos/seg.					Volumen en miles de M <sup>3</sup> .
	Extra en mts. Max.	Mínimo	Día	Extremos Max.	Día	Mín.	Medio	
Enero	0.98	0.85	5	3.05	27	1.79	2.14	5722.27
Febrero								
Marzo	0.90	0.80	24	2.20	16	1.46	1.82	4866.91
Abril	1.36	0.78	5	12.10	22	1.35	2.32	6014.30
Mayo	2.27	0.86	5	68.24	2	1.86	6.18	16557.70
Junio	2.20	1.07	25	63.75	7	4.38	7.20	18663.26
Julio	3.38	1.14	8	162.80	1 <sup>a</sup>	5.75	15.60	41802.05
Agosto	1.86	1.14	25	41.80	20	5.75	8.50	22781.09
Septiembre	9.20	1.18	7	495.20	2	6.60	39.19	101596.90
Octubre	2.22	1.10	12	65.03	28	4.95	8.12	21759.84
Noviembre	2.97	1.09	6	113.36	27	4.70	16.40	42533.86
Diciembre	1.14	1.08	20	5.75	17	4.50	4.79	12826.08
ANUAL	9.20			495.20		1.35	10.21	294124.26

Rendimiento de la Cuenca

RIO BANDERAS

Area aproximada hasta el limnigrafo 433 Km.2.

1 9 6 1

Mes	Q.Total Miles de M3/mes.	Litros por segundo por kilómetro 2.		
		Máximo	Mínimo	Medio
Enero	3436.13	7.00	4.15	4.95
Febrero	-----	----	----	----
Marzo	2927.23	5.08	3.40	4.20
Abril	3462.05	28.00	3.12	5.35
Mayo	8812.80	157.50	4.30	14.60
Junio	18663.26	147.00	13.50	16.60
Julio	41802.05	372.00	13.50	36.00
Agosto	22781.09	96.50	13.50	19.60
Septiembre	101596.90	1145.00	15.50	190.50
Octubre	21759.84	151.00	11.40	18.70
Noviembre	42533.86	212.00	10.80	38.00
Diciembre	12826.08	113.50	10.40	11.30

GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.

RIO: SENSUNAPAN.

Departamento de SONSONATE.

AÑO: 1, 9 6 1.

Día	Ene.	Feb.	MAR.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	1.65	1.69	1.80	2.30	2.10	4.00	13.00	46.40	6.80	2.10	2.15	1.30
2	1.65	1.73	1.80	2.10	2.10	4.70	13.00	42.30	6.80	2.00	2.60	1.25
3	1.65	1.77	1.80	2.10	2.20	4.50	11.80	39.90	10.15	1.90	1.90	1.20
4	1.65	1.81	1.80	2.40	2.10	4.30	11.80	36.60	17.10	2.30	2.10	1.20
5	1.65	1.85	1.80	3.60	25.10	4.30	10.65	34.10	8.85	2.90	2.20	1.10
6	1.65	1.89	1.80	1.70	13.75	4.30	10.65	32.50	18.60	1.90	5.65	1.05
7	1.65	1.90	1.80	1.50	7.70	4.30	10.65	30.90	22.00	1.80	5.10	1.00
8	1.65	1.90	1.80	1.90	5.45	6.40	11.80	29.20	253.57	1.90	13.00	0.85
9	1.65	1.90	1.79	1.90	4.00	8.10	11.20	27.55	239.76	1.80	3.30	0.82
10	1.60	1.80	1.79	1.90	3.45	6.10	10.65	26.00	185.97	1.80	2.50	0.85
11	1.60	1.80	1.78	1.70	3.20	4.15	11.20	24.25	118.91	3.60	2.10	1.00
12	1.60	1.80	1.77	1.65	3.00	8.10	14.70	22.75	65.40	2.50	1.80	1.10
13	1.60	1.80	1.76	1.65	2.90	16.25	14.70	21.90	30.00	2.50	1.70	1.00
14	1.60	1.80	1.75	1.65	2.90	13.00	13.00	21.10	12.40	2.00	1.65	1.25
15	1.65	1.80	1.74	1.65	2.75	10.65	11.80	19.45	7.70	1.90	1.20	1.10
16	1.65	2.00	1.73	1.65	2.75	9.30	10.65	17.80	5.45	1.90	1.40	1.20
17	1.60	1.80	1.72	1.65	2.90	8.50	11.20	17.10	4.30	1.90	1.40	1.00
18	1.40	1.80	1.71	1.70	2.90	7.70	13.00	16.25	3.60	1.80	1.30	1.25
19	1.50	1.80	1.70	1.65	2.90	7.00	12.40	14.70	3.00	1.90	1.20	1.20
20	1.60	1.80	1.70	1.65	2.90	6.40	11.80	13.75	3.00	1.80	1.20	1.25
21	1.50	1.80	1.70	1.65	2.90	7.70	10.65	13.00	2.30	1.70	1.20	1.40
22	1.40	1.80	1.70	1.65	2.90	39.10	10.65	8.85	2.60	1.70	1.00	1.30
23	1.40	1.80	1.65	1.65	2.90	39.90	9.70	7.40	2.60	1.70	1.00	1.30
24	1.50	1.90	1.80	1.80	2.75	60.40	9.70	9.30	2.20	1.70	1.00	1.10
25	1.50	1.80	1.90	2.60	2.75	44.00	9.30	4.30	4.00	1.90	1.05	1.10
26	1.50	1.80	1.90	2.00	2.75	29.20	8.85	13.75	2.50	1.70	1.00	1.05
27	1.50	1.80	1.80	1.90	3.45	21.90	8.85	8.10	2.10	1.65	1.00	1.00
28	1.50	1.80	2.00	1.90	3.30	17.80	8.50	7.40	2.10	1.65	0.82	1.00
29	1.60	-	2.00	2.00	3.30	15.45	13.00	7.70	2.10	1.60	1.25	1.00
30	1.65	-	2.10	2.00	3.60	14.70	54.50	7.00	2.20	1.50	1.30	1.00
31	1.65	-	2.30	-	3.30	-	49.80	6.80	-	1.70	-	1.00

RESUMEN ANUAL DEL RIO SENSUNAPAN

Departamento: - SONSONATE

AÑO - 1961

Mes	Lectura de Mira Extra en mts.		Gasto en metros cúbicos/seg. Extremós				Volumen en miles	
	Max.	Mínimo	Día	Max.	Día	Min.	Medio de M3.	
Enero	0.46	0.42	10.	2.30	17	1.90	1.58	4929.28
Feb.	0.50	0.47		2.75	16	2.40	1.82	4401.22
Marz.	0.54	0.46	31	3.30	23	2.30	1.81	4854.82
Abril	0.70	0.41	4	6.80	7	1.80	1.90	4937.76
Mayo	1.35	0.51	5	54.50	4	2.90	4.22	11314.08
Junio	1.56	0.60	23	71.87	4	4.30	14.41	37342.08
Julio	1.40	0.74	29	58.80	28	8.10	13.97	37424.16
Agos.	2.04	0.53	14	110.83	27	3.20	20.26	54267.84
Sptbre.	4.02	0.41	7	270.62	30	1.80	41.60	107332.38
Octubre	1.31	0.36	11	51.30	30	1.40	1.92	5158.08
Nov.	1.40	0.28	8	58.80	22	1.00	2.20	5708.45
Dic.	0.36	0.26	20	1.40	8	0.82	1.10	2956.61
TOTAL	4.02	0.26		270.62		0.82	8.89	280426.76

Rendimiento de la Cuenca

RIO SENSUNAPAN

Area aproximada hasta el limnigrafo 219 Km.2.

1 9 6 1

Mes	Q.Total Miles de M3/mes.	Litros por segundo por kilómetro 2.		
		Máximo	Mínimo	Medio
Enero	3844.80	10.95	4.79	6.80
Febrero	3201.12	10.95	4.56	5.84
Marzo	3931.20	12.32	5.02	6.66
Abril	8562.24	166.77	4.43	15.05
Mayo	12320.64	166.77	12.32	20.98
Junio	16895.52	99.76	17.33	29.74
Julio	20681.57	269.13	21.44	35.21
Agosto	23057.57	518.90	10.95	39.32
Septiembre	22078.66	368.33	12.32	38.86
Octubre	47472.48	320.44	36.49	80.83
Noviembre	20519.14	138.49	14.37	36.13
Diciembre	4017.60	8.67	5.92	6.84



GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.

