

HIDROMETEOROLOGIA DE LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN

POR EL ING. ANDRES GARCIA QUINTERO

JEFE DE LA SECCION DE HIDROLOGIA DEL DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE LA COMISION NACIONAL DE IRRIGACION; MIEMBRO DEL COMITE DE LLUVIAS DE LA "AMERICAN GEOPHYSICAL UNION"

Este artículo fué presentado ante la convención de la "American Geophysical Union" efectuada en Washington, D. C., E. U. A., del 30 de abril al 3 de mayo de 1941

Introducción

La cuenca del río San Juan se encuentra en los Estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila, en la región noreste de la República Mexicana, cubriendo una área de 30,000 Km².

Las condiciones físicas, geológicas y topográficas, junto con las geográficas y meteorológicas son favorables a la formación de tormentas violentas que originan inundaciones desastrosas en el río principal y sus afluentes.

La zona en la cual está localizada la cuenca, es semejante a la región de Texas de la cual es de hecho una prolongación hacia el sur. En consecuencia está expuesta a las mismas perturbaciones ciclónicas que se originan en el mar Caribe y que entran al Continente por las costas de Veracruz y de Tamaulipas en territorio mexicano y por Texas y otros Estados costeros de los Estados Unidos.

A fin de regularizar el régimen del río San Juan, la Comisión Nacional de Irrigación ha hecho estudios especiales y ha iniciado la construcción de las obras de control para almacenar las aguas del río San Juan en el vaso de El Azúcar situado a 30

Km. al sur de su confluencia con el río Bravo.

Los estudios hidrológicos que se han hecho indicaron las siguientes capacidades necesarias del vaso:

	Millones de M ³
Para depósito de azolves.	300
Para riego de 60,000 hectáreas.	700
Para regularización.	1,100
Capacidad total.	2,100

Para determinar la capacidad mínima para regularización ha sido necesario estudiar no sólo las características de las tormentas que han causado las grandes avenidas del pasado, sino también instalar y operar una vasta red de estaciones pluviográficas para registrar automáticamente las tormentas.

Los datos obtenidos se usaron con los siguientes fines:

1º Estudiar la relación entre la precipitación anual y el escurrimiento.

2º Determinar la intensidad de la precipitación.

3º Determinar el tiempo de concentración de las avenidas.

4º Estudiar la operación del vaso de El Azúcar antes y durante las tormentas.

5º Predecir la magnitud de las avenidas.

