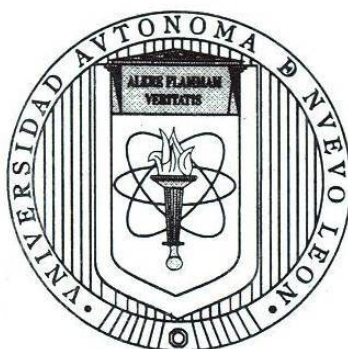


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**CARACTERIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES AGRÍCOLAS, VOLÚMENES  
DE IRRIGACIÓN Y SUS PERSPECTIVAS A MEDIANO PLAZO EN LA  
CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.**

**TESIS DE MAestrÍA**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA**

**L.C.F. EFRAÍN RODRÍGUEZTÉLLEZ**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

AGOSTO DEL 2000

TM

Z599

FCF

2000

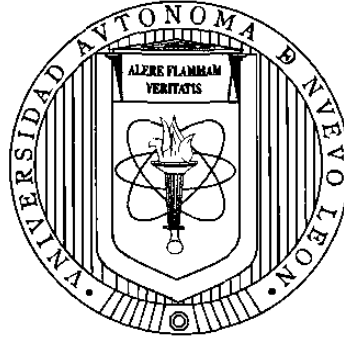
R6



1020133318

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**CARACTERIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES AGRÍCOLAS, VOLÚMENES  
DE IRRIGACIÓN Y SUS PERSPECTIVAS A MEDIANO PLAZO EN LA  
CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA**

**L.C.F. EFRAÍN RODRÍGUEZTÉLLEZ**

0138-74 67

TM  
Z5991  
FCF  
2000  
R6



FONDO  
INES S

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**CARACTERIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES AGRÍCOLAS, VOLÚMENES  
DE IRRIGACIÓN Y SUS PERSPECTIVAS A MEDIANO PLAZO EN LA  
CUENCA DEL RÍO SAN JUAN.**

TESIS DE MAESTRÍA

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

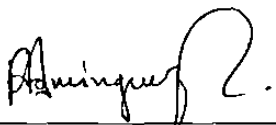
PRESENTA

**L.C.F. EFRAÍN RODRÍGUEZ TÉLLEZ**

COMITÉ DE TESIS



Dr. José de Jesús Nívar Cháidez  
Presidente



Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros  
Secretario



M. Sc. Marisela Pando Moreno  
Vocal

## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de esta tesis ha sido posible gracias al apoyo económico del Sistema de Investigación "Alfonso Reyes" (CONACYT-SIREYES) a través del proyecto 970406033 "Perspectivas para el manejo sustentable de recursos hidrológicos en la cuenca del Río San Juan", el apoyo económico incluyó también una beca parcial para la realización de este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por sus apoyos económicos para la realización de esta investigación a través del Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICyT) mediante el proyecto CT203-99.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante dos años para la realización de mis estudios de maestría.

A la Comisión Nacional del Agua (CNA) y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, campo experimental "General Terán", por los datos facilitados para la realización de esta investigación.

Agradezco de manera muy especial al Dr. José de Jesús Návar Cháidez, director de esta tesis, el apoyo brindado durante la realización de la misma; gracias por su paciencia, por la motivación para seguir adelante, por los consejos y sugerencias para que este trabajo se realizara.

Al Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros por dedicar su tiempo a la revisión de este documento, asimismo agradezco a la M. Sc. Marisela Pando Moreno la revisión del presente trabajo y sus atinadas y amables sugerencias durante el transcurso de esta investigación.

Al personal académico y administrativo de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL por el apoyo brindado en la realización de esta tesis.

Gracias a mi familia por el apoyo y el amor que siempre me han regalado. A Everardo Torres R. A todos los compañeros estudiantes por brindarme su amistad y amable trato durante mi estancia en esta Facultad. A mi amiga Biol. Eréndira Zamudio Castillo por tantos momentos de apoyo y compañía, a la M.C. Blanca I. Arguello camargo, Dra. Emma Gema García González, M.V.Z. Diana Herrera G.

A mis compañeros de laboratorio: M.C. Guillermo Romero, M.C. Sanjuana Guerra, M.C. Sacramento Corral, M.C. Abel Najera, Ing. Nicolás González, Ing. David Maldonado, Ing. Eduardo Méndez, Ing. Jesús Graciano.

*\* a Dios.*

## INDICE

	PAGINA
LISTA DE TABLAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
<b>CAPITULO I</b>	1
INTRODUCCION	1
<b>CAPITULO II</b>	4
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
<b>CAPITULO III</b>	5
HIPOTESIS	5
<b>CAPITULO IV</b>	6
<b>MATERIALES Y METODOS</b>	6
4.1. Ubicación del área de estudio	6
4.2. Generalidades sobre precipitación y sequías	14
4.3. Usos del agua	17
4.3.1. Demanda de agua para uso público	18
4.3.2. Agrícola	20
4.3.2. Conservación de ecosistemas riparios	20
4.4. Generalidades del Distrito de Riego 026 ó Bajo San Juan	21
<b>METODOLOGIA</b>	22
4.5. Determinación de la superficie agrícola irrigable de la cuenca del Río San Juan	22
4.5.1. Determinación de las probabilidades de precipitación y uso consuntivo para los principales cultivos en la cuenca del Río San Juan.	23
4.5.1.1. Estimación de las probabilidades de precipitación	23
4.5.1.2. Estimación del uso consuntivo para la superficie agrícola irrigada de la cuenca del Río San Juan	30
4.5.1.3. Estimación de la cantidad de agua necesaria para irrigar la superficie de la cuenca de la cuenca del Río San Juan.	32
4.5.2. Determinación de escenarios futuros de la superficie agrícola de la cuenca del Río San Juan.	32
<b>CAPITULO V</b>	39
<b>RESULTADOS</b>	39
5.1. Determinación de la superficie agrícola irrigable de la cuenca del Río San Juan y sus variaciones temporales	39
5.2. Determinación de las precipitaciones con tres probabilidades para las estaciones climáticas de la cuenca del Río San Juan para los ciclos de crecimiento.	46
5.2.1. Determinación de las precipitaciones.	46
5.2.2. Precipitaciones con tres probabilidades de ocurrencia en la cuenca del Río San Juan.	48
5.3. Usos consuntivos estimados para las superficies agrícolas irrigadas de la cuenca del Río San Juan.	53
5.4. Volúmenes de agua necesarios para regar la superficie agrícola de la cuenca del Río San Juan.	57
5.5. Determinación de escenarios futuros de la superficie agrícola con riego del Distrito 026 ó Bajo San Juan.	66



	<b>PAGINA</b>
<b>CAPITULO VI</b>	75
<b>DISCUSION</b>	75
<b>CAPITULO VII</b>	78
<b>CONCLUSIONES</b>	78
<b>CAPITULO VIII</b>	79
<b>REFERENCIAS</b>	79
<b>ANEXOS</b>	86
<b>A. Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución exponencial con una probabilidad de 50% para 27 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.</b>	87
<b>B. Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución exponencial con una probabilidad de excedencia del 20% para 27 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.</b>	88
<b>C. Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución exponencial con una probabilidad de ocurrencia del 80% para 27 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.</b>	89
<b>D. Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución gamma con una probabilidad de 50% para 28 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.</b>	90
<b>E. Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución gamma con una probabilidad de ocurrencia del 80% para 28 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.</b>	91
<b>F. Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución gamma con una probabilidad de excedencia del 20% para 28 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.</b>	92
<b>G. Uso consuntivo en mm para dos periodos de crecimiento para maíz estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.</b>	93
<b>H. Uso consuntivo en mm para dos periodos de crecimiento para sorgo estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.</b>	94
<b>I. Uso consuntivo en mm para dos periodos de crecimiento para cítricos estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.</b>	95

## **LISTA DE TABLAS**

## **PAGINA**

Tabla 1. Población progresiva desde 1970 - 1995 de los municipios localizados dentro de la cuenca del Río San Juan.	19
Tabla 2. Tipos de cultivos que conforman la superficie agrícola bajo irrigación de la cuenca del Río San Juan digitalizado de mapas de uso del suelo de INEGI de 1978.	41
Tabla 3. Descripción de los cultivos agrícolas bajo riego de la cuenca del Río San Juan.	42
Tabla 4. Precipitaciones totales para dos ciclos de cultivo estimadas por la distribución gamma con un 50% de probabilidad para 25 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.	49
Tabla 5. Precipitaciones totales para dos ciclos de cultivo estimadas por la distribución gamma con un 20% de probabilidad de ocurrencia para 25 estaciones climáticas descritas, con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.	50
Tabla 6. Precipitaciones totales para dos ciclos de cultivo estimadas por la distribución gamma con un 20% de probabilidad de excedencia para 25 estaciones climáticas, con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.	52
Tabla 7. Uso consuntivo para maíz estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.	54
Tabla 8. Uso consuntivo para sorgo estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.	55
Tabla 9. Uso consuntivo para cítricos estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.	56
Tabla 10. Déficits de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para tres cultivos comunes dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitación estimada con un 50% de probabilidad.	58
Tabla 11. Déficits de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para tres cultivos comunes dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitación estimada con un 80% de probabilidad de ocurrencia.	60

## **PÁGINA**

<b>Tabla 12. Déficits de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para tres cultivos comunes dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitación estimada con un 20% de probabilidad de excedencia.</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 13. Déficits de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para maíz y cítricos dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitaciones estimadas con un 50, 20 y 80% de probabilidad de excedencia.</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 14. Déficits de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para sorgo y cítricos dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitaciones estimadas con un 50, 20 y 80% de probabilidad de excedencia.</b>	<b>65</b>

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>PAGINA</b>
Figura 1. Localización de la superficie irrigada de la cuenca del Río San Juan.	40
Figura 2. Cultivos más populares de la superficie agrícola irrigable de la cuenca del Río San Juan.	43
Figura 3. Superficie agrícola irrigada en el Distrito de riego 026 ó Bajo San Juan.	45
Figura 4. Resultados de las pruebas de bondad de ajuste de las distribuciones probadas.	47
Figura 5. Detección de ciclos secos, normales y húmedos en algunas estaciones hidroclimáticas de la cuenca del Río San Juan.	68
Figura 6. Balance hidrológico retrospectivo del embalse 'El Cuchillo', con presencia de periodos secos y húmedos.	69
Figura 5. Superficies irrigadas en el distrito 026 ó Bajo San Juan para dos escenarios para el periodo 1990 – 2045.	73

## RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la cuenca del Río San Juan, tributario del Río Bravo, con los siguientes objetivos: a) determinar la superficie agrícola bajo riego de la cuenca del Río San Juan y sus variaciones temporales, b) determinar las probabilidades de precipitación, uso consuntivo y volúmenes requeridos para irrigar la superficie agrícola bajo riego de la cuenca del Río San Juan y c) determinar los escenarios futuros de la superficie agrícola con riego del Distrito 026 ó 'Bajo san Juan'. Se utilizó el programa de computo Autocad 14 para Windows para estimar las superficie agrícola y los tipos de cultivos de la cuenca del Río San Juan, con mapas de uso del suelo publicados en 1978. Para el cálculo de las precipitaciones mensuales se ajustaron 8 distribuciones probabilísticas y se utilizó la distribución gamma para estimar lluvias con probabilidades de 50, 20 y 80%. El uso consuntivo por tipo de cultivo se estimó con la ecuación de Blaney y Criddle para 54 estaciones climáticas de la cuenca. Con estas precipitaciones estimadas con las probabilidades señaladas y los usos consuntivos se estimaron los déficits de agua para irrigación. Para la determinación de los escenarios futuros se plantearon los siguientes escenarios: la sequía histórica registrada y un periodo de hidrología normal con un balance hidrológico para los embalses 'El Cuchillo' ' Marte R. Gómez'. La superficie agrícola bajo riego está distribuida en los distritos 026, Las Lajas y Montemorelos-Gral. Terán principalmente cubriendo una superficie de 172, 298 ha. Los principales cultivos detectados fueron maíz,

sorgo y cítricos. Las superficies irrigadas observadas en el distrito Bajo San Juan muestran una oscilación de 80000 ha en los 1980's a 15000 ha en la mitad de los 1990's debido a la construcción de la presa 'El Cuchillo' y la sequía iniciada desde finales de 1980's. Las estimaciones del uso consuntivo indican que como promedio se utilizan 984 mm para regar los tres cultivos, sobrepasando esta cantidad las precipitaciones promedio estimadas por la distribución gamma para los cultivos de todos los distritos de riego. En promedio la cantidad de agua necesaria para irrigar la superficie agrícola de la cuenca asciende a los 1197 Mm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>, se reduce hasta los 188 Mm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> en precipitaciones con probabilidades de excedencia del 20% y se incrementa hasta los 1688Mm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> con precipitaciones con probabilidades de 80% de excedencia. El volumen promedio se asemeja a la descarga anual que se registra en el Río San Juan en la estación 'Los Aldamas'. Las superficies irrigadas del distrito 026 estarán oscilando como promedio en las 46000 a 52000 ha con los escenarios de sequía histórica e hidrología normal para el periodo completo de 1990 al 2045. El reporte enfatiza la necesidad de implementar el manejo sustentable de los recursos hidrológicos superficiales de la cuenca del río San Juan para reducir la contracción potencial de las superficies irrigadas en el mediano plazo dentro de la cuenca del Río San Juan.

## **ABSTRACT**

This research was conducted in the San Juan watershed, a tributary of the Río Bravo, with the following objectives: a) to determine the land area dedicated to irrigated agriculture and its temporal variations, b) to estimate rainfall, consumptive water use and water supplies required to irrigate agricultural land, and c) to determine the future scenarios of the irrigated agriculture in the 026 irrigation district or 'Lower San Juan'. Autocad 14 for windows was used to estimate the irrigated land and type of crops in the watershed, with land use maps published in 1978. To estimate monthly rainfall, data from 25 climatic stations with  $n \geq 30$  was employed and 8 probabilistic distributions were fitted. The gamma density function was used to estimate monthly rainfalls with the probabilities of 20, 50, and 80. Consumptive water use was estimated following the methodology of Blaney and Criddle for 54 climatic stations distributed within the watershed. Volume of water required to irrigate agricultural land was estimated by subtracting estimated rainfall to the consumptive use for two seasonal cropping periods. To determine the future scenarios it was assumed a drought of record and normal hydrology for three time periods of 15 years each starting in 1990 and ending in 2045. A water balance for reservoirs 'El Cuchillo'-'Marte R. Gomez' was conducted for this time period. The results showed that the area dedicated to irrigated agriculture is concentrated in the 026, Las Lajas, and Montemorelos-Gral. Teran irrigation districts covering a total area of 172,298

ha. Crops more commonly recorded were maize, sorghum and citrus trees. Agriculture has been oscillating in the Lower San Juan irrigation district from 80,000 ha in the 1980's to 15,000 ha in the middle of the 1990's due to the construction of 'El Cuchillo' reservoir and the drought spell, which started in the late 1980's. Estimations of compsumptive use averaged across crops was  $984 \text{ mm year}^{-1}$ , surpassing estimated rainfall amount, for all crops for all irrigation districts. Average water supplies for agriculture in the watershed amount to  $1197 \text{ Mm}^3 \text{ year}^{-1}$ , this volume is reduced to  $188 \text{ Mm}^3 \text{ year}^{-1}$  with rainfalls exceeding 20% of probability and the volume increase to  $1688 \text{ Mm}^3 \text{ year}^{-1}$  when rainfalls exceeds 80% of probability. The first figure is similar to annual discharge recorded in the San Juan river at the gauging stations 'Los Aldamas'. Agriculture in the 026 irrigation district will oscillate as an average between 46000 and 52,000ha with the scenarios of drought of record and normal hydrology for the time period of 1990-2045. This report focuses on the implementation of the sustainable management of surface water resources of the San Juan watershed to buffer the potential contraction of irrigated agriculture in the medium time range within the San Juan watershed.



## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

El agua es un recurso limitante para el desarrollo regional del nordeste de México. La cuenca del Río San Juan presenta una problemática compleja sobre el manejo sustentable de sus recursos hidrológicos. Los usos actuales incluyen principalmente la agricultura y público (doméstico, industrial, municipal, comercial). Los usos ambientales de los caudales se han estado considerando actualmente como claves para el bienestar de los ecosistemas (Návar, 1999; Guerra, 2000). Por esta razón es importante considerar los usos actuales y futuros de las aguas de la cuenca para satisfacer las necesidades presentes y establecer perspectivas para las generaciones futuras como una primera etapa del manejo sustentable de recursos hidrológicos superficiales (UNCED, 1992).

La vegetación riparia es un corredor de alta diversidad biológica y la cuenca del Río San Juan posee una longitud de cauces con corrientes perennes o intermitentes de 1575 km con un área potencial de vegetación riparia (con 40 m de ancho) de 6300 ha, con una tasa transpirativa promedio de  $2 \text{ m año}^{-1}$ , que demanda  $126 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  (Návar, 1999). Sin embargo, la

cantidad y calidad de agua para satisfacer las necesidades de las comunidades de peces e insectos acuáticos no se ha determinado cuantitativamente. Existe evidencia de una estrecha relación entre la cantidad y calidad de las aguas del río y la estructura de la diversidad - abundancia de peces (Guerra, 2000; Contreras y Lozano, 1994) y de insectos acuáticos (Guerra, 2000).

Para el uso de la agricultura bajo riego, la cantidad de agua no se ha cuantificado en la cuenca del Río San Juan. Reportes sobre el Bajo San Juan y Las Lajas, dos distritos de riego del Río San Juan, indican que estos utilizan de entre  $375 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  (SARH, 1981) a  $540 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  (ERL, 1991) para el primero y  $4.8 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  (CNA, 1997) para el segundo. Aunque Nívar (1999a) y Nívar (1999b) reportaron un volumen de aproximadamente  $480 - 500 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  ponderado con balances hidrológicos y usos consuntivos para el distrito de Riego Bajo San Juan.

La oferta del agua en la cuenca del Río San Juan es altamente variable en tiempo. La sequía de los 90's ha reducido el gasto, llegando hasta ser cero en algunos puntos de la cuenca a mediados de 1998. Este período seco, el cual no parece haber terminado (Schmand *et al.*, 1998), ha traído conflictos internos por las aguas del Río San Juan. Los almacenamientos de los embalses 'El Cuchillo' y 'Marte R. Gómez' cayeron hasta sus límites más bajos

desde sus construcciones. En el distrito 026 o 'Bajo San Juan' el área irrigada se redujo hasta un 20% a principios de los 1990's. Es probable que las sequías futuras aunadas al incremento en la demanda de agua para uso público en la cuenca podrían comprimir aún más las superficies irrigadas y estresar igualmente las relaciones sociales, económicas y políticas de los usuarios del agua de la cuenca.

## **CAPITULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **Objetivo General**

Entender la problemática del uso de los recursos hidrológicos superficiales de la cuenca del Río San y proporcionar información para el manejo sustentable de sus recursos hidrológicos para irrigación, bajo diferentes posibles escenarios.

#### **Específicos**

- Determinar la superficie agrícola bajo riego de la cuenca del Río San Juan y sus variaciones temporales.
- Determinar las probabilidades de precipitación, uso consuntivo y volúmenes requeridos para irrigar la superficie agrícola bajo riego de la cuenca del Río San Juan.
- Determinar los escenarios futuros de la superficie agrícola con riego del Distrito 026 ó 'Bajo San Juan'.

## **CAPITULO III**

### **HIPOTESIS**

A medida que los caudales superficiales de los ríos de la cuenca disminuyen las superficies agrícolas se reducen y/o los tipos de cultivo cambian, estas tasas de cambio pueden ser predecibles en el futuro inmediato por la observación y predicción de los balances hidrológicos de los embalses de la cuenca del Río San Juan.

## **CAPITULO IV**

### **MATERIALES Y METODOS**

#### **4.1. Ubicación del área de estudio.**

La cuenca del Río San Juan se localiza en el nordeste de México. Pertenece a la región hidrológica del Río Bravo-Río Conchos y cubre una área de drenaje de aproximadamente 33000 km<sup>2</sup>, en los Estados de Coahuila (40%), Nuevo León (57%) y Tamaulipas (3%). El sistema hídrico de la cuenca del Río San Juan tiene su origen en el arroyo La Chueca, este arroyo corre en dirección sudeste hasta llegar a la presa Rodrigo Gómez (La Boca) y de aquí continúa con el nombre de San Juan (INEGI, 1986). El drenaje superficial está compuesto por los ríos Salinas, Pesquería, Santa Catarina, San Juan, Ramos y Pílon. Los ríos inician en la región sudoriental de la cuenca, en la Sierra Madre Oriental, y drenan en una dirección este hacia el río Bravo, desembocando en Camargo, Tamaulipas. Las cuencas vecinas son: río Bravo hacia el nordeste, el río Alamo hacia el norte, el río San Fernando hacia el sudoeste y el río Salado hacia el noroeste.