RIO ANGUE.      AÑO: 1 9 6 1 .

Departamento: de SANTA ANA.

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1.55	1.67	1.18	0.66	0.46	0.80	0.97	13.36	11.62	4.64	1.71	1.25
1.46	2.15	1.10	0.72	0.52	0.68	1.14	5.60	14.24	4.20	1.71	1.25
1.37	2.62	0.98	0.78	0.58	0.56	1.31	4.18	18.86	3.76	1.80	1.25
1.28	3.12	0.87	0.86	0.64	0.90	1.48	3.49	9.00	3.76	1.80	1.25
1.18	3.12	0.76	0.92	0.69	0.76	1.25	3.12	6.25	3.76	1.64	1.32
1.10	2.76	0.76	0.96	0.60	2.16	2.05	2.76	5.07	3.60	1.71	1.18
1.10	2.46	0.76	0.96	0.56	3.37	1.90	3.37	6.25	3.37	1.80	0.96
1.10	2.26	0.76	0.85	0.56	1.71	1.90	2.46	21.62	3.37	3.00	0.90
1.03	2.05	0.76	0.85	1.25	4.18	2.16	3.12	18.90	3.25	2.76	0.80
0.96	1.90	0.69	0.85	0.43	2.46	3.60	2.26	10.50	3.00	2.55	0.76
0.96	1.71	0.66	0.85	0.40	2.55	8.70	1.98	6.85	2.87	2.55	0.85
0.96	1.55	0.66	0.76	0.35	3.76	17.20	1.90	5.90	2.76	2.55	1.71
0.96	1.40	0.66	0.76	0.46	4.31	22.40	1.80	4.86	2.65	2.05	1.32
0.96	1.40	0.66	0.76	0.40	7.95	24.78	1.71	4.05	2.55	1.90	4.18
0.96	1.32	0.66	0.76	0.35	4.18	29.54	1.64	3.37	2.55	1.80	2.35
0.96	1.25	0.66	0.76	0.33	3.12	7.74	1.98	4.50	2.55	1.64	1.80
0.96	1.10	0.66	0.76	0.29	4.18	4.94	7.36	3.25	2.46	1.55	1.55
1.10	1.10	0.66	0.69	0.28	5.90	3.60	3.90	2.87	2.46	1.55	1.40
1.25	1.03	0.66	0.66	0.26	3.25	6.10	2.87	8.50	2.05	1.40	1.25
1.25	0.96	0.66	0.66	0.23	3.00	17.20	2.87	22.40	2.05	1.32	1.18
1.25	0.96	0.60	0.66	0.23	18.22	58.54	2.35	37.02	2.05	1.10	1.03
1.25	0.96	0.56	0.56	0.29	6.10	29.88	2.16	51.06	2.05	1.03	0.90
1.18	0.90	0.56	0.56	0.80	4.31	11.40	2.55	29.88	2.05	0.96	0.96
1.18	0.85	0.85	0.56	0.80	4.31	6.66	4.31	26.14	2.05	0.96	0.85
1.10	0.85	0.80	0.46	2.55	3.60	6.10	9.00	23.08	2.05	0.90	0.80
1.10	0.85	0.76	0.56	1.03	3.25	9.00	4.94	14.72	1.98	0.85	0.80
1.10	0.85	0.76	0.56	3.49	3.12	5.07	6.45	8.70	1.90	0.80	0.80
1.10	0.76	0.66	0.46	2.26	2.55	4.05	5.07	6.45	1.90	0.90	0.80
1.03	---	0.66	0.46	1.40	2.16	3.37	6.25	5.60	1.90	0.96	0.76
0.96	---	0.66	0.46	1.03	1.90	6.25	9.00	5.07	1.80	1.03	0.69
1.18	---	0.66	---	0.80	---	38.38	9.00	---	1.80	---	0.69

RESUMEN ANUAL DEL RIO: ANGUE.

Departamento: de SANTA ANA.-

AÑO: 1 9 6 1.-

Mes	Lecturas de Mira Extra en mts.		Gasto en Metros cúbicos /seg. Extremos					Volumen en miles de M3.
	Máx.	Mín.	Día	Máx.	Día	Mín.	Medio	
ene.	0.62	0.54	1º	1.55	10	0.96	1.12	3013.632
feb.	0.94	0.50	4	5.45	28	0.76	1.46	3793.824
mar.	0.58	0.46	1º	1.25	21	0.56	0.73	1965.600
abr.	0.54	0.44	5	0.96	1º	0.46	0.70	1825.632
mayo	1.00	0.32	25	6.45	22	0.18	0.78	2101.248
jun.	1.54	0.46	22	23.76	2	0.56	3.63	9443.520
jul.	3.20	0.58	21	80.36	5	1.25	11.30	29260.224
ago.	2.46	0.62	30	55.14	15	1.55	4.32	11474.784
sep.	2.86	0.76	22	68.24	18	2.87	13.22	45739.296
oct.	0.83	0.61	3	3.76	31	1.48	2.68	7187.616
nov.	0.84	0.51	8	3.90	27	0.80	1.61	4171.392
dic.	1.57	0.49	14	24.78	29	0.69	1.21	3247.776
anual	3.20	0.32	--	80.30	--	0.18	3.57	123224.544

Rendimiento de la Cuenca

RIO ANGUE

Area aproximada 350 kilómetros 2.-

1 9 6 1

Mes	Q.Total Miles de M3.	Litros por segundo por Kilómetro 2.		
		Máximo	Mínimo	Medio :
Enero	3013.632	4.40	3.05	3.20
Febrero	3793.824	15.50	2.17	4.15
Marzo	1965.600	3.60	1.60	2.08
Abril	1825.632	3.05	1.30	2.00
Mayo	2101.248	18.40	0.51	2.20
Junio	9443.520	67.80	1.60	10.40
Julio	29260.224	228.00	3.60	30.25
Agosto	11474.784	157.50	4.40	12.35
Septiembre	45739.296	195.00	8.20	37.90
Octubre	7187.616	10.75	4.20	7.65
Noviembre	4171.392	11.10	2.28	4.60
Diciembre	3247.776	70.50	1.97	3.45

GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.

RIO SUCIO ( SAN ANDRES )

Departamento: de LA LIBERTAD.

AÑO: 1 9 6 1.

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2.12	2.01	1.60	2.12	2.70	2.50	2.20	5.63	5.83	9.90	22.00	4.60
2.12	2.12	1.60	2.12	2.12	2.20	2.60	5.42	5.83	10.10	24.40	4.40
2.12	2.08	1.68	2.12	2.12	2.20	2.12	5.21	5.83	10.10	19.00	4.40
2.08	2.08	1.60	2.19	2.50	2.50	2.60	13.00	16.00	16.00	19.60	4.40
2.08	1.90	1.68	2.08	2.30	2.20	7.25	7.40	23.20	24.40	13.60	4.40
1.90	2.12	1.68	1.90	2.60	2.20	6.62	5.60	14.80	25.60	10.60	4.30
1.90	2.08	1.60	1.83	3.10	2.20	4.60	3.85	201.66	19.60	18.40	4.30
1.90	2.08	1.53	1.83	2.70	2.50	8.26	3.45	153.54	38.86	19.60	4.30
1.83	2.08	1.60	1.83	2.50	2.30	7.40	3.10	75.46	20.20	20.80	4.80
1.83	1.90	1.53	1.83	2.60	2.50	11.40	3.00	48.60	10.60	13.60	4.80
1.83	1.90	1.60	1.75	2.50	2.20	16.60	2.80	30.16	8.64	9.90	4.60
1.75	1.90	1.68	1.68	2.50	2.60	26.80	3.30	19.00	9.10	8.26	5.25
1.75	1.90	1.60	1.68	2.60	3.30	21.40	3.00	14.20	8.26	8.26	5.00
1.83	1.83	1.53	1.75	2.50	2.80	8.26	2.60	12.20	7.25	8.00	5.00
1.83	1.83	1.47	1.68	2.50	3.00	5.00	2.50	9.50	7.00	7.25	4.60
1.83	1.75	1.47	1.68	2.80	2.80	8.64	2.30	8.26	6.62	6.62	4.40
1.83	1.68	1.53	1.60	3.45	4.10	5.83	2.30	10.10	6.62	6.22	4.30
1.75	1.60	1.53	1.60	3.10	3.60	6.62	2.70	26.20	6.22	5.83	4.30
1.68	1.60	1.68	1.53	2.70	3.50	8.64	3.30	13.60	6.22	5.42	4.30
1.68	1.68	1.75	1.53	2.50	3.40	12.60	2.60	13.00	7.25	5.25	6.40
1.68	1.60	1.68	1.53	2.20	3.30	7.40	2.30	33.32	6.40	5.25	8.26
1.60	1.75	1.75	1.47	2.12	3.20	6.22	3.30	33.88	5.83	5.00	7.25
1.60	1.83	1.75	1.47	2.12	3.10	5.83	3.00	49.70	5.42	5.00	5.63
1.68	1.75	1.68	1.47	2.12	3.00	5.63	3.60	27.86	5.42	5.00	5.00
1.68	1.75	1.75	1.47	2.12	2.90	5.25	11.80	18.40	5.42	4.80	4.60
1.68	1.68	1.68	1.53	2.08	2.80	4.60	11.80	58.50	5.25	4.60	4.60
1.68	1.68	1.75	1.53	2.12	2.70	3.70	8.46	26.80	5.00	4.60	4.40
1.75	1.68	1.68	1.60	2.50	2.60	3.85	5.25	14.80	5.00	4.60	4.60
1.90	---	1.75	2.08	2.60	2.50	12.60	4.10	10.60	4.80	4.40	4.40
1.90	---	1.75	2.20	2.70	2.40	13.00	3.60	9.90	4.80	4.40	4.40
1.90	---	1.75	---	2.70	---	11.00	3.45	---	4.80	---	4.40