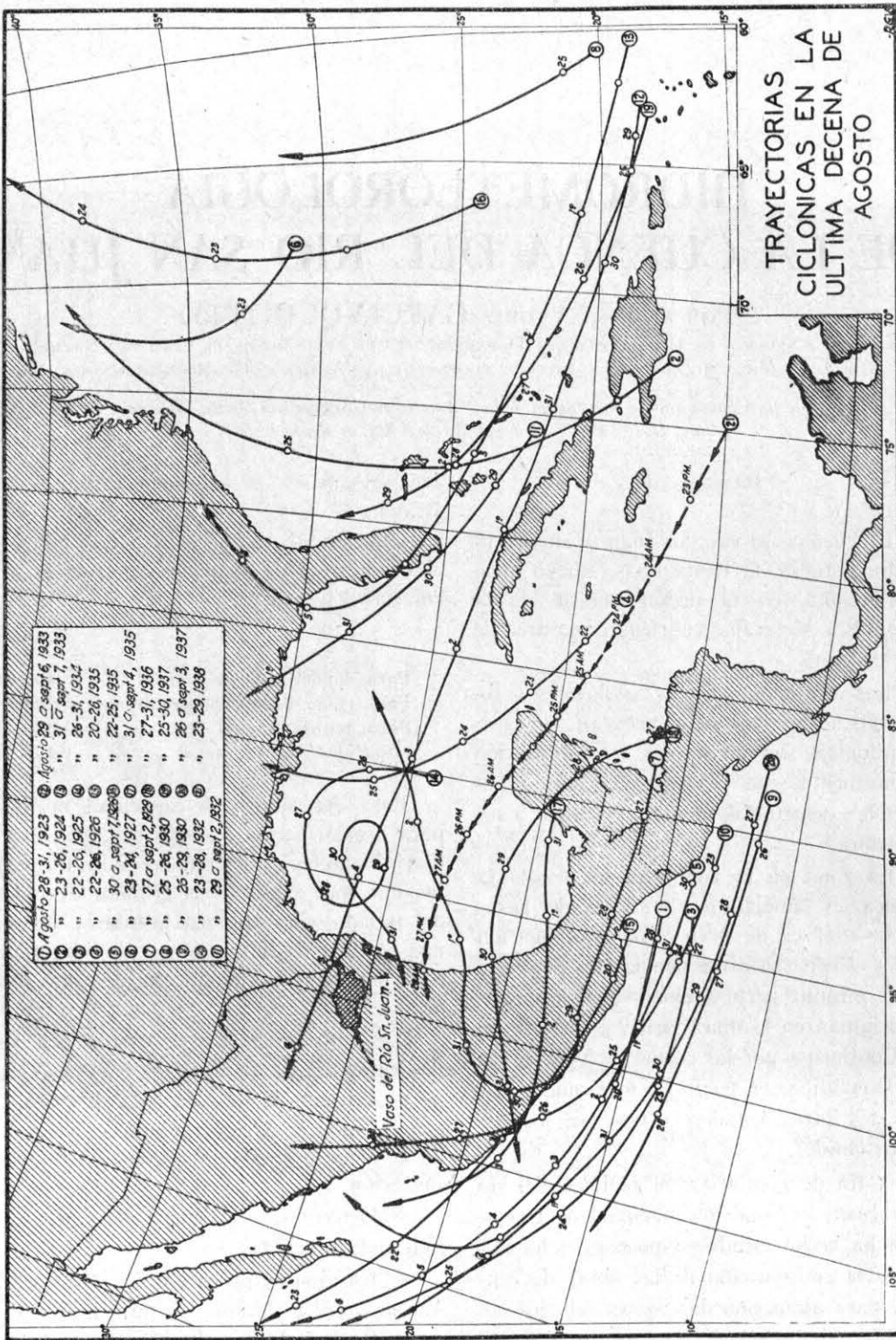


FIGURA 1

Tormentas

Las avenidas generales en la cuenca del río San Juan se originan por los vientos saturados de humedad del Golfo de México; aunque estas lluvias son la causa del escurrimiento del río San Juan en años normales, carecen de importancia comparadas con las tormentas extraordinarias producidas por las perturbaciones ciclónicas que con frecuencia entran al Continente a través de Veracruz, Tamaulipas, Texas y otros Estados costeros.

Estos ciclones se originan en el mar Caribe y siguen una trayectoria bien definida, moviéndose del sureste al noroeste. La época más favorable para su desarrollo incluye los meses de agosto y septiembre (véase la figura Núm. 1) y las lluvias intensas a lo largo de la trayectoria de la perturbación originan un enorme escurrimiento superficial que a menudo es mayor que la capacidad de las corrientes y ríos que drenan la región. Así, los vastos campos agrícolas en las tierras bajas de las márgenes de los ríos se inundan y no pueden ser cultivadas por falta de un control apropiado de las aguas.

La figura Núm. 2 muestra la cuenca del río San Juan con la localización de las estaciones pluviométricas y de las estaciones hidrométricas activas.

Operación del servicio hidrometeorológico

La operación del vaso de El Azúcar ha sido planeada con los datos obtenidos por el servicio hidrométrico. Además de la instalación de las estaciones pluviográficas provistas de aparatos registradores se construyen estaciones hidrométricas para completar la red que permitirá hacer estudios de cada uno de los tributarios del río San Juan. Estas corrientes, según se mencionó en la primera parte de este informe, comprenden regiones extensas con diferentes condiciones hidrológicas.

La instalación de las estaciones se comenzó durante la primera parte del año

de 1938 con aparatos de fabricación alemana y norteamericana. En la Tabla 1 se da una lista de las estaciones instaladas hasta la fecha. Su eficiencia fué puesta a prueba en agosto de 1938, durante los días 26, 27, 28 y 29, por una perturbación ciclónica originada en el mar Caribe; el único ciclón de proporciones comparables con el anterior ocurrió prácticamente en los mismos días y en el mismo mes, en 1909; sin embargo el ciclón de 1938 fué menos severo.