#### 4.1.1. Provincias.

La cuenca se encuentra dentro de las tres provincias fisiográficas del estado de Nuevo León; La Gran Llanura de Norteamérica, La Llanura Costera del Golfo Norte y La Sierra Madre Oriental. La parte de la Sierra Madre Oriental se considera como el parteaguas principal y se localiza en su vertiente sudoccidental y sudoriental, mientras que en la parte nororiental y noroccidental su parteaguas está definido por lomeríos de baja altura (INEGI, 1978d)

##### 4.1.1.1. Gran Llanura de Norteamérica.

###### 4.1.1.1.1. Llanuras de Coahuila y Nuevo León.

La Gran Llanura de Norteamérica se encuentra ubicada en la porción nororiental de la cuenca del Río San Juan, pero se extiende de norte a sur desde Alberta y Saskatchewan en Canada hasta Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas en el Norte-Nordeste de México. La única subprovincia localizada en el norte de México se denomina como Las Llanuras de Coahuila y Nuevo León. La llanura se encuentra inclinada de este a oeste pues sus alturas sobre el nivel del mar van desde los 500 m en su lado este hasta los 1000 m en su lado oeste. Esta declinación no es tan marcada dentro de la cuenca del Río San Juan, donde sus diferencias en elevación no alcanzan los 20 m en la dirección indicada (INEGI, 1978d).

La subprovincia de las Llanuras de Coahuila y Nuevo León limita al norte con el Río Bravo, al oeste con la Sierra Madre Oriental y al sureste con la Llanura Costera del Golfo Norte. Se caracteriza por la presencia de llanos ininterrumpidos, por lomeríos dispersos bajos, de pendientes suaves y constituidos por conglomerados (INEGI, 1978b).

#### 4.1.1.1.2. Suelos.

En la subprovincia predominan los suelos claros, clasificados como xerosoles lúvicos, cálcicos y háplicos, ocupando todas las topoformas pero en su mayor parte las llanuras aluviales suaves. Otros suelos claros pero poco desarrollados son los regosoles del tipo calcárico y eútrico que se localizan en los lomeríos y llanuras de piso rocoso, asociados con litosoles, rendzinas y xerosoles; los vertisoles crómicos y pélicos se encuentran en tercer lugar localizados en los valles y en algunas partes localizadas de la llanura (INEGI, 1978c).

#### 4.1.1.1.2. Clima.

Por su posición geográfica, desde aproximadamente 200 km al nordeste de la Sierra Madre Oriental y otros tantos del Golfo de México, la subprovincia se caracteriza por la baja humedad relativa y la escasa precipitación. Los climas que predominan son desde secos hasta semi-



cálidos subhúmedos. Con precipitaciones bimodales; máximas entre mayo y junio y septiembre-octubre y una fase intermedia seca o canícula (INEGI, 1978b).

#### 4.1.1.1.3. Vegetación.

La subprovincia presenta como vegetación característica al matorral espinoso tamaulipeco y al mezquital y se presentan en forma alternada sobre suelos del tipo vertisol y xerosol en todos los sistemas de topofomas, con excepción de la meseta. El primero tiene una fisonomía de matorral espinoso, aunque en la sierra baja se encuentra el matorral subinorme, mientras que en el segundo, los individuos de *Prosopis* dominan el piso superior con algunos individuos presentes del matorral. Sobre las llanuras de piso rocoso se localizan los matorrales micrófilos, mientras que en suelos salinos, la vegetación halófila se encuentra dominando el paisaje (INEGI, 1978a).

#### 4.1.1.2. Llanura Costera del Golfo Norte.

Esta provincia se extiende sobre la costa del Golfo de México, en Reynosa, Tamaulipas, hasta la zona de Nautla, Veracruz. Al norte continua en Texas y Louisiana y, según la fisiografía abarca partes de la Florida y se extiende sobre la costa del Atlántico hasta Nueva Inglaterra. En el estado de Nuevo León la provincia queda inmersa dentro de la cuenca del Río San

Juan en su posición central, corriendo de norte a sur, inmediatamente después de bajar la subprovincia de la Sierra Plegada. La provincia inicia en sus límites occidentales a unos 400 msnm, con un mínimo en Reynosa de 150 y un máximo de 500 en Monterrey. Los materiales que afloran se encuentran caracterizados por sedimentos marinos no consolidados (arcillas, arenas y conglomerados), cuya edad aumenta conforme su distancia con respecto a la costa; desde cuaternarios, pasando por pliocenos, oligocenos, y eocenos del Terciario; hasta cretácicos superiores en las proximidades de la Sierra Madre Oriental. En Nuevo León, la subprovincia de Llanuras y Lomeríos se encuentra caracterizada por una pequeña sierra baja (las Mitras), lomeríos suaves con bajadas y llanuras de extensión considerable (INEGI, 1978d).

#### 4.1.1.2.1 Suelos.

Los suelos que predominan son los vertisoles profundos de color oscuro y se asocia con rendzinas y litosoles en la sierra las Mitras; con regosoles en algunos lomeríos restringidos; y con xerosoles en algunas llanuras secas (INEGI, 1978c).

#### 4.1.1.2.2 Clima.

Los climas que predominan son semi-secos a subhúmedos, con un incremento en la precipitación a medida que se acerca a la Sierra Madre

Oriental (caso de Montemorelos y Allende) y disminuye al norte y este de la misma (caso de Los Ramones, General Terán, China, etc.) (INEGI, 1978b).

#### 4.1.1.2.3 Vegetación.

La vegetación dominante es el matorral espinoso tamaulipeco, conformado por arbustos altos de tallo claro que frecuentemente presenta altos índices de densidad. Algunos otros tipos de vegetación restringidos a los lomeríos más altos son los bosques de encino, encino pino y pino; mientras que en algunas mesetas y llanuras se encuentran pastizales importantes (INEGI, 1978a).

#### 4.1.1.3 Sierra Madre Oriental.

La Provincia de la Sierra Madre Oriental abarca partes de los estados de Durango, Coahuila, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Queretaro, Veracruz, Hidalgo y Puebla. En el estado de Nuevo León incluye cinco subprovincias: 1) Sierras Transversales, 2) Sierras y Llanuras Occidentales, 3) Gran Sierra Plegada, 4) Pliegues Saltillo-Parras, y 5) Sierras y Llanuras Coahuilenses. De éstas, las más importantes para la cuenca del Río San Juan son las últimas tres (INEGI, 1978d).

#### 4.1.1.3.1 Subprovincia de la Gran Sierra Plegada.

La Subprovincia de la Gran Sierra Plegada se inicia al este de Saltillo Coah., y se flexiona con la integración de un gran arco al sur de Monterrey, N.L., donde dominan las capas plegadas de calizas con prominentes ejes estructurales de anticlinales y sinclinales. Las cumbres de la sierra normalmente sobrepasan los 2,000 msnm, donde existen rasgos y son particularmente importantes en su parte más húmeda. Las rocas más antiguas son esquistos del Precámbrico. Existen afloramientos de areniscas intercaladas pertenecientes al Triásico. Del Jurásico Superior existen afloramientos masivos de calizas, de yeso y de yeso asociado con caliza. Además afloran lutitas y varias asociaciones de lutitas y areniscas y de calizas con lutitas (INEGI, 1978d).

##### 4.1.1.3.1.1 Suelos.

Los suelos predominantes son litosoles y rendzinas, aunque debido a las topoformas se encuentran estos asociados con regosoles, con feozems, con luvisoles, y con xerosoles. En sistemas de topoformas de bajadas dominan los xerosoles cálcicos y gypsicos (INEGI, 1978c).

##### 4.1.1.3.1.2 Clima.

Debido a las diferencias en altitud, exposición, posición con referencia a la Sierra, existe también una diversidad de climas, desde los

extremadamente secos hasta los templados y fríos, desde los muy lluviosos o húmedos en los flancos orientales de la Sierra hasta los áridos en la sombra orográfica de las vertientes occidentales y la meseta central (INEGI, 1978b).

#### 4.1.1.3.1.3 Vegetación.

Los bosques de pino cubren extensas áreas de la subprovincia, pero generalmente se encuentran mezclados con otros tipos de vegetación como los encinares, chaparrales o matorrales. Dentro de estos últimos los más dominantes son los submontanos y los rosetófilos (INEGI, 1978a).

#### 4.1.1.3.2. Subprovincia de los Pliegues Saltillo- Parras.

La Subprovincia de los Pliegues Saltillo-Parras forma parte de la región de la Mesa del Norte y está constituida por dos tipos de terrenos, los llanos, donde dominan las lutitas y las areniscas que bajan del sur de Monclova, al noroeste de la cuenca del Río San Juan y las sierras alternadas con valles anticlinales; estos últimos rellenos por depósitos aluviales, al suroeste de la cuenca de referencia (INEGI, 1978d).

#### 4.1.1.3.2.1 Suelos.

Los litosoles dominan las sierras y lomeríos, asociados con regosoles sobretudo en las sierras, en donde los suelos se han derivado de las lutitas de areniscas que las conforman. En la sierra pliegue se encuentran también suelos yesosos clasificados como yermosoles, asociados con regosoles y xerosoles (INEGI, 1978c).

#### 4.1.1.3.2.2 Clima

El clima predominante es seco semicálido, la temperatura media anual oscila entre 16 y 20°C. (INEGI, 1978b).

#### 4.1.1.3.2.3 Vegetación.

La vegetación dominante es el matorral desértico rosetófilo y micrófilo. El primero se localiza entre los 1300 y 750 m, mientras que el segundo entre los 650 y 800 m sobre el nivel del mar (INEGI, 1978a).