RESUMEN ANUAL DEL RIO: SUCIO ( SAN ANDRES )

Departamento: de LA LIBERTAD.

AÑO: 1 9 6 1.

es	Lectura de Mira Extra en mts.		Gasto en Metros cúbicos /seg. Extremos					Volumen en mi- les de M3.
	Máx.	Mín.	Día	Máx.	Día	Mín.	Medio	
ne.	0.60	0.55	4	2.08	12	1.60	1.83	4898.02
eb.	0.61	0.54	2	2.12	18	1.53	1.67	4478.98
ar.	0.58	0.52	1	1.83	15	1.40	1.64	4398.62
or.	0.76	0.52	4	4.30	22	1.40	1.75	4545.50
ayo	0.73	0.60	7	3.70	24	2.08	2.51	6719.33
un.	0.88	0.62	17	7.00	2	2.20	2.77	7179.84
ul.	1.50	0.60	12	37.80	3	2.08	8.21	21990.53
go.	1.14	0.62	25	17.80	17	2.20	4.64	12417.41
ep.	7.20	0.79	7	350.00	3	4.80	33.02	85599.07
ct.	1.59	0.78	8	42.60	30	4.60	10.19	27292.03
ov.	1.48	0.77	1	36.68	29	4.40	10.00	25942.46
ic.	0.94	0.76	21	8.46	7	4.30	4.85	12993.70
anual	7.20	0.52	--	350.00	--	1.40	6.92	218455.49

GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.

RIO SUQUIAPA.

Departamento: de LA LIBERTAD.

AÑO: 1 9 6 1.

Día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic
1 <sup>a</sup>	4.60	4.18	4.15	4.20	5.10	4.35	6.65	6.10	10.25	10.25	7.17	6.1
2	4.35	4.02	3.70	4.17	4.40	4.15	5.10	6.10	10.82	10.25	7.45	6.3
3	4.15	3.86	3.95	4.15	3.70	4.35	5.35	6.10	8.30	12.20	7.15	6.3
4	4.15	3.70	4.15	5.10	5.10	4.15	10.55	6.10	7.15	18.87	7.45	6.6
5	4.15	4.60	4.15	7.80	7.45	4.35	13.88	5.35	7.80	12.20	6.65	6.3
6	4.15	4.60	4.84	4.60	4.60	4.60	18.31	5.56	7.45	10.25	6.65	6.1
7	4.15	4.35	4.15	4.35	5.56	4.15	10.25	7.45	55.66	9.45	6.65	5.8
8	4.15	4.15	4.15	4.15	4.35	4.35	17.24	7.45	37.56	9.45	11.40	6.3
9	4.15	4.35	4.15	4.15	4.35	4.15	18.87	6.10	21.62	8.30	8.05	6.3
10	4.15	3.95	4.15	4.35	4.15	4.15	9.72	5.56	15.84	7.45	7.45	6.6
11	4.15	4.84	4.15	4.15	4.15	4.15	15.84	5.56	13.04	7.45	7.45	7.1
12	4.15	4.73	4.15	4.15	4.60	4.35	19.43	5.35	11.10	7.45	7.45	7.1
13	4.60	4.62	4.15	4.35	4.15	5.35	15.56	5.10	10.25	6.10	6.90	7.4
14	4.60	4.51	4.15	4.60	4.15	5.85	15.56	4.84	10.25	6.90	7.45	7.4
15	4.60	4.40	4.15	4.15	4.35	13.88	11.40	4.60	11.40	7.80	7.45	6.6
16	4.60	4.28	4.15	5.85	4.15	5.35	7.45	6.10	11.65	8.05	6.65	6.6
17	4.60	4.15	4.60	4.15	4.15	8.90	6.65	6.65	9.45	7.45	6.90	6.1
18	4.60	4.15	4.60	3.95	4.15	11.40	10.00	5.85	8.56	7.15	6.65	6.6
19	4.60	4.15	4.15	3.70	3.95	6.65	10.00	4.84	8.56	7.80	6.65	6.6
20	4.60	4.15	4.15	3.70	3.95	4.60	7.15	3.70	7.80	7.45	5.56	6.3
21	4.60	4.15	4.35	4.15	3.95	4.60	6.65	6.10	8.05	7.45	6.65	6.9
22	4.60	4.15	4.15	3.95	3.95	13.04	13.32	7.80	15.84	6.90	5.35	6.6
23	4.15	4.60	4.60	3.95	4.35	5.85	6.90	5.35	20.78	7.15	6.10	6.9
24	4.15	4.35	4.35	4.15	3.70	4.35	6.90	11.10	13.32	6.35	6.10	6.6
25	4.15	4.35	3.95	3.95	4.84	5.35	9.45	14.44	10.55	6.35	6.10	6.3
26	4.15	3.95	3.95	3.95	4.35	6.65	12.48	24.09	10.82	6.65	6.10	6.3
27	4.15	4.15	4.35	3.95	6.65	7.15	9.45	19.71	7.45	6.65	6.10	6.6
28	4.60	4.15	4.32	4.15	4.60	5.35	8.05	9.72	8.30	6.35	6.10	6.6
29	4.60	---	4.29	3.95	4.35	5.35	8.30	8.30	8.30	6.35	6.65	6.9
30	4.35	---	4.26	3.70	4.35	4.84	8.56	7.45	8.30	6.65	6.10	6.6
31	4.35	---	4.23	---	4.35	---	7.80	7.45	---	6.90	---	6.3



RESUMEN ANUAL DEL RIO: SUQUIAPA.

Departamento: de LA LIBERTAD.

AÑO: 1 9 6 1.

Mes	Lectura de Mira Extra en mts.		Gasto en Metros cúbicos /seg. Extremos					Volumen en les de M3.
	Máx.	Mín.	Día	Máx.	Día	Mín.	Medio	
Ene.	1.80	1.66	1º	6.65	26	3.29	4.36	11672.640
Feb.	1.88	1.66	6	8.90	4	3.29	4.27	10332.576
Mar.	1.84	1.64	23	7.80	1º	2.90	4.22	11295.936
Abr.	2.00	1.66	5	12.20	11	3.29	4.32	11199.168
Mayo	2.05	1.67	4	13.60	31	3.45	4.51	12091.680
Jun.	2.68	1.67	22	30.99	30	3.45	5.86	15185.664
Jul.	4.02	1.69	5	67.71	2	3.95	10.74	28755.648
Ago.	3.44	1.66	26	51.87	20	3.29	7.61	20387.808
Sep.	4.59	1.79	7	83.30	4	6.35	13.87	35961.408
Oct.	2.60	1.71	4	28.75	26	4.35	8.26	22120.128
Nov.	2.18	1.72	8	17.24	22	4.60	6.88	17844.192
Dic.	2.04	1.74	14	13.32	1º	5.10	6.59	17655.840
Anual	4.59	1.64	--	83.30	--	2.90	6.79	214502.688

Rendimiento de la Cuenca

RIO SUQUIAPA

Area aproximada hasta el limnigrafo 308 Km. 2.