TABLA 1

Pluviómetros en operación en la cuenca del río San Juan y cerca de ella

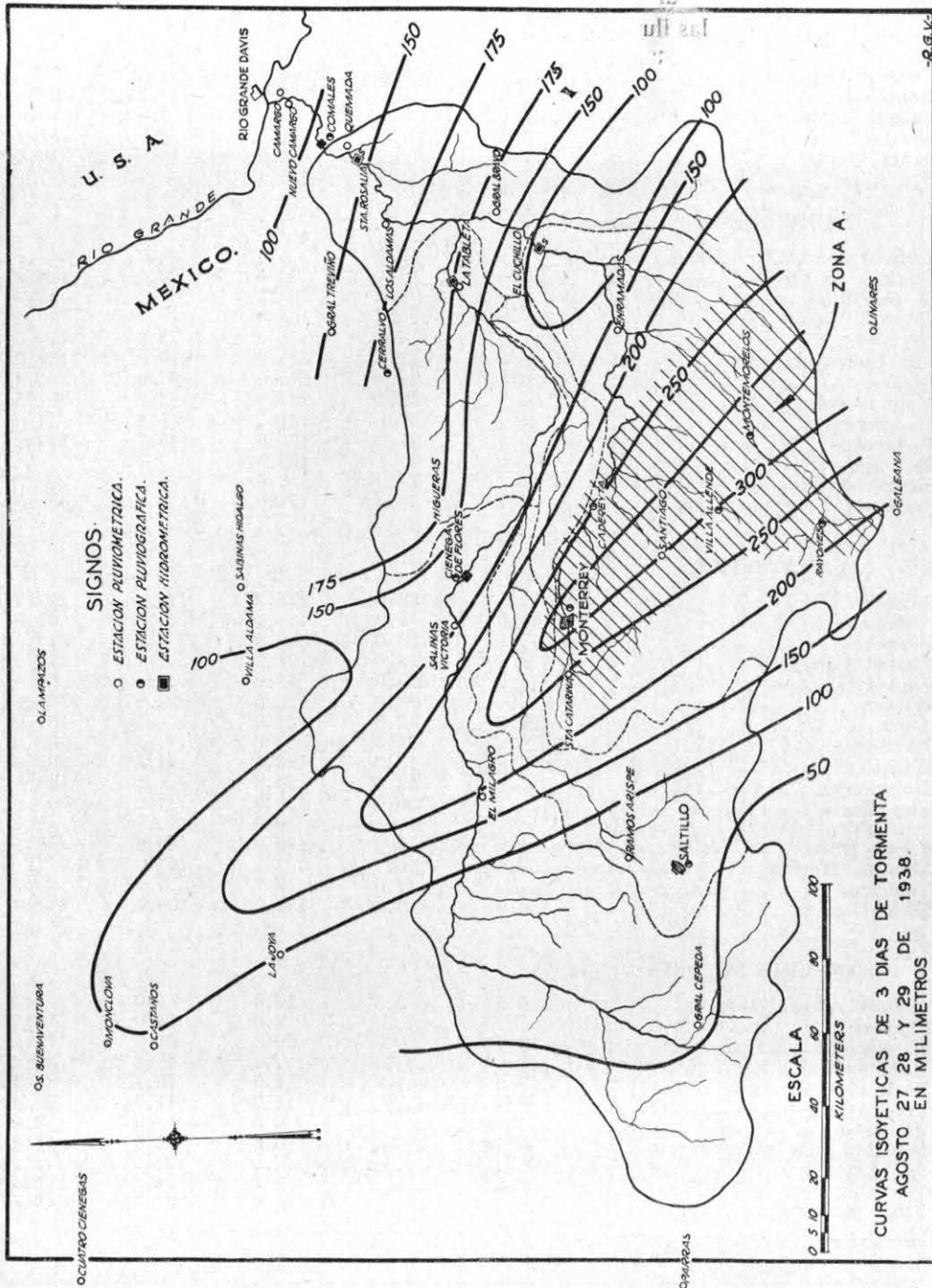
Localización	Clase de registrador
Allende, N. L.	Friez.
Barretal, Tamps.	Stevens L.
Burgos, Tamps.	Stevens A.
Cadereyta, N. L.	Fuess.
Cerralvo, N. L.	Lambrecht.
Ciénega de Flores, N. L.	Stevens A.
Comales, Tamps.	Fuess.
C. de Fierros, N. L.	Fuess.
El Cuchillo, N. L.	Stevens A.
General Cepeda, Coah.	Stevens A.
Hacienda San Pedro.	Stevens A.
Iturbide, N. L.	Fuess.
La Tableta, N. L.	Stevens A.
Laguna Sánchez, N. L.	Friez.
Las Comitas, N. L.	Fuess.
Las Enramadas, N. L.	Lambrecht.
Linares, N. L.	Fuess.
Los Ramones, N. L.	Stevens L.
Méndez, Tamps.	Stevens A.
Montemorelos, N. L.	Friez.
Monterrey, N. L.	Friez.
Padilla, Tamps.	Fuess.
Rayones, N. L.	Friez.
Reynosa, Tamps.	Fuess.
Saltillo, Coah.	Lambrecht.
San Fernando, Tamps.	Stevens L.
Santa Catarina, N. L.	Fuess.
Santa Gertrudis.	Lambrecht.
Ciudad Victoria, Tamps.	Stevens A.
Topo Chico.	Stevens A.
Villa Santiago, N. L.	Friez.
Villagrán, Tamps.	Stevens L.