#### 4.2. Generalidades sobre Precipitaciones y Sequías.

Las precipitaciones de la cuenca son originadas por diversas fuentes, entre las cuales se citan a la posición latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), la posición e intensidad de las celdas subtropicales de alta presión en los océanos Atlántico y Pacífico, la evolución en tiempo y espacio de las ondas planetarias mayores y los ciclones tropicales (García,

1965, 1987; García y Mosiño, 1968; Mosiño, 1964; Mosiño y García, 1966, 1974; Wallen, 1955). Durante la época invernal boreal seca en la mayor parte del país la circulación de la tropósfera alta se encuentra dominada por la corriente de chorro (Jet Stream) Subtropical del Oeste, el cual se extiende muy al sur dentro de los trópicos (Hastenrath, 1988). Durante el verano boreal, las masas de aire cálido-húmedas del Golfo de México y del Caribe son la fuente de humedad más importante y son acarreadas por los vientos del este dentro del continente (García, 1965). Como resultado de estos controles de circulación a escala sinóptica y los factores topográficos del país, se pueden distinguir varias zonas con precipitaciones características tanto en magnitud como en espacio. Dentro de éstas, las regiones del nordeste y de la mesa central son de importancia crítica para los balances hidrológicos de la cuenca del Río San Juan. La primera presenta su temporada de lluvia más importante durante el verano, con los meses de junio y septiembre siendo los de mayor cantidad. Los fenómenos de convección, los disturbios tropicales, aunque no muy frecuentes, y el efecto orográfico producen lluvias abundantes sobre las vertientes orientales de la Sierra Madre Oriental. A medida que se aleja de la sierra, el efecto orográfico desaparece, y sólo la convección y los disturbios tropicales producen lluvia, como consecuencia la cantidad disminuye. Durante los meses de julio y agosto existe una reducción en la cantidad de la lluvia precipitada, un fenómeno llamado canícula, el cual parece ser el resultado del

establecimiento de una celdilla anticiclónica sobre la Meseta Central de México que inhibe la entrada de aire cálido - húmedo de los mares hacia el continente (Jauregui y Klaus, 1976). Las precipitaciones sobre la Meseta Central, rodeada por las Sierras Madre Oriental, Occidental, y Eje Neovolcánico, presenta precipitación unimodal con una máxima en julio y resulta de una porción húmeda que se desarrolla sobre el Caribe y el Pacífico (Reyes y Cadet, 1986). En algunos años, las precipitaciones son abundantes durante septiembre y se debe mas que todo a la entrada de depresiones tropicales y ciclones dentro del país.

La precipitación anual se distribuye casi normalmente, y la estación climática 'La Boca', representa casi el doble de precipitación anual que el resto de las estaciones climáticas. La cercanía al flanco sud - oriental de la sierra y su posición entre la Sierra Madre Oriental y la Sierra La Silla hacen de ésta una región microclimática con lluvias abundantes y temperaturas moderadas (Návar *et al.*, 1994). El resto de las estaciones se localizan dentro de las llanuras suaves de la Planicie Costera del Golfo Norte y La Subprovincia de Sierras y Llanuras Coahuilenses, en las cuales, la precipitación anual disminuye por la falta de sistemas orográficos que puedan afectar las corrientes cálido-húmedas provenientes del Golfo de México. Es notorio también observar que a medida que la precipitación anual



disminuye, el coeficiente de variación incrementa, característico de climas áridos y semi-áridos.

Las fuentes más importantes que originan la precipitación en la cuenca son procesos convectivos causados por disturbios a escala sinóptica en las latitudes medias, tormentas tropicales y la inestabilidad de la atmósfera causada por sobrecalentamiento de la superficie terrestre. Los disturbios tropicales causados por los vientos del este, del Golfo de México, presentan una máxima durante el verano tardío y principios del otoño y son los responsables de las precipitaciones máximas de septiembre y octubre en las estaciones de la parte cercana a la Sierra Madre Oriental o al sudeste de la cuenca. Estas representan entre el 25-40 % de la precipitación total anual. Los vientos del oeste asociados con frentes fríos parecen ser los responsables de las precipitaciones máximas en la primavera tardía o principios del verano.

#### 4.3 Usos del agua.

La utilización de los recursos hidrológicos superficiales de la cuenca, está dada por la demanda de agua para usos públicos, agrícola e industrial.

#### 4.3.1 Demanda de agua para uso público.

La población de la cuenca del río Bajo San Juan, incluyendo los principales usuarios del agua superficial, es de aproximadamente 3.8 millones de habitantes (Tabla 1), de los cuales el 78% se concentra en el Área Metropolitana de Monterrey (INEGI, 1995, citado por Návar, 1999).

La población incrementará hasta 6.3 millones de habitantes para el año 2020 (CONAPO, 1996) y hasta 8.8 millones de habitantes para el año 2045 (Návar, 1999).

El uso público total de agua se ha estimado en 290 litros día<sup>-1</sup> habitante<sup>-1</sup> para el AMM y en 432 litros día<sup>-1</sup> habitante<sup>-1</sup> para las ciudades fronterizas. Estas estimaciones son similares al valor promedio reportado para EU para uso doméstico (300 litros día<sup>-1</sup> habitante<sup>-1</sup>; Soley, *et al.*, 1998). La población del AMM obtiene el 45% del agua superficial de 'El Cuchillo' (Agua y Drenaje, 1997; Návar, 1999).

*Caracterización de las Superficies Agrícolas, Volúmenes de Irrigación y sus Perspectivas a Mediano Plazo en la Cuenca del Río San Juan.*

Tabla 1 . Población progresiva desde 1970-1995 de los municipios localizados dentro de la cuenca del Río San Juan,

MUNICIPIO	POBLACION			
	1970	1980	1990	1995
Camargo	15416	16014	15043	15309
Gustavo Díaz Ordaz	18261	17830	17705	15689
Castaños	13641	15690	21356	21924
Cuatro Ciénegas	9443	10850	12302	12899
General Cepeda	13202	13568	11966	11913
Parras de la Fuente	33208	39677	39534	43303
Ramos Arizpe	19266	23092	28246	36440
Saltillo	190994	321758	440920	527979
Abasolo	398	712	1373	1945
Agualeguas	5506	5364	5095	4492
Aldamas, Los	4713	4008	4140	2445
Allende	14893	19286	22211	23053
Apodaca	18564	37181	115913	18278
Cadereyta Jiménez	29765	45147	53582	62440
Carmen, El	2150	3931	4906	6168
Cerralvo	7677	7625	7653	8287
China	10349	11879	12404	12064
Ciénega de Flores	3273	5075	6708	8586
Doctor Coss	4587	3945	2961	2286
Doctor González	2428	2222	3011	2912
García	6477	10434	13164	23981
General Bravo	6438	6807	6759	6030
Gral Escobedo	10515	37756	98147	176869
Gral. Terán	17765	18720	16656	16609
Gral. Treviño	2170	1921	2182	1695
Gral. Zuazua	2687	4045	4647	5276
Los Herreras	4141	3554	3363	2860
Higueras	865	993	1060	13552
Juárez	5656	13490	28014	3522
Marín	1745	2581	3292	66104
Melchor Ocampo	1223	1055	1641	4014
Mina	3207	4368	4564	7721
Montemorelos	37265	43874	49302	51714
Monterrey	858107	1090009	1069238	1088143
Paras	1638	1179	1021	1087
Pesquería	5181	6963	8188	9359
Los Ramones	9360	7565	6538	5236
Rayones	3724	3506	3164	2791
San Nicolás de los G.	113074	280696	436603	487924
Santa Catarina	36385	89488	163848	202156
Santiago	24089	28585	30182	34187
<b>TOTAL</b>	<b>1569446</b>	<b>2262443</b>	<b>2778602</b>	<b>3049242</b>

#### 4.3.2 Agrícola.

El distrito de riego 026 se ubica desde Miguel Alemán hasta Reynosa, México. La presa 'Marte R. Gómez' suministra una tasa anual promedio de 360-540 Mm<sup>3</sup> (SARH, 1980; ERL, 1996). El volumen de agua para abastecer el uso consuntivo de dos ciclos del maíz, estimado similarmente, es de 480 Mm<sup>3</sup>. El distrito 'Las Lajas' se localiza aguas abajo del embalse 'El Cuchillo', el cual suministra una tasa promedio anual de 5.0 Mm<sup>3</sup> (Návar, 1999). Sin embargo, el volumen necesario para irrigar un cultivo de maíz de dos ciclos asciende a 24 Mm<sup>3</sup> anuales (Návar, 1999).

#### 4.3.3. Conservación de ecosistemas riparios.

Los ríos de la cuenca son corredores de alta diversidad biológica y poseen una longitud de cauces con corrientes perennes o intermitentes de 1575 km con un área potencial de vegetación ripárica (40 m de ancho) de 6300 ha, con una tasa transpirativa de 2 m año<sup>-1</sup>, que demanda 126 Mm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. Aunque Guerra y Návar (1999) midieron para la cuenca del Río San Juan sólo una superficie de 5900 hectáreas en mapas de vegetación y uso del suelo de 1973. La sistemática construcción de embalses, las extracciones puntuales de agua para riego, la contaminación puntual y difusa y los cambios de uso de suelo han contribuido a esta reducción. Las variaciones en el caudal ó gasto afecta mayormente a las comunidades de

vegetación riparia y a las comunidades de insectos, mientras que la calidad del agua del Río San Juan parece afectar principalmente a las comunidades ícticas (Guerra, 2000).

#### 4.4. Generalidades del distrito de riego 026 ó Bajo San Juan.

El distrito de riego 026 o 'Bajo San Juan' cubre una superficie de 76,205 ha distribuidas en 5 unidades de riego. El distrito se localiza en la Planicie Costera Nororiental, en los municipios de Mier, Miguel Alemán, Camargo, Díaz Ordaz y Reynosa, al noroeste de Tamaulipas. Se caracteriza por ser una superficie sensiblemente plana sin quebraduras o escotaduras profundas. La precipitación anual promedio fluctúa desde los 400 mm en la porción noroccidental hasta los 600 mm en la porción sudoriental (SARH, 1981; CILA 1994). Los suelos se caracterizan por ser arcillosos, con arcillas del tipo 2:1, de látice expansible, profundos, grises-oscuros, con estructura prismática media y grande, clasificados como Chestnut o Castañozem Lúvicos (SARH, 1981). Prácticamente todos los suelos presentan un horizonte compactado a 30 cm de profundidad.

## **METODOLOGIA**

### **4.5. Determinación de la superficie agrícola irrigada de la cuenca del Río San Juan y sus variaciones temporales.**

Para la determinación de la superficie agrícola irrigada de la cuenca del Río San Juan, se elaboró un mapa de los diferentes tipos de cultivos agrícolas, mediante la digitalización y planimetría de las cartas de vegetación y uso del suelo elaboradas por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional en 1978, escala 1:50000.

La digitalización se efectuó utilizando el programa de computo Autocad 14 para Windows. Para la digitalización del perímetro de la cuenca fue necesario trazar este mismo manualmente en cartas topográficas escala 1:50000 y posteriormente digitalizarlo, ya que solo existen cartas de hidrología superficial escala 1:250000 editadas en 1978 por INEGI, por lo que se hizo necesario la transformación a la escala 1:50 000.