1 9 6 1

Mes	Q. total miles de m <sup>3</sup> /mes	Litros por segundo por kilómetro 2.		
		Máximo	Mínimo	Medio
Enero	11672.640	21.60	10.65	14.20
Febrero	10332.576	28.80	10.65	13.90
Marzo	11295.936	25.40	9.40	13.70
Abril	11199.168	39.60	10.65	14.00
Mayo	12091.680	44.20	11.20	14.65
Junio	15185.664	100.50	11.20	19.05
Julio	28755.648	220.00	12.80	34.90
Agosto	20387.808	167.00	10.65	24.35
Septiembre	35961.408	270.00	20.30	45.00
Octubre	22120.128	93.50	14.15	26.80
Noviembre	17844.192	56.00	14.95	22.15
Diciembre	17655.840	43.30	16.60	21.20

GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.RIO SUCIO "DESEMBOCADURA".

Departamento: de SAN SALVADOR. AÑO: 1961.-

Ía	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	5.70	5.70	5.70	5.40	5.55	5.90	6.34	11.50	25.06	28.78	11.00	5.40
2	5.70	5.70	6.10	5.40	5.90	6.30	6.10	14.20	39.92	18.60	15.30	5.20
3	5.70	5.70	5.86	5.40	6.25	6.10	6.10	25.73	54.78	10.20	19.60	5.20
4	5.70	5.70	5.63	5.40	6.60	6.30	13.30	31.83	69.95	26.95	22.70	5.20
5	5.70	5.70	5.40	5.40	6.60	6.60	36.00	20.90	94.05	33.05	19.10	5.20
6	5.70	5.70	5.40	5.40	6.30	6.30	17.00	13.30	83.76	24.51	15.60	5.20
7	5.70	5.70	5.40	5.40	5.90	6.30	16.00	10.60	246.15	12.00	20.20	5.20
8	5.70	5.70	5.40	5.40	5.90	6.60	23.90	9.80	271.06	26.34	21.40	5.00
9	5.70	5.70	5.40	5.40	5.90	6.30	32.44	9.80	96.60	15.60	25.12	5.00
0	5.70	5.70	5.40	5.40	5.70	6.10	20.90	8.00	50.68	7.80	19.10	5.70
1	5.70	5.70	5.40	5.40	5.70	6.30	40.96	8.00	29.39	6.60	14.20	5.70
2	5.70	5.70	5.40	5.40	5.90	6.30	57.35	7.80	17.50	12.50	11.50	6.10
3	5.70	5.40	5.40	5.40	5.90	6.10	51.92	8.00	12.00	5.90	10.80	5.90
4	5.70	5.70	5.40	5.40	5.70	6.60	25.73	7.30	16.60	5.00	11.10	5.90
5	5.70	5.70	5.40	5.40	5.70	7.30	15.60	6.70	12.50	4.40	10.80	6.10
6	5.70	5.70	5.40	5.40	5.90	6.70	26.95	6.60	8.00	6.60	9.50	5.40
7	5.70	5.70	5.40	5.40	6.10	7.00	17.00	7.60	16.00	11.50	8.60	5.20
8	5.70	5.40	5.40	5.70	6.10	14.20	52.54	8.70	29.39	10.60	7.80	5.20
9	5.70	5.70	5.40	5.40	6.10	9.50	33.44	8.00	19.10	10.20	7.80	5.20
0	5.70	5.40	5.70	5.40	6.70	7.00	28.78	7.00	10.80	11.50	7.30	6.30
1	5.70	5.40	5.90	5.70	6.10	6.60	30.61	7.30	30.00	10.20	7.00	14.70
2	5.70	5.70	5.40	5.40	6.10	27.56	24.51	10.80	49.44	9.10	6.70	8.60
3	5.70	5.70	5.70	5.40	5.90	7.00	17.00	8.80	56.74	8.80	6.70	6.60
4	5.70	5.70	5.40	5.40	6.10	7.30	19.60	10.60	32.44	8.60	6.60	5.90
5	5.70	5.70	5.40	5.20	5.90	8.00	22.20	29.39	22.70	8.00	6.30	5.20
6	5.70	5.70	5.40	5.40	5.90	9.10	31.22	50.68	62.98	8.00	6.10	5.00
7	5.70	5.70	5.40	5.20	6.10	8.30	18.60	34.27	30.00	8.00	6.10	4.90
8	5.70	5.70	5.40	5.20	6.10	7.30	32.44	18.00	13.80	7.30	5.90	4.90
9	5.70	---	5.70	5.20	6.30	7.06	33.05	26.95	9.10	7.30	6.30	4.90
0	5.70	---	5.40	5.20	6.30	6.82	35.50	13.80	7.00	6.70	5.70	5.00
1	5.70	---	5.40	---	6.60	---	30.00	10.50	---	6.70	---	4.60

RESUMEN ANUAL DEL RIO: SUCIO "DESEMBOCADURA"

Departamento: de SAN SALVADOR.-

AÑO: 1 9 6 1.-

Mes	Lecturas de Mira Extra en Mts.		Gasto en Metros cúbicos /seg. Extremos					Volumen en mil les de M3.
	Máx.	Mín.	Día	Máx.	Día	Mín	Medio	
Ene.	1.12	1.04	13	7.30	1º	5.40	5.70	15266.88
Feb.	1.11	1.04	6	7.00	1º	5.40	5.66	13685.76
Mar.	1.16	1.03	21	8.30	27	5.20	5.73	15352.42
Abr.	1.09	1.02	1º	6.60	27	5.00	5.39	13962.24
Mayo	1.29	1.02	4	13.00	1º	5.00	6.06	16225.92
Jun.	1.76	1.06	22	39.72	1º	5.90	7.83	20290.18
Jul.	3.01	1.07	4	115.30	2	6.10	26.55	71114.11
Ago.	2.22	1.07	26	67.76	15	6.10	14.60	39100.32
Sep.	7.86	1.10	8	410.76	30	6.70	50.50	131111.14
Oct.	2.99	0.96	5	114.69	16	4.00	12.17	32601.31
Nov.	1.59	1.00	9	29.36	29	4.60	11.73	30405.89
Dic.	1.50	0.92	21	23.90	27	3.30	5.79	15517.44
Anual	7.86	0.92	--	410.76	--	3.30	13.30	414633.61

Rendimiento de la Cuenca

RIO SUCIO (DESEMBOCADURA)

Area aproximada hasta el limnigrafo 834 Km. 2.

1 9 6 1

Mes	Q.Total Miles de M3/mes.	Litros por segundo por Kilómetro 2.		
		Máximo	Mínimo	Medio
Enero	15266.88	8.60	6.40	6.75
Febrero	13685.76	8.30	6.40	6.70
Marzo	15352.42	9.80	6.15	6.80
Abril	13962.24	7.50	5.95	6.40
Mayo	16225.92	15.40	5.95	7.20
Junio	20290.18	47.00	7.00	9.29
Julio	71114.11	181.00	7.25	31.50
Agosto	39100.32	82.00	7.25	17.70
Septiembre	131111.14	495.00	7.95	60.00
Octubre	32601.31	174.40	4.75	14.40
Noviembre	30405.89	34.85	5.45	13.90
Diciembre	15517.44	28.50	3.90	6.85

GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.

RIO DESAGUE DE ILOPANGO.