En la Tabla 2 se presentan los datos obtenidos en la cuenca o cerca de ella; estos datos fueron de gran utilidad porque tuvieron inmediata aplicación en los estudios para el control de las avenidas.

TABLA 2

Precipitación diaria durante la tormenta ciclónica de agosto de 1938, en milímetros

Pluviómetro en	Agosto 1938				Total
	26	27	28	29	
COAHUILA					
General Cepeda.....	....	6.5	50.5	.....	57.0
Monciova.....	....	.....	50.0	49.2	99.2
Ramos Arizpe.....	....	5.5	69.0	1.5	76.0
Saltillo.....	2.0	0.6	52.0	2.5	57.1
Santa Teresa.....	....	.....	1.0	15.5	16.5
NUEVO LEON					
Cadereyta.....	....	27.6	.....	66.9	.....
Ciénaga de Flores.....	....	9.4	83.0	24.5	116.9
El Cuchillo.....	....	3.7	90.1	1.7	95.5
General Bravo.....	....	.....	165.0	.....	165.0
Higueras.....	....	17.5	78.0	75.0	170.5
Las Enramadas.....	....	20.0	121.0	10.0	151.0
Linares.....	0.5	24.3	245.0	61.0	330.8
Montemorelos.....	....	21.4	264.9	35.2	321.5
Monterrey.....	....	7.1	291.5	35.4	334.0
Rayones.....	....	31.9	175.6	40.7	248.2
Santiago.....	....	28.7	263.3	9.7	.....
Santa Catarina.....	....	19.8	193.0	2.0	214.8
Zaragoza.....	....	35.0	173.5	150.0	358.5
TAMAULIPAS					
Abasolo.....	....	83.5	128.2	.....	211.7
Aldama.....	43.5	5.0	.....	.....	48.5
Burgos.....	....	29.0	300.0	.....	329.0
Ciudad Comales.....	....	10.6	102.0	.....	112.6
Ciudad Guerrero.....	....	15.0	72.0	.....	87.0
Hidalgo.....	....	23.5	125.5	228.0	377.0
Jerez.....	27.5	12.5	61.0	.....	101.0
La Barra.....	....	35.0	4.0	.....	39.0
Mante.....	4.0	13.2	176.9	44.5	238.6
Matamoros.....	....	53.8	36.0	.....	89.8
San Carlos.....	....	120.0	180.0	.....	300.0
San Fernando.....	....	.....	26.0	.....	.....
Santa Elena.....	5.0	2.2	175.0	48.0	230.2
Soto la Marina.....	7.0	.....	.....	.....	.....
Tampico.....	....	17.0	5.7	.....	22.7
Tomatlán.....	4.0	43.0	190.0	300.0	637.0
SAN LUIS POTOSI					
Colonia Alvaro Obregón.....	0.5	2.3	17.0	4.9	24.7
Charcas.....	....	.....	3.6	15.0	18.6
El Meco.....	18.7	0.6	98.8	61.3	179.4
Matchuala.....	....	.....	.....	31.2	31.2
Penitas.....	18.3	1.3	54.0	15.7	89.3
Presa Obregón.....	2.5	.....	11.7	11.0	25.2
Río Verde.....	....	.....	3.0	10.0	13.0
San Luis Potosí.....	....	.....	20.0	22.0	42.0
San Antonio.....	....	.....	.....	.....	.....
Tantizohuiche.....	2.9	.....	5.1	4.4	12.4
Villa Arriaga.....	....	.....	21.0	27.5	48.5
VERACRUZ					
Ozuluama.....	....	.....	.....	.....	.....
Tuxpan.....	....	.....	.....	7.5	7.5



La figura Núm. 3 muestra las curvas isotérmicas de las lluvias que ocurrieron el 27, 28 y 29 de agosto de 1938; se observará inmediatamente que sólo una parte de la cuenca, Zona A, recibió lluvias más violentas. Esta zona está limitada al sur y al oeste por las grandes alturas de la Sierra Madre Oriental que alcanza en algunos lugares hasta 4,000 m. s. n. m.; por lo tanto las condiciones geográficas y topográficas son favorables al desarrollo de una intensa convección a causa de que el aire húmedo y la corriente ciclónica al ser desviada hacia arriba se enfría rápidamente produciendo la inestabilidad de la humedad y su precipitación. Además, esta región tiene fuertes pendientes tanto en la dirección longitudinal como en la transversal contribuyendo a que el escurrimiento se concentre en lugar de regularizarse en los cañones y en los otros cauces. Es por esto que el escurrimiento llega a la parte más plana de la cuenca inferior con un ímpetu terrible.