Mediante la utilización del programa de cómputo Autocad LT para Windows se proceso la información digitalizada para determinar así los

diferentes tipos de cultivos que conforman la superficie agrícola irrigada de la cuenca, así como la superficie en kilómetros cuadrados y hectáreas que cada uno de estos cultivos ocupa dentro de la cuenca del Río San Juan. Se obtuvieron datos de La Comisión Internacional de Límites y Aguas y del Distrito de Riego Bajo San Juan sobre las superficies irrigadas en el pasado. Estas fueron graficadas para determinar posibles patrones o tendencias.

#### **4.5.1 Determinación de las probabilidades de precipitación y uso consuntivo para los principales cultivos en la cuenca del Río San Juan.**

##### **4.5.1.1 Estimación de las probabilidades de precipitación.**

Para la estimación de las lluvias con ciertas probabilidades se utilizaron distribuciones probabilísticas. Las distribuciones que se probaron fueron la Exponencial, Log normal, Gamma por momentos, Galton, Valores extremos, Gamma por máxima verosimilitud<sup>1</sup> y Gamma por máxima verosimilitud<sup>2</sup>.

La Distribución Exponencial.

La familia de distribuciones exponenciales proporciona modelos de probabilidad que son ampliamente utilizados en ingeniería y ciencias.

Se dice que X tiene una distribución exponencial si la p.d.f. de X es:

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & x \geq 0 \\ 0 & \text{de otra forma} \end{cases} \text{ donde } \lambda > 0$$

La p.d.f. exponencial es un caso especial de la expresión de la p.d.f. gamma general, en la que  $\alpha = 1$  y  $\beta$  ha sido sustituida por  $1/\lambda$ . Algunos autores usan la forma  $(1/\beta)^{-x/\beta}$ . La media y varianza de X es entonces:

$$\mu = \alpha\beta = \frac{1}{\lambda} \quad \sigma^2 = \alpha\beta = \frac{1}{\lambda^2}$$

Para el cálculo de las probabilidades con la distribución exponencial se puede utilizar de la siguiente forma:

$$P(X) = \lambda^{-\lambda x} = \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} = 1 - e^{-\lambda x} \text{ de esta forma:}$$

$$P(X) = 1 - e^{-\lambda x}$$

$$\ln P(X) = \ln(1) - \ln e^{-\lambda x}$$

$\ln[P(X)] - \ln(1) = \lambda x$  entonces, tenemos:

$$x = \frac{\ln P(X) - \ln(1)}{-\lambda}$$



### La Distribución Lognormal.

Una variable aleatoria no negativa (X) se dice que tiene una distribución lognormal si la variable  $Y = \ln(X)$  tiene una distribución normal. La p.d.f. resultante de la variable lognormal en la que  $\ln(X)$  es normalmente distribuido con parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  es:

$$f(x; \mu, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma x} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}[\ln(x)-\mu]^2 / (2\sigma^2)} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

$\mu$  y  $\sigma$  no son la media y la desviación estándar de  $\ln(X)$ . La media y la varianza de X se puede demostrar que son:

$$E(X) = e^{\mu + \sigma^2 / 2} \quad V(X) = e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)$$

### La Distribución de Galton.

Las distribución de Galton se aplica comúnmente a datos asimétricos, usándo una z que se calcula de la siguiente manera:

!

$$Z = \frac{\text{Log} \frac{X}{G}}{\text{Log} Gg}$$

donde:

x = datos originales

G = media geométrica

Gg = desviación geométrica

y

$$G = [(X_1).(X_2)..(X_n)]^{1/n}$$

o bien

$$\text{Log}G = \frac{1}{n} \sum \log x_i$$

y

$$\text{Log}Gg = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log}x_i - \text{Log}G)^2}{n}}$$

!

La Distribución de Valores Extremos ó Gumbel-Fisher-Tippet.

La función de densidad de probabilidad para la distribución de valores extremos del Tipo I es:

$$P_x(x) = \exp\{\mp(x - \beta)/\alpha - \exp[\mp(x - \beta)/\alpha]\} / \alpha$$
$$-\infty < x < \infty; - < \beta < \infty; \alpha > 0$$

La media y la varianza de la distribución de valores extremos del Tipo I es:

$$E(X) = \beta + 0.577\alpha \quad (\text{máximo})$$
$$= \beta - 0.577\alpha \quad (\text{mínimo})$$
$$Var(X) = 1.645\alpha^2$$

El coeficiente de sesgo es:

$$\gamma = 1.139 \quad (\text{máximo})$$
$$\gamma = -1.1396 \quad (\text{mínimo})$$

De este modo la p.d.f. del Tipo I tiene un coeficiente de sesgo constante.

Si la transformación:  $Y = (X - \beta)/\alpha$  es usada, la función de densidad de valores extremos del Tipo I es como sigue:

$$P_Y(y) = \exp[\mp y - \exp(\mp y)]$$

### La Distribución Gamma.

Se probó asimismo la función gamma, para la cual se estimaron los parámetros por el método de momentos, máxima verosimilitud 1 (procedimiento de Thom) y máxima verosimilitud 2 (procedimiento de Greenwood y Durand).

La función de densidad gamma está dada por:

$$P_x(X) = \lambda^\eta X^{\eta-1} e^{-\lambda x} / \Gamma(\eta) \quad X, \lambda, \eta > 0$$

$\Gamma(n)$  es la función gamma, la cual tiene las siguientes propiedades:

$$\Gamma(\eta) = (\eta - 1)! \quad \text{para } \eta = 0, 2, 2, 3, \dots$$

$$\Gamma(\eta + 1) = \eta \Gamma(\eta) \quad \text{para } \eta > 0$$

$$\Gamma(1) = \int_0^\infty t^{\eta-1} e^{-t} dt \quad \text{para } \eta > 0$$

Solución por el método de momentos:

$$\bar{X} = \Sigma x / n$$

$$s = \sqrt{\left( \frac{\Sigma X^2}{n} - \bar{X}^2 \right) / (n - 1)}$$

$$\hat{\lambda} = \bar{X} / s^2$$

/

Solución por el método de máxima verosimilitud 1 (procedimiento de Thom):

$$\overline{\ln(x)} = \sum_{i=1}^n \ln x_i / n$$

$$y = \ln \bar{x} - \overline{\ln x}$$
$$\hat{\eta} = \left( 1 + \sqrt{1 + 4y/3} \right) / 4y$$
$$\hat{\lambda} = \hat{\eta} / \bar{x}$$

Solución por el método de máxima verosimilitud 2 (procedimiento de Greenwood y Durand):

$$y = \ln \bar{X} - n\bar{X}$$
$$\hat{\eta} = \left( 0.5000876 + 0.1648852y - 0.0544274 y^2 \right) / y$$
$$\hat{\lambda} = \hat{\eta} / \bar{X}$$

Para los datos de los registros de precipitación mensual se hizo una prueba de bondad de ajuste entre datos observados y modelados por las funciones de probabilidad para determinar cuál es la que presenta un mejor ajuste. De las distribuciones probabilísticas continuas probadas (Exponencial, Log normal, Gamma por momentos, Galton, Valores extremos, Gamma por momentos, máxima verosimilitud 1, y máxima verosimilitud 2) se seleccionó la

de mejor ajuste y por su facilidad en estimar parámetros. Con la distribución Gamma por el procedimiento de máxima verosimilitud 2 se estimaron las precipitaciones mensuales con las probabilidades de 20, 50 y 80% de ocurrencia para los ciclos de riego temprano y tardío para los cultivos encontrados dentro de la cuenca.

#### **4.5.1.2 Estimación del uso consuntivo para la superficie irrigada de la cuenca del Río San Juan.**

Se estimó el volumen de agua requerido para el riego de los tres cultivos más populares de la cuenca del Río San Juan: maíz, sorgo y cítricos para dos periodos de tiempo consecutivos. Asimismo se estimó el uso consuntivo anual para estos mismos cultivos. Los usos consuntivos estimados en las estaciones climatológicas que se encuentran dentro de la cuenca, fueron posteriormente calibrados con probabilidades de precipitación a un 50, 20 y 80% de probabilidad de ocurrencia para estimar los déficits de agua que deben ser suministrados por los ríos de la cuenca.

El método de Blaney and Criddle (Withers y Vipond, 1986) fue empleado para la estimación de los usos consuntivos; el uso consuntivo se encontró multiplicando la temperatura media mensual, las horas de iluminación mensuales y un coeficiente para cada cosecha. La relación matemática de Blaney and Criddle usada es:

$$U = KF = \sum kf$$

En la que:

U = uso consuntivo de agua por la cosecha.

K = coeficiente de "uso consuntivo"

F = suma de los factores mensuales de uso consuntivo:

$$(t \cdot p)$$

t = temperaturas medias mensuales.

p = horas de insolación mensuales.

Los datos hidroclimáticos utilizados en la estimación de los usos consuntivos fueron:

- precipitación media mensual (Fuente: CNA, 1998)
- temperatura media mensual (Fuente: CNA, 1998)
- La cantidad de horas de insolación mensuales se tomó de tablas (Withers y Vipond, 1986), para un promedio de la cuenca de 26° Latitud Norte.

Los usos consuntivos fueron estimados para dos etapas de crecimiento para maíz y sorgo. El primer período fue determinado para maíz desde marzo hasta junio y el segundo desde agosto hasta noviembre. Para sorgo, el primer período de crecimiento se determinó desde febrero hasta junio y el segundo

desde julio hasta noviembre. Para los cítricos, solo los meses de septiembre y enero fueron eliminados del uso consuntivo.

#### **4.5.1.3 Estimación de la cantidad de agua necesaria para irrigar la superficie agrícola de la cuenca del Río San Juan.**

Los valores de precipitación, estimados por la distribución de mejor ajuste, para cada una de las tres probabilidades (20, 50 y 80% de probabilidad de ocurrencia) se restaron del uso consuntivo estimado para cada estación de crecimiento para cada cultivo de cada unidad de riego de la cuenca. Otros escenarios empleados fueron aquellos en los cuales se consideró que toda la superficie agrícola de cultivos anuales sería plantada con maíz o con sorgo y los cítricos permanecerían en su posición por tiempo indefinido.