DEPARTAMENTO: DE CUSCATLAN.-

Año: 1 9 6 1.-

Día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	2.54	2.04	1.64	1.10	0.82	0.79	1.04	2.12	2.39	4.39	4.54	3.48
2	2.54	2.02	1.72	1.07	0.82	0.80	1.04	2.14	2.14	4.54	4.72	3.38
3	2.54	2.02	1.64	1.07	0.74	0.81	1.04	2.14	2.28	4.69	4.72	3.30
4	2.46	1.98	1.58	1.04	0.74	0.82	1.04	2.12	2.62	4.84	4.76	3.22
5	2.44	1.90	1.58	1.00	0.56	0.84	2.22	2.08	2.90	4.84	4.80	3.14
6	2.40	1.82	1.46	0.98	1.00	0.96	4.72	2.08	1.06	4.88	4.76	3.06
7	2.36	1.75	1.40	1.00	0.96	0.92	4.80	2.10	3.80	4.92	4.76	3.02
8	2.36	1.75	1.42	1.04	0.90	0.92	4.88	2.12	4.20	5.06	4.76	2.98
9	2.36	1.62	1.30	0.92	0.86	0.92	4.92	2.14	4.36	5.02	4.76	2.94
10	2.54	1.56	1.28	1.07	0.82	0.98	4.98	2.16	4.20	4.98	4.76	2.90
11	2.22	1.62	1.24	1.24	0.82	0.98	5.06	2.18	4.20	4.92	4.66	2.88
12	2.18	1.62	1.16	1.16	0.86	0.98	5.32	2.18	4.20	4.98	4.62	2.98
13	2.14	1.72	1.12	1.40	0.76	1.04	5.11	2.14	4.32	4.98	4.58	2.90
14	2.04	1.84	1.36	1.84	0.70	1.10	4.90	2.08	4.28	4.92	4.58	3.22
15	2.08	1.84	1.46	1.82	0.74	1.10	4.69	1.98	4.28	4.88	4.58	3.66
16	2.04	1.84	1.40	1.78	0.78	1.10	4.48	1.94	4.32	4.84	4.54	3.62
17	2.04	1.82	1.30	1.78	0.82	1.16	4.27	1.90	4.46	4.84	4.50	3.54
18	2.25	1.98	1.30	1.72	0.78	1.24	4.06	1.84	4.46	4.76	4.46	3.46
19	2.46	1.84	1.28	1.64	0.76	1.28	3.85	1.78	4.42	4.76	4.32	3.46
20	2.46	1.72	1.16	1.58	0.74	1.24	3.64	1.75	4.42	4.92	4.28	3.76
21	2.25	1.64	1.12	1.46	0.70	1.22	3.43	1.72	4.58	4.84	4.36	3.76
22	2.14	1.64	1.18	1.46	0.70	1.22	3.22	1.72	4.58	4.84	4.42	3.72
23	2.14	1.64	1.22	1.46	0.70	1.18	3.01	1.75	4.50	4.76	4.42	3.72
24	2.14	1.62	1.16	1.40	0.66	1.30	2.80	1.82	4.62	4.66	4.32	3.62
25	2.12	1.68	1.10	1.22	0.58	1.34	2.59	1.90	4.46	4.66	4.20	3.48
26	2.08	1.72	1.16	1.10	0.58	1.22	2.38	2.08	4.36	4.58	4.12	3.46
27	1.94	1.72	1.10	1.10	0.56	1.16	2.17	2.12	4.36	4.50	4.04	3.34
28	1.98	1.72	1.10	1.04	0.58	1.10	2.02	2.12	4.28	4.42	3.80	3.26
29	1.94	---	1.10	1.04	0.64	1.18	2.14	2.18	4.28	4.32	3.70	3.22
30	1.94	---	1.10	1.16	0.82	1.12	2.46	2.18	1.38	4.24	3.58	3.14
31	2.04	---	1.07	---	0.78	---	2.64	2.14	---	4.20	---	3.14



RESUMEN ANUAL DEL RIO: DESAGUE DE ILOPANGO.

Departamento: de CUSCATLAN.-

AÑO: 1 9 6 1.-

Mes	Lecturas de Mira: Máx.	Mts. Mín.	Gasto en Metros cúbicos / seg. Extremos					Medio	Volumen en m les de M3.
			Día	Máx.	Día	Mín.			
Ene.	0.94	0.76	3	2.54	26	1.90	2.23	5975.42	
Feb.	0.80	0.64	1º	2.04	9	1.52	1.77	4292.35	
Mar.	0.70	0.49	2	1.72	25	1.07	1.30	3474.14	
Abr.	0.74	0.41	13	1.84	9	0.84	1.29	3342.82	
Mayo	0.48	0.16	5	1.04	5	0.26	0.73	1950.91	
Jun.	0.58	0.40	25	1.34	5	0.82	1.07	2766.53	
Jul.	1.70	0.68	13	5.62	1º	1.64	3.38	9065.09	
Ago.	0.84	0.70	12	2.18	20	1.72	2.02	5417.28	
Sep.	1.51	0.82	22	4.80	2	2.12	3.82	9910.94	
Oct.	1.58	1.37	8	5.10	31	4.20	4.74	12699.07	
Nov.	1.51	1.19	4	4.80	30	3.48	4.45	11527.49	
Dic.	1.27	1.03	20	3.80	10	2.88	3.31	8878.46	
Anual	1.70	0.16	--	5.62	--	0.26	2.50	79300.51	

Rendimiento de la Cuenca

RIO DESAGUE DE ILOPANGO.

Area aproximada hasta el limnigrafo 138 Km. 2.

1 9 6 1

Mes	Q.Total Miles de M3/mes.	Litros por segundo por Kilómetro 2.		
		Máximo	Mínimo	Medio
Enero	5975.42	18.40	13.80	16.30
Febrero	4292.35	14.80	11.00	12.80
Marzo	3474.14	12.50	7.85	9.45
Abril	3342.82	13.30	6.10	9.35
Mayo	1950.91	7.55	1.88	5.29
Junio	2766.53	9.75	5.95	7.84
Julio	9065.09	40.70	11.90	24.40
Agosto	5417.28	15.80	12.50	14.65
Septiembre	9910.94	34.80	15.35	27.70
Octubre	12699.07	37.00	30.40	34.30
Noviembre	11527.49	34.80	25.20	32.20
Diciembre	8878.46	27.60	20.80	23.90

GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.

RIO JIEOA.

Departamento: de LA PAZ.

AÑO: 1 9 6 1

Ía	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1 <sup>a</sup>	3.50	2.60	2.15	2.20	2.20	3.15	3.30	6.45	5.10	36.26	23.26	18.86
2	3.50	2.60	2.15	2.15	2.20	3.15	3.30	6.25	5.25	36.26	21.30	19.35
3	3.50	2.60	2.15	2.30	2.20	3.15	3.30	5.60	5.90	36.26	19.35	19.35
4	3.50	2.60	2.20	3.15	2.20	3.15	5.25	5.60	11.85	36.74	21.30	19.86
5	3.50	2.55	2.30	2.60	2.20	3.15	10.30	5.60	13.50	30.55	19.35	19.35
6	3.50	2.45	2.30	2.45	2.20	3.15	6.25	5.40	9.80	30.55	19.35	18.86
7	3.40	2.55	2.35	2.45	2.20	3.15	5.40	5.60	52.15	24.23	19.35	15.20
8	3.30	2.60	2.45	2.45	2.30	3.25	5.90	5.40	81.22	24.72	21.79	10.60
9	3.30	2.55	2.45	2.45	2.30	3.25	5.00	5.40	29.60	28.62	20.82	10.60
10	3.25	2.70	2.45	2.30	2.35	4.60	4.80	5.40	23.74	23.74	24.72	10.60
11	3.15	2.80	2.30	2.30	2.45	3.70	47.31	5.40	23.26	38.64	19.35	10.90
12	3.15	2.60	2.30	2.30	2.45	3.50	13.20	5.40	22.77	26.18	19.35	11.20
13	3.15	2.60	2.30	2.30	2.45	3.50	7.85	5.40	24.23	23.74	19.35	10.60
14	3.15	2.45	2.30	2.30	2.55	4.00	5.40	5.40	28.62	23.62	19.35	10.60
15	3.15	2.55	2.30	2.45	2.55	5.10	5.90	5.40	22.28	24.72	33.26	10.60
16	3.05	2.55	2.30	2.45	4.70	4.10	6.80	5.40	22.28	22.77	19.35	10.30
17	2.95	2.45	2.30	2.45	3.15	3.70	5.40	5.40	22.28	23.26	18.86	10.30
18	2.85	2.45	2.30	2.45	2.80	3.60	6.10	5.40	23.74	34.84	18.86	10.30
19	2.80	2.55	2.30	2.45	2.80	3.60	11.50	5.40	25.21	30.08	18.86	10.00
20	2.80	2.55	2.30	2.35	2.70	3.50	6.25	5.40	23.26	22.77	18.86	10.60
21	2.70	2.45	2.30	2.30	2.70	3.40	6.25	5.40	26.18	22.77	19.35	10.30
22	2.85	2.45	2.45	2.30	2.60	3.30	5.90	5.60	27.16	22.77	19.35	10.60
23	2.95	2.35	2.45	2.30	2.80	5.10	5.75	5.75	28.14	22.77	18.86	10.30
24	2.80	2.40	2.35	2.35	2.80	6.25	6.65	5.75	23.74	22.77	18.86	10.30
25	2.80	2.40	2.30	2.30	2.80	4.80	8.50	5.60	26.18	22.77	18.86	10.00
26	2.80	2.35	2.30	2.30	2.85	3.90	5.60	6.25	25.70	22.77	18.86	10.00
27	2.80	2.20	2.30	2.30	2.85	3.70	1.95	5.10	24.23	22.28	18.86	10.00
28	2.80	2.15	2.30	2.30	3.15	3.50	10.30	5.10	23.26	22.28	19.35	10.00
29	2.85	---	2.30	2.30	3.30	3.40	16.50	5.25	24.72	22.28	19.35	10.00
30	2.95	---	2.30	2.30	2.10	3.50	11.25	6.45	22.77	22.28	18.86	10.00
31	2.70	---	2.30	---	3.50	---	8.17	5.10	---	22.28	---	10.00