En la cuenca inferior, formada por los mismos lomeríos que la región de Texas, el río se desborda sin que su regulación parcial impida inundaciones subsiguientes. Cuando el río Grande, al cual descarga el río San Juan, está también con avenida su remanso agregado a la avenida del río San Juan crea condiciones aun más críticas.

Intensidad de la precipitación

La intensidad de la precipitación en la cuenca del río San Juan no había sido estudiada porque no había aparatos registradores disponibles para obtener estos datos. Las únicas estaciones pluviométricas que existían antes de 1938 hacían observaciones una vez al día y muy pocos de los observadores hicieron observaciones adicionales durante las fuertes tormentas.

Los datos tomados del ciclón de 1938 hicieron posible deducir las intensidades de precipitación que se muestran en las tablas 3 y 4.

TABLA 3

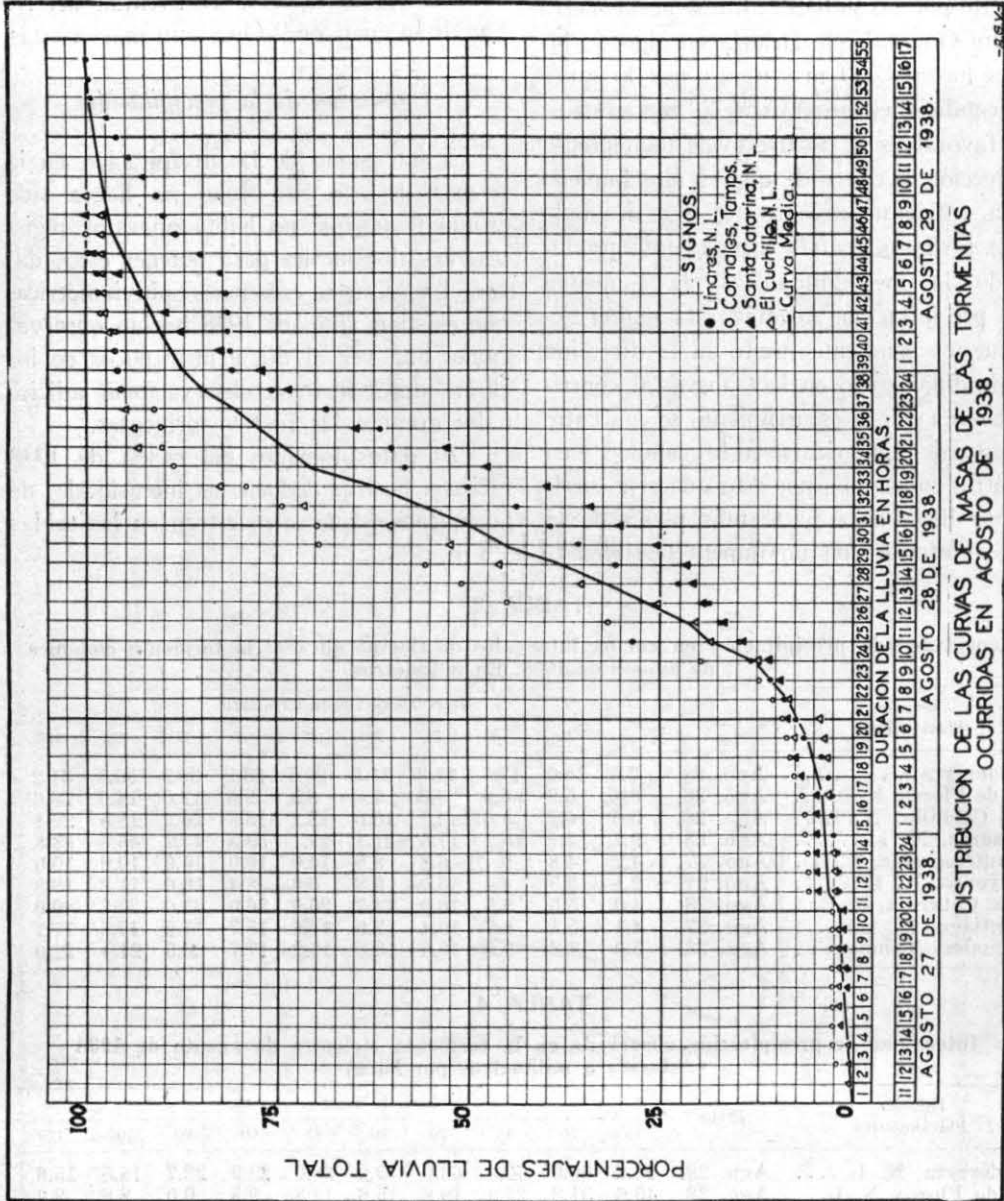
Intensidades de precipitación en cortos intervalos de tiempo durante la tormenta ciclónica de agosto de 1938. En milímetros.