#### **4.5.2 Determinación de escenarios futuros de la superficie agrícola con riego del Distrito 026 ó 'Bajo San Juan'.**

El procedimiento para predecir la superficie agrícola irrigada futura consistió en determinar el volumen de agua disponible para irrigación en el embalse 'Marte R. Gómez' al final de cada año. Este dato es considerado en la asignación de volúmenes de agua para riego en el Bajo San Juan (Ing. Florian Chan, Comunicación Personal). El volumen almacenado se estimó por un balance hidrológico conjunto de los embalses 'El Cuchillo'-'Marte R. Gómez'. El volumen máximo de almacenamiento bombeado para irrigación fue



de  $500 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ , considerando las estimaciones del uso consuntivo para maíz por dos ciclos anuales y ponderados por la precipitación mensual promedio. Los almacenamientos mínimos dejados en el embalse 'Marte R. Gómez' fueron  $50 \text{ Mm}^3$ .

Los caudales y las precipitaciones de entrada a los embalses fueron aquellos registrados durante los periodos de la sequía histórica e hidrología normal. Las condiciones hidrológicas para los caudales fueron determinadas a partir de gráficas que muestran las desviaciones acumuladas de la precipitación para varias estaciones climáticas de la cuenca y del gasto del Río San Juan, en la estación San Juan. Las tendencias de sequía fueron corroboradas corriendo un balance hidrológico retrospectivo para el embalse 'El Cuchillo'. Con esta información se determinaron los periodos secos y húmedos, sus características hidro-climáticas y sus escalas temporales.

Datos hidroclimáticos utilizados en la propuesta de escenarios del distrito de riego 'Bajo San Juan'.

I.- El Balance Retrospectivo de 'El Cuchillo'. Para correr el balance hidrológico retrospectivo se supuso que el embalse: 1) descarga  $12.96 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$  para cumplir con los compromisos de 'Marte R. Gómez' por el Plan Monterrey IV, 2) descarga  $4.8 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$  para cumplir con los requerimientos de irrigación del distrito de riego 'Las Lajas', 3) envía el 45% de la demanda de agua superficial

para uso público del AMM y 4) drena volúmenes excedentes al almacenamiento máximo ordinario de 1024 Mm<sup>3</sup>.

Previo a correr este balance, se trabajó otro balance del embalse con los datos disponibles desde 1993 hasta 1996 para determinar las fuentes de variación más importantes. Los datos usados para correr los balances hidrológicos fueron:

- Descarga mensual dentro del embalse El Cuchillo, con caudales de los ríos San Juan (1939-1996) y Pilón (1950-1996) (Fuente: CNA, 1998).
- Precipitación mensual en la estación El Cuchillo (1939-1996) (Fuente: CNA, 1998).
- Evaporación Mensual de la estación El Cuchillo (1940-1996) (Fuente: CNA, 1998).
- Temperatura mensual, mínima y máxima de la estación El Cuchillo (1940-1996) (Fuente: CNA, 1998).
- Percolación mensual, salidas mensuales para uso público, irrigación del distrito de riego 'Las Lajas' y descarga mensual hacia el embalse Marte R. Gómez (1993-1996) (Fuente: CNA, 1998; Agua y Drenaje, 1998).

La suposición de este análisis es que la evaporación del embalse es 0.75 de la evaporación del evaporímetro, como ha sido sugerido en algunos libros hidrológicos (Dunne y Leopold, 1978; Linsley *et al.*, 1988). La

evaporación mensual del evaporímetro fue adicionalmente predicha por la temperatura media y calibrada por la temperatura mínima y máxima como una indicación de la humedad relativa del aire.

El balance para 'El Cuchillo' (1993-1996) mostró un error estándar de  $36 \text{ Mm}^3$ , ó un error estándar porcentual del 13% entre los almacenamientos simulados y observados. Los gastos de entrada observados y predichos por el balance hidrológico, se ajustaron bien a una regresión lineal, con una ecuación de  $-3.883+0.849319$  (gasto de entrada medido), con un coeficiente de determinación de 0.90 y un error estándar de  $10.0 \text{ Mm}^3$ . Por esta razón, los gastos de entrada de los balances hidrológicos fueron ponderados por esta relación.

II.- El balance hidrológico para el embalse 'Marte R. Gómez' fue corrido con la siguiente información:

- Precipitación mensual de la estación Comales para el periodo 1980-1993 (Fuente: CILA, 1994).
- Evaporación mensual de la estación Comales para el periodo 1980-1993 (Fuente: CILA, 1994).
- Gasto mensual de entrada al embalse por el Río San Juan medidos en la estación 'Los Aldamas' (Fuente: CNA, 1998).

- Percolación del embalse hacia el río San Juan medidos en la estación San Juan (Fuente: CILA, 1994).
- Almacenamiento mensual para el periodo 1980-1993 (Fuente: CILA, 1980-1993).

Este procedimiento supuso que el balance hidrológico se encuentra cerrado y que la descarga para irrigación del distrito 026 ó 'Bajo San Juan' fue exclusivamente la variable dependiente. La primera suposición fue revisada con los volúmenes almacenados y estimados, los cuales mostraron una variación del 13%.

En la corrida del balance hidrológico futuro se consideraron las siguientes suposiciones:

- La percolación mensual está en función del volumen de almacenamiento.
- La descarga anual para riego es estimada al final del año en cuestión y la descarga es liberada al inicio del año siguiente. La descarga máxima para riego fue de 500 Mm<sup>3</sup>.
- La última batimetría fue considerada para los balances hidrológicos.
- El gasto de entrada estuvo en función de la descarga del río Pesquería y la descarga del Río San Juan a través del manejo del embalse 'El Cuchillo', donde se supuso que se descargaría una tasa de 12.96 Mm<sup>3</sup> mes<sup>-1</sup> además

de los excesos de almacenamiento por arriba de los  $1024 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$  del embalse.

### III. Población y uso per cápita de agua en el Area metropolitana de Monterrey.

El balance hidrológico del embalse 'El Cuchillo' está en función de la demanda para uso doméstico en el AMM. Para completar el incremento en la demanda de agua para uso doméstico, los siguientes datos fueron colectados:

- Estimaciones de la población para el periodo de 1920 hasta 1995 (Fuente: INEGI, 1996).
- Pronóstico de la población para el periodo 2000 hasta 2020 (Fuente: CONAPO, 1996). Interpolación directa de la población hasta el 2045.
- Demanda de agua para uso público del Area Metropolitana de Monterrey para el periodo de 1990 a 1996 (Fuente: Agua y Drenaje, 1998).

El uso per cápita de agua fue estimado de la demanda total de agua dividida entre el número de habitantes del AMM. Este valor se aproximó a  $290 \text{ litros día}^{-1} \text{ habitante}^{-1}$  y es un poco menor que el valor promedio reportado para Los Estados Unidos de América para uso exclusivamente doméstico, el cual se ha reportado como  $300 \text{ litros día}^{-1} \text{ habitante}^{-1}$  (Soley *et al.*, 1998). La demanda futura fue estimada de la población esperada y su consumo per cápita. De la demanda total del agua superficial (50% del total) para uso público, el 50% es suministrado por los embalses La Boca (15%), Cerro Prieto (40%) y El Cuchillo

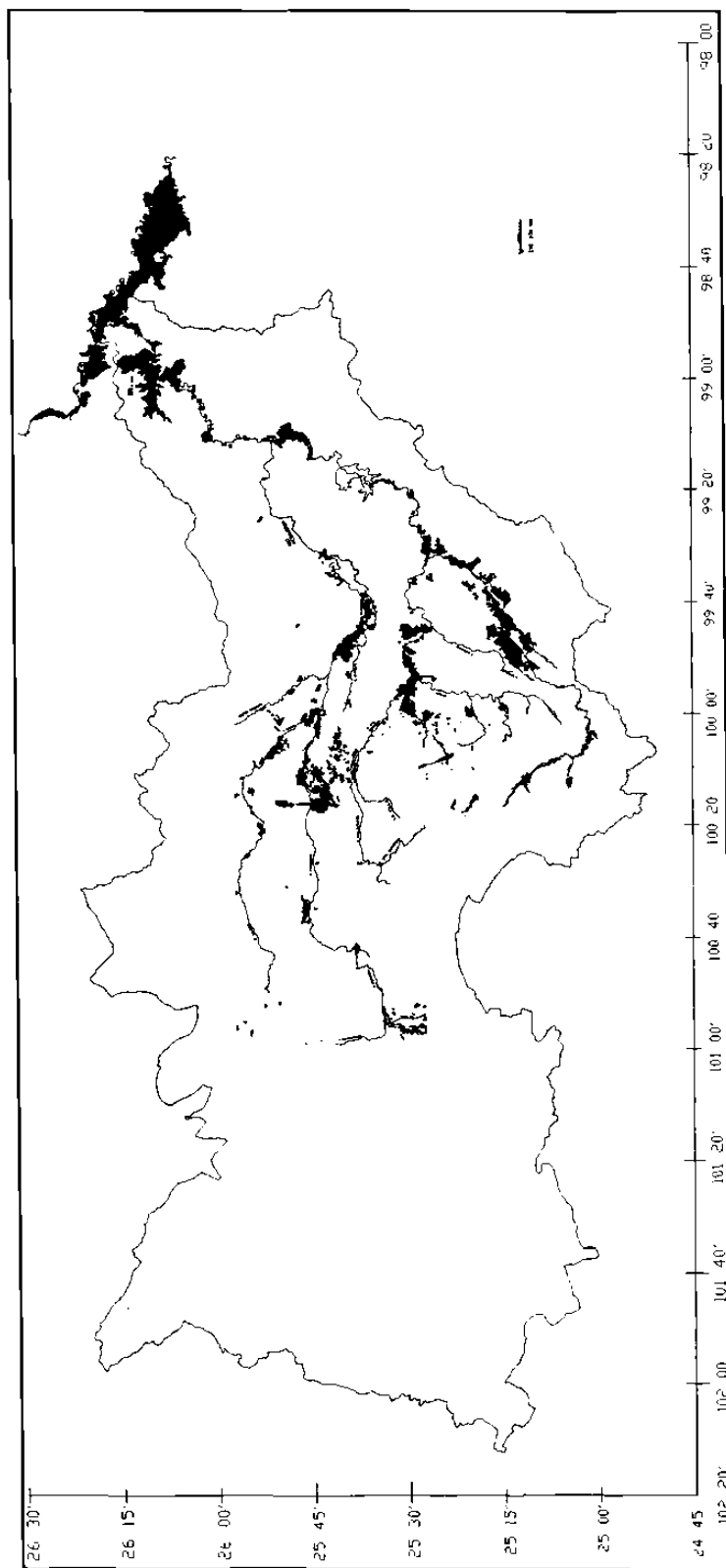
(45%) (CNA, 1998), la proporción que le corresponde al embalse 'El Cuchillo' fue utilizada para esta investigación.