RESUMEN ANUAL DEL RIO: JIBOA.-

Departamento: de LA PAZ.

AÑO: 1 9 6 1.†

Mes	Lectura de Mira Extra en mts.		Gasto en Metros cúbicos /seg. Extremos					Volumen miles d M3.
	Máx.	Mín.	Día	Máx.	Día	Mín.	Medio	
Ene.	0.72	0.63	1º	3.50	21	2.70	3.08	8246.88
Feb.	0.64	0.56	10	2.80	27	2.15	2.50	6056.64
Mar.	0.61	0.56	22	2.55	1º	2.15	2.31	6186.24
Abr.	0.71	0.56	4	3.40	2	2.15	2.38	6164.64
Mayo	1.14	0.56	16	11.25	6	2.15	2.66	7119.36
Jun.	1.23	0.68	23	14.30	3	3.15	3.74	9702.72
Jul.	2.62	0.70	11	81122	2	3.30	8.24	22060.51
Ago.	1.17	0.86	25	12.15	25	5.10	5.55	14865.12
Sep.	3.68	0.86	7	132.79	1º	5.10	24.27	62909.57
Oct.	2.53	1.40	11	76.68	27	22.28	26.65	71384.54
Nov.	1.93	1.33	10	47.79	23	18.86	19.89	51546.24
Dic.	1.38	1.10	7	21.30	19	10.00	12.24	32793.98
Anual	3.68	0.56	--	132.79	--	2.15	9.46	299036.44

Rendimiento de la Cuenca

RIO JIBOA

Area aproximada hasta el limnigrafo 229 Km.2.

1 9 6 1

Mes	Q.Total Miles de M <sup>3</sup> /mes.	Litros por segundo por Kilómetro 2.		
		Máximo	Mínimo	Medio
Enero	8246.88	15.25	11.80	13.45
Febrero	6056.64	12.20	9.40	10.90
Marzo	6186.24	11.15	9.40	10.10
Abril	6164.64	11.85	9.40	10.40
Mayo	7119.36	49.50	9.40	11.60
Junio	9702.72	62.00	13.75	16.35
Julio	22060.51	350.50	14.40	36.00
Agosto	14865.12	53.00	22.20	24.20
Septiembre	62909.57	580.00	22.20	106.00
Octubre	71384.54	335.00	93.50	116.50
Noviembre	51546.24	209.00	79.00	87.00
Diciembre	32793.98	94.50	43.70	53.50

GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.

RIO ACAHUAPA.

Departamento: de SAN VICENTE.

AÑO: 1 9 6 1.

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0.55	0.48	0.41	0.41	0.41	0.34	0.38	0.31	0.61	2.56	2.30	1.35
0.55	0.48	0.41	0.39	0.36	0.34	0.41	0.27	0.57	3.50	2.21	1.18
0.55	0.45	0.45	0.51	0.36	0.34	0.38	0.23	0.61	4.42	1.95	1.00
0.48	0.48	0.43	0.61	0.34	0.36	0.54	0.18	1.35	5.35	2.47	0.92
0.48	0.48	0.43	0.45	0.36	0.38	1.35	0.16	0.69	1.35	2.30	0.85
0.48	0.48	0.43	0.43	0.38	0.38	0.47	0.15	0.61	0.47	1.87	0.92
0.51	0.43	0.43	0.47	0.36	0.54	0.51	0.15	3.75	4.51	0.80	0.74
0.48	0.48	0.43	0.45	0.36	0.38	0.85	0.15	4.67	2.73	0.80	0.80
0.48	0.45	0.43	0.45	0.34	0.38	1.35	0.15	1.18	2.30	0.80	0.74
0.48	0.45	0.43	0.43	0.36	0.38	0.51	0.15	1.26	1.35	0.80	0.85
0.48	0.45	0.43	0.43	0.34	0.34	1.61	0.15	1.26	5.09	0.80	0.74
0.48	0.45	0.41	0.43	0.34	0.36	2.56	0.15	0.80	2.64	0.80	0.74
0.45	0.45	0.41	0.43	0.34	0.45	0.61	0.14	0.31	2.04	0.61	0.74
0.48	0.45	0.43	0.45	0.41	0.41	0.41	0.14	0.31	2.47	0.54	0.74
0.48	0.45	0.41	0.45	0.38	0.41	0.80	0.38	0.31	2.56	1.52	0.69
0.51	0.48	0.41	0.45	0.43	0.36	0.69	0.22	0.30	2.04	0.80	0.74
0.48	0.45	0.41	0.43	0.38	0.38	1.35	0.15	0.27	1.95	0.80	0.74
0.55	0.45	0.41	0.41	0.36	0.38	1.18	0.15	0.27	2.38	0.80	0.74
0.61	0.51	0.41	0.41	0.34	0.41	0.51	0.15	0.30	2.21	0.80	0.74
0.55	0.51	0.41	0.41	0.34	0.38	0.47	0.15	0.31	2.12	0.80	0.74
0.55	0.48	0.41	0.41	0.36	0.36	0.51	0.15	4.42	1.95	0.74	0.61
0.57	0.51	0.43	0.41	0.34	0.36	4.51	1.09	1.52	1.95	0.74	0.74
0.57	0.43	0.41	0.41	0.34	0.51	2.47	0.28	1.35	1.95	1.26	0.74
0.48	0.48	0.41	0.38	0.34	0.61	0.80	0.21	1.18	1.95	1.61	0.74
0.48	0.45	0.41	0.38	0.34	0.51	0.36	0.19	0.61	1.95	1.61	0.74
0.48	0.45	0.41	0.41	0.34	0.41	0.23	0.24	0.85	1.95	1.61	0.74
0.51	0.45	0.41	0.41	0.34	0.38	0.27	0.22	1.09	1.95	1.61	0.69
0.48	0.43	0.41	0.36	0.43	0.38	1.43	0.20	1.00	1.95	1.61	0.65
0.51	---	0.41	0.38	0.38	0.43	2.04	0.16	0.61	1.95	1.61	0.69
0.51	---	0.41	0.38	0.36	0.38	2.12	0.16	1.61	1.95	1.43	0.69
0.51	---	0.45	---	0.34	---	0.80	0.16	---	1.95	---	0.66



RESUMEN ANUAL DEL RIO: ACAHUAPA.-

Departamento: de SAN VICENTE.

AÑO: 1 9 6 1.-

Mes	Lecturas de Mira: Máx.	Mts. Mín.	Día	Gasto en Metros cúbicos / seg. Extremos			Medio	Volumen en m <sup>3</sup> les de M3.
				Máx.	Día	Mín.		
ene.	0.80	0.60	19	1.10	13	0.31	0.51	1361.66
feb.	0.73	0.55	2	0.65	28	0.25	0.46	1122.34
mar.	0.76	0.61	2	0.80	2	0.33	0.42	1122.34
abr.	0.74	0.60	7	0.70	29	0.31	0.43	1108.51
mayo	0.71	0.53	27	0.57	20	0.22	0.36	967.68
jun.	1.07	0.57	23	3.42	24	0.27	0.40	1039.39
jul.	2.14	0.44	22	12.40	27	0.14	1.05	2806.27
ago.	1.35	0.45	22	5.77	13	0.15	0.21	573.69
sep.	1.47	0.57	7	6.78	17	0.27	1.13	2935.87
oct.	2.02	0.62	4	11.41	3	0.35	2.43	6522.34
nov.	1.04	0.70	4	3.16	14	0.55	1.28	3317.76
dic.	0.81	0.70	5	1.18	28	0.55	0.77	2106.43
anual	2.14	0.44		12.40		0.14	0.78	24984.28

Rendimiento de la Cuenca

RIO ACAHUAPA

Area aproximada hasta el limnigrafo 48 Km. 2.