Estación Pluviométrica	Fecha	Intervalo de tiempo en minutos									
		5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
Cadereyta.	Ago. 28.	7.6	10.0	17.5	21.3	24.5	28.5	28.9	30.3	30.8	31.2
C. de Flores, N. L. . . .	Ago. 28.	3.8	5.2	5.6	6.6	7.8	8.9	9.5	12.0	14.6	18.6
El Cuchillo, N. L. . . .	Ago. 28.	5.5	6.7	8.6	9.2	10.0	12.2	13.3	16.2	18.5	20.1
Linares, N. L.	Ago. 28.	9.7	14.7	15.2	17.6	21.1	29.1	39.5	43.7	46.0	48.8
Montemorelos, N. L. . .	Ago. 27.	4.7	4.8	5.7	6.8	8.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Rayones, N. L.	Ago. 27.	2.1	3.3	4.4	5.0	5.8	6.9	8.4	10.0	11.2	12.8
Sta. Catarina, N. L. . .	Ago. 28.	4.0	5.5	9.5	10.0	14.7	20.0	26.0	33.0	37.3	40.0
Santiago, N. L.	Ago. 27.	4.1	5.1	6.7	10.4	12.5	14.6	15.7	17.0	17.5	17.7
Comales, Tamps.	Ago. 28.	5.0	7.2	9.0	10.0	13.5	16.2	17.7	20.5	21.4	22.0

TABLA 4

Intensidad de precipitación observada en la tormenta ciclónica de agosto de 1938 (reducida a milímetros por hora)

Estación Pluviométrica	Fecha	Intervalo de tiempo en minutos									
		5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
Cadereyta, N. L.	Ago. 28.	91.2	60.0	70.0	63.9	49.0	38.0	28.9	22.7	18.5	15.6
C. de Flores, N. L. . . .	Ago. 28.	45.6	31.2	22.4	19.8	15.6	11.8	9.5	9.0	8.8	9.3
El Cuchillo, N. L. . . .	Ago. 28.	66.0	40.2	34.8	27.6	20.0	16.2	13.3	12.2	11.1	10.1
Linares, N. L.	Ago. 28.	116.4	88.2	60.8	52.8	42.2	39.5	39.5	32.8	27.6	24.4
Montemorelos, N. L. . .	Ago. 27.	56.4	28.8	22.8	20.4	17.0	13.3	10.0	7.5	6.0	5.0
Rayones, N. L.	Ago. 28.	25.2	19.8	17.6	15.0	11.6	9.2	8.4	7.5	6.7	6.4
Sta. Catarina, N. L. . .	Ago. 28.	48.0	33.0	38.0	30.0	29.4	26.6	26.0	24.8	22.4	20.0
V. Santiago, N. L. . . .	Ago. 27.	49.2	30.6	26.8	31.2	25.0	19.4	15.7	12.8	10.5	8.9
Comales, Tamps.	Ago. 28.	60.0	43.2	36.0	30.0	27.0	21.5	17.7	15.4	12.8	11.0



CL 41030 (ALT) 06

FIGURA 4

-86X

Distribución de la lluvia

Además de la distribución topográfica, la precipitación fué estudiada por las curvas de masas mostradas en la figura Núm. 4. Las gráficas se formaron acumulando los porcentajes de precipitación total hora por hora. Estas curvas fueron muy útiles para los estudios relacionados con las avenidas probables.

Tiempo de concentración

Para los estudios sobre control de avenidas, es fundamental tener datos de confianza sobre tiempos de concentración; esto es, el período de tiempo desde que la tormenta empieza, hasta cuando la avenida alcanza su gasto máximo. Para obtener estos datos se dibujaron las curvas de masas de precipitación a la misma escala de tiempo que los hidrógrafos de las avenidas; se muestra en las gráficas de la figura número 5.