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS**

#### **5.1. Determinación de la superficie agrícola irrigable de la cuenca del Río San Juan y sus variaciones temporales.**

Se estimó una superficie total de 172, 298.74 ha de agricultura irrigada en la cuenca del Río San Juan, la cual incluye 76, 205 ha correspondientes a la superficie irrigable del distrito 026 ó 'Bajo San Juan'. La superficie bajo riego está distribuida principalmente en los distritos 026, Las Lajas y Montemorelos-General Terán (Figura 1). Las superficies de agricultura de riego se agruparon en unidades mayores para poder trabajar los datos de precipitación y uso consuntivo a niveles espaciales. La superficie promedio y su desviación estándar para estas superficies fueron para maíz: 3879.8 ha y 38216.5 ha; para sorgo: 1958.6 ha y 37746.5 ha y para cítricos: 1360.4 ha y 3629.1 ha. Para todas las unidades, la superficie promedio y su desviación estándar fueron 4715.1 ha y 12805.6 ha. Es decir, existen terrenos agrícolas bajo irrigación con una amplia variedad de superficies.



**Fig. 1.** Localización de la superficie irrigada de la cuenca del Río San Juan.



En la Tabla 2 se muestran los diferentes tipos de cultivos que conforman la superficie agrícola irrigable de la cuenca, así como la superficie que cada uno de estos ocupa.

Tabla 2. Tipos de cultivos que conforman la superficie agrícola bajo irrigación de la cuenca del Río San Juan digitalizado de mapas de uso del suelo de INEGI de 1978.

<b>CULTIVO</b>	<b>KM<sup>2</sup></b>	<b>HAS</b>
RA	738.117075	73811.7075
R-PI-MB	0.123675	12.3675
RA-TA	12.433125	1243.3125
RA1	3.58035	358.035
RA1-2	13.068375	1306.8375
RA1-2-8-4	1.74495	174.495
RA1-3-4	0.973375	97.3375
RA1-4-3	0.5309	53.09
RA1-4-34-79-38	0.6562	65.62
RA1-3-2-4	16.80035	1680.035
RA3	2.04885	204.885
RA3-1	1.62235	162.235
RA3-1-4	3.8365	383.65
RAP	0.02915	2.915
RAPF	0.370325	37.0325
RAPF1-4-34-79-38	0.601975	60.1975
RASO	6.577725	657.7725
RASO1-13	2.379825	237.9825
RATPM	0.089325	8.9325
RP	0.029175	2.9175
RPA36-1-4-2	1.0725	107.25
RPA38-35-23-1	0.0868	8.68
RPF	29.759225	2975.9225
RPF15	100.960375	10096.0375
RPF15-35-54	19.3893	1938.93
RPF38	0.3583	35.83
RPF54	0.0213	2.13
RPF79-35-54	0.023825	2.3825
RPFA	0.308825	30.8825
RPFA35-54-1	0.10155	10.155
RPFA38-54-1	0.225	22.5
RSOA13-3-1-2-4	1.989575	198.9575
TP54	0.029775	2.9775
PRFA-TPFA36	0.9975	99.75
RA-3	762.05	76205
<b>SUP TOTAL</b>	<b>1722.987425</b>	<b>172298.7425</b>

*Caracterización de las Superficies Agrícolas, Volúmenes de Irrigación y sus Perspectivas a Mediano Plazo en la Cuenca del Río San Juan.*

En la Tabla 3 se muestra la descripción de las claves de los diferentes tipos de cultivos y las asociaciones entre éstos, que conforman la superficie irrigada de la cuenca.

Tabla 3. Descripción de los cultivos agrícolas bajo riego de la cuenca del Río San Juan.

CULTIVO	DESCRIPCIÓN
RA	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES
R-PM	AGRICULTURA DE RIEGO, PASTIZAL, INCLUIDO, MIXTORRAL, SUBPERMANENTE
RA-7A	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES Y AGRICULTURA TEMPORAL
RA1	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, MAÍZ
RA1-2	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, MAÍZ, FRUJOL
RA1-2-4	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, MAÍZ, FRUJOL, CEBADA, TRIGO
RA1-3-4	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, MAÍZ, SORGO, TRIGO
RA1-4-3	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, MAÍZ, TRIGO, SORGO
RA1-4-3-7-3-8	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, MAÍZ, TRIGO, CEBOLLA, GRANADA, DURAZNO
RA1-3-2-4	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, MAÍZ, SORGO, FRUJOL, TRIGO
RA3	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, SORGO
RA3-1	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, SORGO, MAÍZ
RA3-1-4	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, SORGO, MAÍZ, TRIGO
RA-P	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS ANUALES, PERMANENTES
RA-PF	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES DE FRUTALES LEROSOS
RA-PF1-4-3-7-3-8	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES DE FRUTALES LEROSOS, MAÍZ, TRIGO, CEBOLLA, GRANADA, DURAZNO
RA-30	AGRICULTURA DE RIEGO SUBCULTIVOS, OTRAS ESPECIES
RA-30-1-3	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS SEMIPERMANENTES DE OTRAS ESPECIES, MAÍZ, ALFALFA
RA-PM	AGRICULTURA DE RIEGO CON AGRICULTURA TEMPORAL, CULTIVOS PERMANENTES, MANGLEY
RP	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVO PERMANENTE
RP-30-1-4-2	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES Y CULTIVOS ANUALES, MAÍZ, TRIGO, FRUJOL
RP-30-35-2-1	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES Y CULTIVOS ANUALES, DURAZNO, AGUACATE, Jitomate, MAÍZ
RP-F	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES, FRUTALES LEROSOS
RP-F15	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES, FRUTALES LEROSOS, NARANJA
RP-F15-35-54	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES, FRUTALES LEROSOS, NARANJA, AGUACATE, NOGAL
RP-F38	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES, FRUTALES LEROSOS, DURAZNO
RP-F54	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES, FRUTALES LEROSOS, NOGAL
RP-F70-35-54	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES, FRUTALES LEROSOS, GRANADA
RP-FA	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES, FRUTALES LEROSOS, Y CULTIVO ANUAL
RP-FA05-54-1	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES, FRUTALES LEROSOS, CON CULTIVOS ANUALES, AGUACATE, NOGAL Y MAÍZ
RP-FA08-54-1	AGRICULTURA DE RIEGO CON CULTIVOS PERMANENTES, FRUTALES LEROSOS, CON CULTIVOS ANUALES, DURAZNO, NOGAL Y MAÍZ
RS-3-1-2-4	RIEGO DE CULTIVO SEMIPERMANENTE DE OTRAS ESPECIES Y CULTIVOS ANUALES DE ALFALFA, SORGO, MAÍZ, FRUJOL, TRIGO
TP-F	AGRICULTURA TEMPORAL, FRUTALES LEROSOS, NOGAL
RP-FA-TP-F-38	CULTIVOS PERMANENTES, RIEGO DE FRUTALES Y CULTIVOS ANUALES, CON AGRICULTURA TEMPORAL, Y PERMANENTE, FRUTALES LEROSOS, CULTIVOS ANUALES DE MAÍZ

Los tipos de cultivos más comunes que conforman la superficie agrícola irrigada de la cuenca son: maíz, sorgo y cítricos principalmente. En algunas áreas los cultivos suelen encontrarse asociados con otros tipos de cultivo pero predominan los tres mencionados anteriormente. En total, el sorgo cubre una superficie de 76, 527 ha, el maíz 74, 169 ha, cítricos 15, 010.89 ha y otros cultivos con 6, 592 ha; con porcentajes de superficie de 44, 43, 9 y 4%, respectivamente.

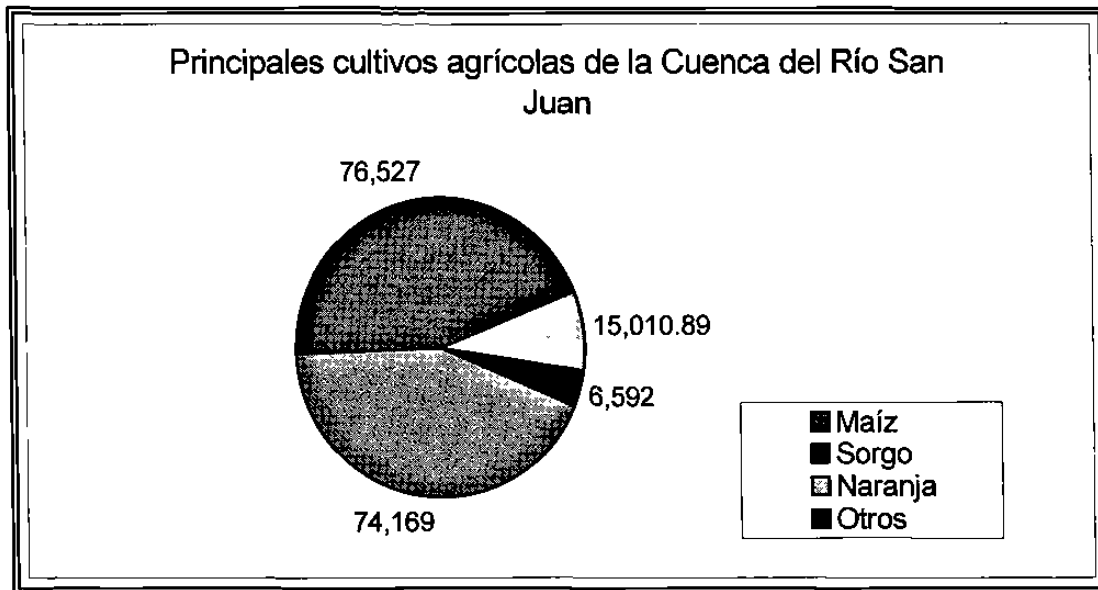


Fig. 2. Cultivos más populares de la superficie agrícola irrigada de la cuenca del Río San Juan digitalizado con información de INEGI de 1978.

Las superficies agrícolas para el distrito de riego 'Bajo San Juan' muestran una oscilación desde las 80,000 ha en los 1980's hasta las 15,000 ha en los 1990's. La disminución en las superficies irrigadas se debe a dos factores fundamentales que se pueden apreciar parcialmente en la figura 3. La construcción del embalse 'El Cuchillo' el cual fue cerrado en agosto de 1992 y la sequía iniciada desde 1989. La disminución de la superficie irrigada disminuye desde 1990, antes de la construcción del embalse. Los 1990's han mostrado una tendencia hacia la baja en las precipitaciones y gastos mensuales en relación con sus promedios históricos (Návar, 1999).