1 9 6 1

Mes	Q.Total Miles de M3.	Litros por segundo por kilómetro 2.		
		Máximo	Mínimo	Medio
Enero	1361.66	22.90	6.45	10.60
Febrero	1122.34	13.50	5.20	9.60
Marzo	1122.34	16.70	6.90	8.75
Abril	1108.51	14.60	6.45	8.95
Mayo	967.68	11.80	4.60	7.50
Junio	1039.39	71.25	5.60	8.35
Julio	2806.27	250.80	2.92	21.90
Agosto	573.89	120.00	3.12	4.40
Septiembre	2935.87	142.50	5.60	23.30
Octubre	6522.34	230.80	7.30	50.50
Noviembre	3317.76	66.00	11.45	26.30
Diciembre	2106.43	24.60	11.45	16.00

GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.

RIO LEMPA. ( SAN MARCOS)

Departamento: de USULUTAN. AÑO: 1 9 6 1.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
116	91	98	56	84	112	162	492	494	5:87	272	124	
116	100	98	102	92	1100	156	428	518	536	200	120	
116	70	92	112	98	88	176	344	542	484	170	112	
116	64	92	102	104	98	194	348	566	1158	212	98	
108	66	88	98	150	100	248	364	592	1013	180	110	
108	56	76	98	212	84	538	336	616	784	622	112	
108	60	90	130	220	126	360	336	970	558	508	112	
102	58	92	112	150	118	919	296	3019	600	674	110	
92	62	92	94	84	164	608	224	2960	494	1837	110	
92	64	92	74	70	272	616	168	1365	460	1184	100	
98	64	90	76	74	220	702	168	1013	368	696	90	
102	58	88	84	76	264	1261	168	1133	552	622	104	
104	50	74	78	100	308	2061	168	600	440	512	102	
104	58	82	80	112	608	1605	168	528	340	368	102	
100	62	90	82	108	708	662	168	494	360	328	102	
88	64	92	80	124	648	774	168	484	432	308	90	
92	64	108	66	142	398	632	170	526	416	300	70	
94	62	98	70	110	368	494	180	622	388	300	64	
98	58	88	80	92	546	508	180	1073	424	300	80	
100	50	70	80	84	622	774	176	1030	546	300	92	
98	56	82	78	78	420	893	182	1210	356	300	110	
92	60	92	76	66	158	1503	180	1141	276	300	102	
80	62	94	70	70	194	1143	198	2018	262	244	102	
88	62	104	60	84	508	1201	322	1802	258	180	112	
94	60	108	68	94	482	638	416	1571	258	150	102	
92	54	92	78	134	708	638	748	876	258	144	74	
90	62	76	80	242	542	520	1107	816	258	130	58	
92	74	80	82	204	482	574	987	588	258	146	66	
90	--	82	84	188	382	478	666	596	258	128	78	
80	--	74	76	158	206	538	484	638	258	126	82	
82	--	60	--	124	--	658	470	--	258	--	82	

RESUMEN ANUAL DEL RIO: LEMPA- SAN MARCOS.

Departamento: de USULUTAN.+

AÑO: 1 9 6 1.

Mes	Lecturas de Mira Extra en mts.		Gasto en Metros cúbicos /seg. Extremos					Volumen en miles de M <sup>3</sup>
	Máx.	Mín.	Día	Máx.	Día	Mín	Medio	
Ene.	0.66	0.45	4	124	31	70	97.81	261964.8
Feb.	0.600	0.32	2	108	13	46	63.25	153014.4
Mar.	0.66	0.38	24	124	31	56	88.19	236217.6
Abr.	0.77	0.38	7	152	1 <sup>a</sup>	56	83.53	216518.4
Mayo	1.33	0.40	7	336	12	60	120.26	322099.2
Jun.	2.58	0.45	26	1056	6	70	334.47	866937.6
Jul.	4.20	0.78	13	2431	2	156	717.25	1921017.6
Ago.	3.55	0.73	27	1888	21	142	348.71	933984.0
Sep.	5.20	1.51	8	3302	6	404	1013.37	2626646.4
Oct.	3.08	1.11	4	1486	23	258	448.32	1200787.2
Nov.9	4.27	0.62	999	2485	28	112	391.37	1014422.4
Dic.	0.74	0.33	24	144	27	47	95.87	256780.8
Anual	5.20	0.32	---	3302	--	46		10010390.4

Rendimiento de la Cuenca

RIO LEMPA (SAN MARCOS).

Area aproximada hasta el limnógrafo 18000 Km.2

1 9 6 1

Mes	Q.Total Miles de M3/mes.	Litros por segundo por Máximo	por segundo por Mínimo	Kilómetro 2. Medio
Enero	261964.80	6.90	3.90	5.44
Febrero	153014.40	6.00	2.55	3.50
Marzo	236217.60	6.90	3.10	4.90
Abril	216518.50	8.45	3.10	4.65
Mayo	322099.20	18.70	3.30	6.80
Junio	866937.60	58.60	3.90	18.60
Julio	1921017.60	135.00	8.70	39.80
Agosto	933984.00	105.00	7.85	19.30
Septiembre	2626646.40	183.00	22.50	56.00
Octubre	1200787.20	82.50	14.30	25.00
Noviembre	1014422.40	137.00	6.20	21.80
Diciembre	256780.80	8.00	2.60	5.30

GASTO MEDIO DIARIO EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO.

RIO GRANDE DE SAN MIGUEL  
"VADO MARIN"

DEPARTAMENTO DE SAN MIGUEL

A Ñ O: 1, 9 6 1

Ía	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	8.58	7.80	7.42	13.39	11.45	12.90	16.83	14.33	8.41	114.76	54.40	10.80
2	8.58	7.80	7.58	13.62	11.50	11.70	19.36	17.66	8.58	115.09	54.40	10.60
3	8.58	7.80	7.69	14.00	11.60	11.00	21.89	11.00	10.00	116.22	43.30	10.40
4	8.58	7.80	7.32	14.70	11.70	11.90	24.42	10.40	15.90	116.22	38.80	10.20
5	8.41	7.80	7.42	14.30	11.70	11.20	26.95	9.82	19.30	120.40	34.75	10.00
6	8.41	7.80	7.42	14.70	11.70	11.70	29.48	9.40	25.10	133.42	37.30	9.82
7	8.30	7.80	7.32	14.00	12.40	12.67	32.01	9.10	76.20	167.72	38.80	9.70
8	8.30	7.80	7.32	13.62	13.00	14.30	34.54	9.10	89.82	178.27	41.90	9.70
9	8.30	7.80	7.32	13.62	12.40	13.39	37.07	8.80	107.46	180.38	37.30	9.58
0	8.30	7.80	7.32	13.39	11.90	14.00	39.60	8.69	129.08	184.60	36.00	9.40
1	8.30	7.80	7.32	12.40	12.67	13.39	42.13	8.58	124.74	176.16	56.60	9.22
2	8.19	7.80	7.32	12.20	13.62	14.30	44.66	8.30	109.65	167.72	68.47	9.10
3	8.19	7.69	7.32	12.20	14.30	25.90	47.19	8.19	96.60	159.08	76.20	9.10
4	8.19	7.80	7.32	11.90	13.62	26.80	49.80	8.19	74.20	154.86	65.40	9.10
5	8.19	7.69	7.32	11.70	14.00	32.60	28.58	8.08	56.60	142.20	41.90	9.00
6	8.19	7.58	7.32	11.90	16.30	37.30	19.90	7.80	36.00	129.08	32.60	8.80
7	8.19	7.58	7.32	12.20	15.10	38.80	30.40	8.19	25.90	129.08	24.40	8.80
8	8.19	7.58	7.32	12.67	15.90	25.10	36.00	8.58	27.70	133.42	21.00	8.69
9	8.08	7.58	7.32	12.67	14.70	23.00	56.60	9.10	56.60	137.76	18.20	8.58
0	8.08	7.58	7.32	12.40	13.00	21.00	74.20	8.80	67.60	163.50	17.30	8.30
1	8.08	7.58	7.32	12.20	12.67	17.78	87.55	9.58	83.01	182.50	16.30	8.30
2	8.08	7.58	7.90	11.70	12.40	15.90	92.09	8.80	103.08	184.60	15.90	8.30
3	8.08	7.58	11.70	11.70	11.70	14.70	96.60	8.19	129.08	171.94	15.10	8.30
4	8.08	7.58	14.00	11.20	11.70	14.30	92.09	8.41	148.53	146.42	14.00	8.30
5	8.08	7.58	14.00	11.40	11.70	19.30	85.28	9.58	156.97	126.91	13.62	8.30
6	7.90	7.58	15.50	11.70	12.20	19.30	65.40	9.58	146.42	111.84	13.00	8.19
7	7.90	7.32	15.90	11.70	17.30	16.30	54.40	11.20	126.91	100.89	12.40	8.19
8	7.90	7.42	14.70	11.70	16.80	14.30	38.80	10.40	111.84	96.60	11.90	7.90
9	7.90	-	14.00	11.70	15.50	13.62	47.60	9.70	107.46	85.28	11.70	7.80
0	7.80	-	14.00	11.40	18.20	14.30	27.70	9.70	114.03	72.00	11.40	7.80
1	7.80	-	14.00	-	15.50	-	21.00	9.22	-	54.40	-	7.80