Predicción de avenidas

Usando datos semejantes a los de la figura Núm. 5, se estudiarán los tiempos de concentración de las avenidas producidas por tormentas localizadas en diversas partes de la cuenca. Para esto se escogerán estaciones pluviográficas localizadas estratégicamente y serán considerados los datos obtenidos para cada parte de la cuenca, determinándose las avenidas que entren al vaso, de acuerdo con estos datos.

Control de avenidas

Los estudios hidrometeorológicos para el control de avenidas se dividieron en:

I. Estimación de las tormentas máximas probables.

II. Estimación de las avenidas máximas probables con relación a las tormentas máximas probables.

III. Operación del vaso de El Azúcar.

I. Para estimar las tormentas máximas probables en la cuenca del río San Juan, se hicieron los siguientes estudios:

a). Determinar la relación de la precipitación media en la cuenca durante un período de 3 días de la tormenta, a la precipitación observada en los mismos 3 días en una estación localizada dentro de la cuenca; los datos fueron aplicados a la gráfica relación para obtener la precipitación media en la cuenca. Después de estudiar diversas estaciones se escogió la de Monterrey, N. L., como representativa.

b). Por aplicación del método de probabilidades a las máximas precipitaciones observadas durante 3 días consecutivos en Monterrey, desde 1898, se obtuvieron las relaciones de 3 días totales de precipitación, no sólo para las diversas frecuencias, sino también para las condiciones que resulten de desalojar o "mover" la cuenca en tal forma que se obtenga la precipitación media máxima durante las tormentas ciclónicas de agosto de 1909 y 1938.

c). Aplicando los datos obtenidos en b), a la gráfica relación entre la lluvia promedio en la cuenca y la precipitación en Monterrey dada por a), se determinaron las precipitaciones promedio durante 3 días en la cuenca para las diferentes frecuencias estudiadas.

d). Usando los porcentajes de distribución de la precipitación media de la figura Núm. 4 observadas en el ciclón de 1938, se obtuvo, la precipitación diaria media en la cuenca durante los 3 días de precipitación máxima para las condiciones consideradas.

e). Aplicando las gráficas de distribución a las lluvias medias diarias observadas en los hidrógrafos-unidad del río San Juan en El Azúcar, se dedujeron los pluviogramas respectivos. Reduciendo estos pluviogramas por medio del coeficiente de crecienté máximo observado se dedujeron para cada frecuencia los hidrógrafos máximos probables.

f). Haciendo pasar los hidrógrafos resultantes por el vaso de El Azúcar con un vertedor provisto de 9 compuertas Stoney para una descarga máxima de 22,500 m³ por segundo, se estudiaron y compararon varios planes de operación del vaso.

*Descargas máximas observadas,
y máximos probables*

En la tabla 5 se incluyen los datos de gastos máximos observados y también los estimados, siguiendo los estudios hidrometeorológicos.

TABLA 5
Gastos máximos observados y gastos máximos probables en el río San Juan, en El Azúcar, Tamaulipas.

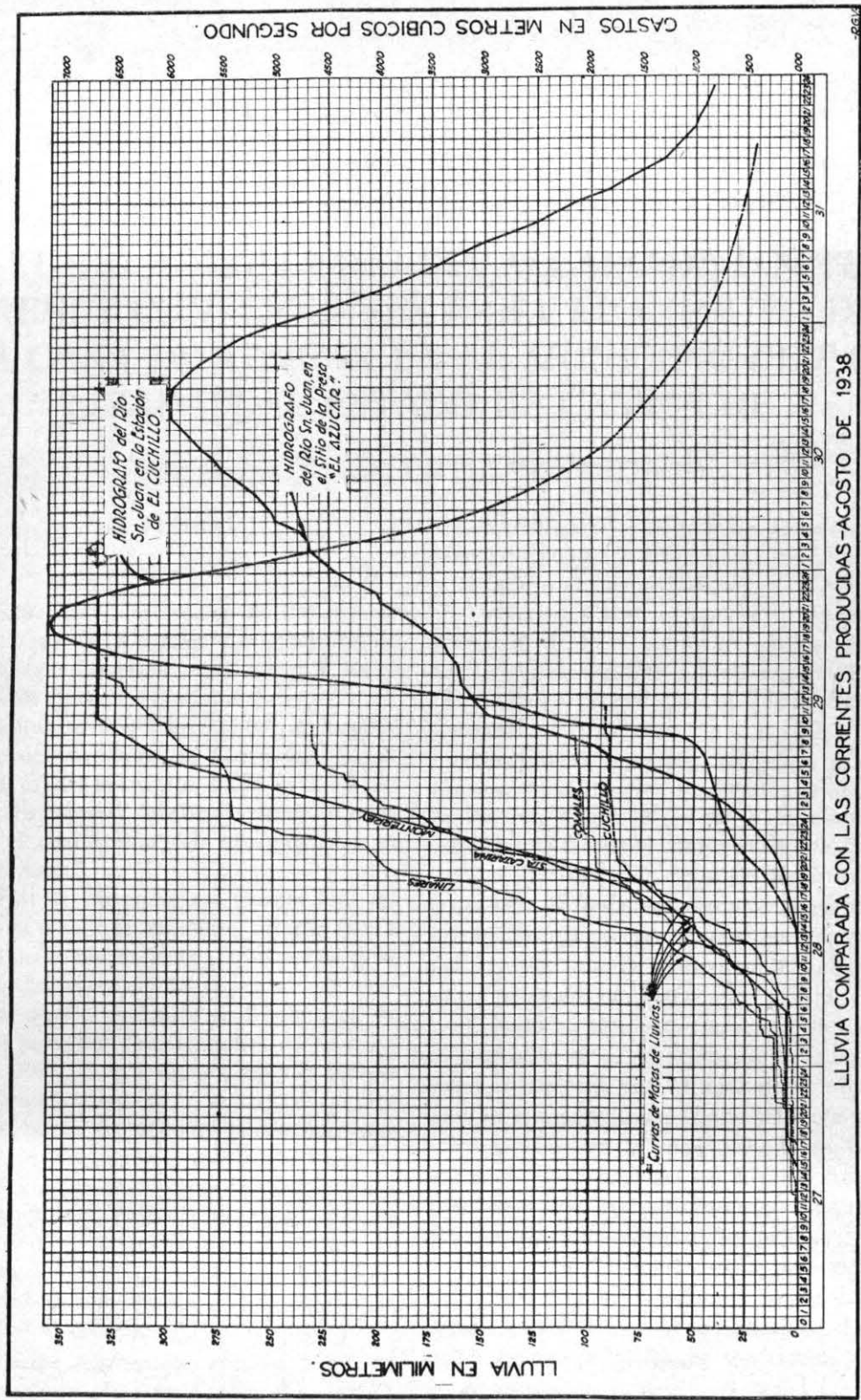
Fecha	Gastos en m ³ /seg.
Agosto 30, 1909.....	9 005
Junio, 1924.....	785
Septiembre, 1925.....	1 260
Octubre, 1926.....	990

Fecha	Gastos en m ³ /seg.
Junio, 1927.....	1 270
Septiembre, 1928.....	570
Septiembre, 1929.....	254
Octubre, 1930.....	920
Enero, 1931.....	352
Septiembre, 1932.....	5 300
Septiembre, 1933.....	3 860
Octubre, 1934.....	390
Septiembre, 1935.....	820
Julio, 1936.....	1 460
Octubre, 1937.....	272
Agosto 30, 1938.....	6 600
Septiembre, 1939.....	1 840

Gastos máximos probables en el río San Juan, en El Azúcar, Tamaulipas

Frecuencia media	Gastos en m ³ /seg.
Uno en 100 años.....	7 600
Uno en 500 años.....	11 700
Uno en 1 000 años.....	13 200
Uno en 10 000 años.....	19 000

Nota del autor.—Posteriormente a la presentación de este artículo, se modificó el diseño del vertedor de la presa de El Azúcar, debido a la imposibilidad actual de adquirir las nueve compuertas Stoney de 50" x 50". En su lugar se ha diseñado otro vertedor de cresta libre con 300 m. de longitud de cresta. La cresta estará en la elevación 76.30, que corresponde a una capacidad de 1 000 millones de m³ (azolve, 300 millones de m³ y riego, 700 millones de m³). Con la citada longitud de vertedor es factible regularizar la creciente máxima observada en agosto de 1909, con gasto de 9 000 m³/s, a un gasto de 4 000 m³/s, aproximadamente. Al pasar la creciente máxima probable en 10 000 años, o sea la de gasto máximo de 19 000 m³/s, se reduce a 11 270 m³/s, subiendo el agua a la elevación 82.93 m, en la que el vaso tiene 2 618 millones de m³ de capacidad total. Por lo tanto, hubo necesidad también de sobre elevar la corona de la elevación 84.30 m a la elevación 86.33 m, para mantener así el mismo bordo libre del proyecto original. La capacidad total del vaso será de 2 618 millones de m³, en lugar de 2 100 millones de m³.



LLUVIA COMPARADA CON LAS CORRIENTES PRODUCIDAS-AGOSTO DE 1938

FIGURA 5

CL 41031 (ALT.) 66