RESUMEN ANUAL DEL RIO GRANDE DE SAN MIGUEL

"VADO MARIN"

DEPARTAMENTO DE USULUTAN.

AÑO DE: 1. 9 6 1.

MES	Lectura de Mira Extra en mts.		Gasto en Metros cúbicos/seg. Extremos.					Volumen en miles de M3
	Máx.	Mín.	Día	Máx	Día	Mín	Medio	
Enero	1.12	1.06	4	8.58	29	7.80	8.12	21922.27
Febrero	1.06	1.06	1	7.80	27	7.32	7.67	18567.36
Marzo	1.44	1.02	26	16.30	3	7.32	9.36	25086.24
Abril	1.44	1.28	4	16.30	24	11.20	12.60	32657.47
Mayo	1.50	1.30	30	19.30	1	11.70	13.49	36195.55
Junio	1.78	1.24	16	49.80	2	10.40	18.09	46893.60
Julio	2.06	1.46	22	111.84	31	17.30	45.80	122698.37
Agosto	1.33	1.06	27	12.40	15	7.80	9.56	25615.01
Septiembre	2.28	1.10	25	159.08	1	8.30	79.75	206735.33
Octubre	2.42	1.98	9	188.82	28	94.36	133.11	356321.82
Noviembre	1.93	1.28	12	83.01	30	11.20	32.81	85046.97
Diciembre	1.27	1.05	1	11.00	31	7.69	9.10	24025.25
ANUAL	2.42	1.02	-	188.82	-	7.32	31.63	1001765.24



RECOMENDACIONES

Desde el inicio de los trabajos sobre hidrología en el país, se ha tropezado con muchas dificultades, que han dado como resultado marcada deficiencia en las labores desarrolladas.

Entre las dificultades más visibles, se puede contar con la falta de personal capacitado para esta clase de labores, pues por ser un trabajo reciente en el país y no teniendo la Facultad de Ingeniería cátedras relacionadas con esta ciencia, sino que hasta últimamente en vista de la urgencia de conocer los recursos hidráulicos del país se ha empezado a impartir clases para dar un conocimiento general sobre la materia. Sería de gran utilidad incluir en los programas de estudio de la facultad, una clase sobre hidrología como complemento de la hidráulica.

Los recursos hidráulicos son tan importantes para un país que actualmente está tomando su estudio incremento insospechado en todo el mundo, hay países como Méjico, que le ha dado la categoría de secretaría de estado concientes de la importancia que tiene para las distintas actividades en el desarrollo económico de la nación.

En nuestro país la cosa cambia, y el trabajo está repartido en varias instituciones independientes unas de otras, así; en la Dirección General de Agricultura, tiene un Departamento de Ingeniería con una Sección de Estudios Hidrológicos, en el Ministerio de Defensa está el Departamento de Meteorología, O.O.HH. (A.N.D.A.) también hacen trabajos de esta índole y en fin la Comisión Ejecutiva del Río Lempa (C.E.L.) hace estudios de los ríos que le interesan; pero lo del caso es que ciertas de estas dependencias no prestan colaboración a las otras, y los trabajos que ejecutan, los encaminan a los fines que a cada una le interesan en particular.

Para citar un ejemplo, en el estudio de cuencas tributarias es necesario tener suficientes datos de lluvia, de temperatura, infiltración, evaporación, etc.; pero aunque tenemos estos datos, no están distribuidos en la cuenca en tal forma que puedan utilizarse en estos estudios.

La solución para estos problemas sería: formar una organización con bastante capacidad, para encargarse del estudio de los recursos hidráulicos en todos sus aspectos.

La manera más conveniente de mejorar el servicio hidrológico nacional sería con un programa de trabajo con los siguientes puntos:

- 1º) Organizar una oficina con suficiente personal y equipo para llenar la necesidad de unos cinco años por lo menos.
- 2º) Mejorar las instalaciones limnigráficas actuales con equipo de cable y canastilla, aún en las instalaciones de puente, pues las secciones rectas bajo ellas, no reúnen las condiciones necesarias para un buen aforo; solamente en el Río Lempa (San Marcos) se haría una estructura especial consistente en un riel instalado a todo lo largo del puente del ferrocarril, por donde correría un carrito desde el cual se podrían hacer las mediciones.
- 3º) Ampliar la red de estaciones fluviométricas para obtener datos de todos los ríos principales del país y sus afluentes, para tener un conocimiento mejor de nuestros recursos hidráulicos. En ríos de mucho interés, instalar plantillas de control en la sección de aforo.
- 4º) Ampliar la red de estaciones pluviométricas para obtener datos de lluvia de la precipitación regional, para el cálculo de isoyetas u otros métodos de cálculo del volumen de lluvia caída en una cuenca en un tiempo determinado; estas instalaciones se distribuirán en una forma uniforme en las cuencas, debiendo instalar como mínimo, una por cada 100 km<sup>2</sup>.
- 5º) Formar un laboratorio químico, especial para hidrología con equipo -

apropiado para análisis físico-químicos de las aguas de todos los ríos y lagos en estudio, lo mismo que agua subterránea.

6ª) Calcular el material de acarreo de los ríos.

Calcular el material en suspensión, tomando muestras diarias y mediciones completas por el método de integración.

7ª) Levantamiento de los lagos y ríos en lugares de interés y para aplicar otros métodos de cálculo de caudal.

8ª) Estudio del agua subterránea para conocer el nivel de la capa freática, la infiltración etc. que daría una idea de la capacidad de nuestros mantos acuíferos.

Desarrollando un programa como el que a grandes rasgos se expone, los estudios hidrológicos en nuestro país se pondrían a la altura de los países más adelantados de latinoamérica.

#### BIBLIOGRAFIA

- Applied Hydrology .....Linsley - Kohler
- Hydrology .....Paulhus
- Instructivo para la operación de estaciones  
climatológicas.....Secretaría de Recursos Hidráulicos - Mexico.
- Fisiología Vegetal.....Nicolai A. Maximov
- Hidrometría.....Dr. Jean Burz
- Características Hidrológicas de la Cuenca del  
Río Sucio.....Ing. Enrique Jovel
- Proyectos de Riego, Desagüe y Regulación de Cre-  
cidas en El Salvador.....Knappan - Tippet Abbet -  
McArty
- Molinetes Hidráulicos.....Casa Ott.
- Apareil de Mesures.....Neyrpic
- Hidráulica General y Manual de Hidráulica.....Horace King
- Hidráulica Aplicada.....Trueba Coronel
- Agricultural Hydrology as Exaluated by Monolith  
Lysimeters .....Soil Conservation Service  
E.E. U.U.
- Archivo del Departamento de Ingeniería de la Dirección General de Agricultu-  
ra de El Salvador.