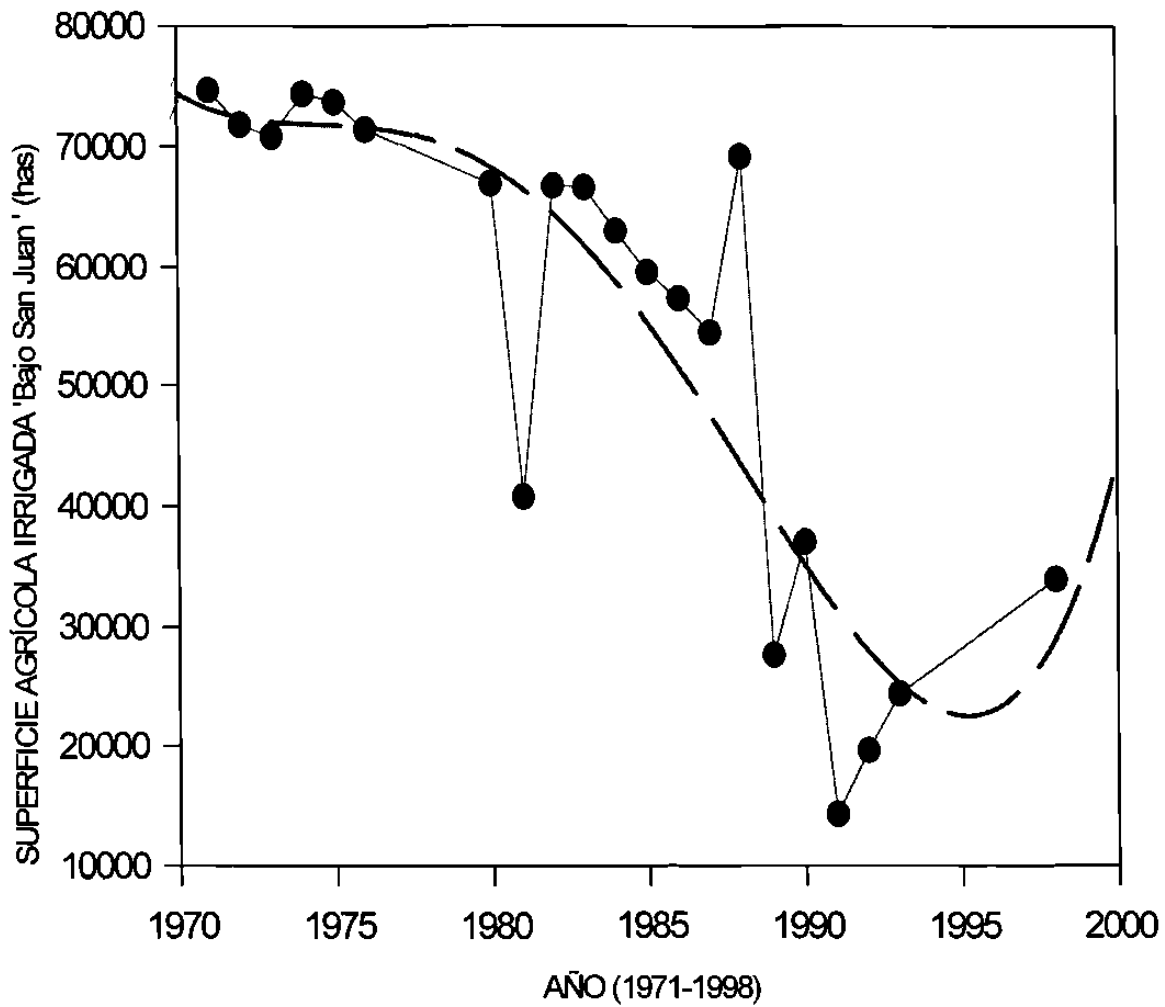


Figura 3. Superficie agrícola irrigada en el Distrito de Riego 'Bajo San Juan' (Fuentes de Información: Comisión Internacional de Límites y Aguas, 1980-1994; SARH, 1981; Distrito de Riego 'Bajo San Juan').

## **5.2. Determinación de las precipitaciones con tres probabilidades para las estaciones climáticas de la cuenca del Río San Juan para los ciclos de crecimiento.**

### **5.2.1. Determinación de las precipitaciones.**

De las ocho distribuciones probadas, la exponencial y la gamma con estimación de parámetros por máxima verosimilitud<sup>1</sup> y máxima verosimilitud<sup>2</sup> presentaron el mejor ajuste, con un 60.49%, 63.25% y 62.5% de aceptación de  $H_0$ , respectivamente (Figura 4).

Por su facilidad en estimar parámetros, su rapidez y flexibilidad, la distribución gamma con procedimiento de estimación de parámetros de máxima verosimilitud <sup>1</sup> se utilizó para realizar las predicciones de la precipitación mensual con tres probabilidades: 20, 50 y 80% de ocurrencia.

Las probabilidades estimadas al 20, 50 y 80% no son tampoco tan críticas en ajustes distribucionales más rigurosos donde la ocurrencia de precipitaciones de mayor envergadura son importantes.

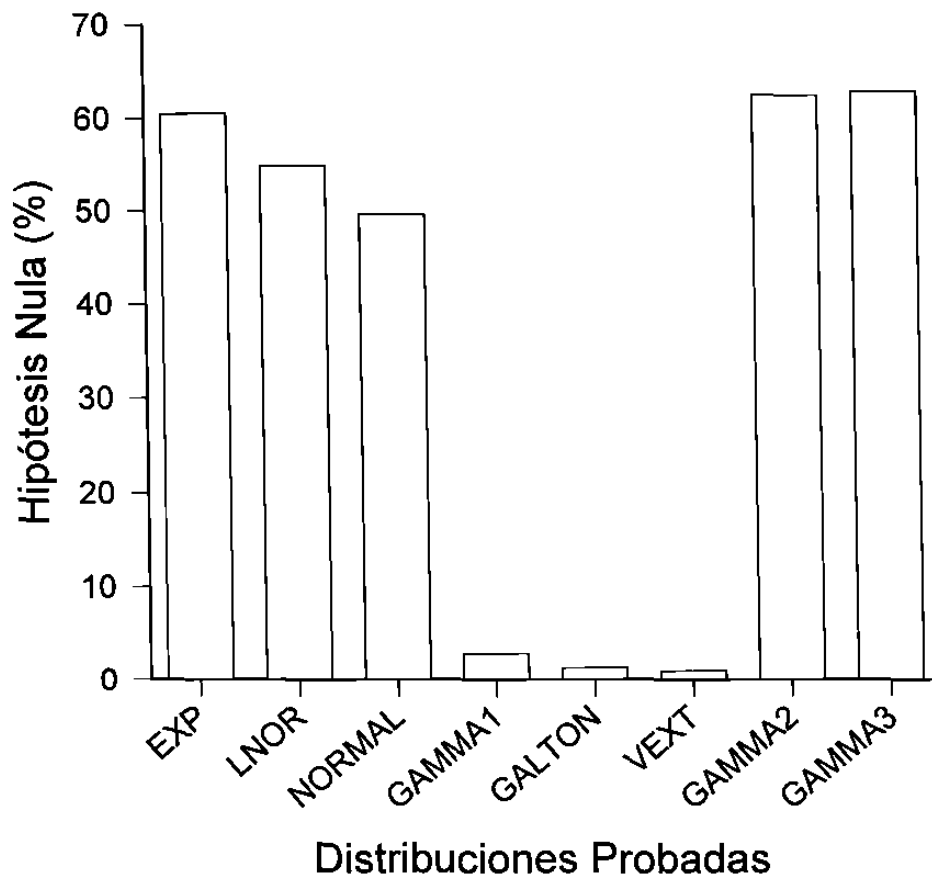


Fig. 4. Resultados de las pruebas de bondad de ajuste de las distribuciones probadas.

### **5.2.2. Precipitaciones con tres probabilidades de ocurrencia en la Cuenca del Río San Juan.**

Las precipitaciones estimadas por la distribución gamma para las tres probabilidades (50, 20 y 80% de excedencia) para todos los meses de crecimiento de los cultivos presentaron promedios y desviaciones estándares para los meses cuando se cultiva el maíz fueron de: 271 mm y 100 mm; 86 mm y 96mm y 834 mm y 232 mm. Para el sorgo, para todos los meses de crecimiento en el año, las precipitaciones promedio y sus desviaciones estándar fueron de: 240 mm y 122 mm; 75 mm y 47 mm y 924 mm y 270 mm. Para los cítricos, para todos los meses de crecimiento, las precipitaciones promedio y sus desviaciones estándar fueron de: 233 mm y 66 mm; 44 mm y 26 mm y 813 mm y 213 mm. En promedio las precipitaciones estimadas para el sorgo son mayores que aquellas estimadas para maíz y cítricos. Esto se debe a que el sorgo se cultivaba en 1978 en zonas climáticas con las mayores precipitaciones y a que los tiempos de cultivo son mayores.



Tabla 4. Precipitaciones totales para dos ciclos de cultivo estimadas por la distribución gamma con un 50% de probabilidad para 25 estaciones climáticas, con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.

<b>UNIDAD DE RIEGO</b>	<b>MAIZ Prec. Prom (mm)</b>	<b>SORGO Prec. Prom (mm)</b>	<b>CITRICOS Prec. Prom (mm)</b>
AGUA BLANCA	148.31	187.86	167.51
CH. INDIO	148.31	187.86	167.51
R. ARIZPE	143.10	96.90	158.20
RINCONADA	143.10	96.90	158.20
MINA	161.80	96.03	136.33
S. VICTORIA	234.30	214.10	203.30
S. CATARINA	223.25	88.67	188.15
MARIN	319.50	364.75	273.95
LA ARENA	325.60	369.00	264.80
DR. GONZÁLEZ	325.60	369.00	264.80
APODACA	281.25	231.30	231.30
S. MA. FLOREÑA	334.80	149.60	275.10
TEPEHUAJE	473.67	478.13	365.73
LA CIENEGA	311.55	122.85	259.15
LOS HERRERAS	241.43	276.07	213.57
LOS ALDAMAS	218.00	261.90	225.20
LAS ENRAMADAS	300.50	337.10	264.30
CASILLAS	232.90	209.70	235.65
MONTEMORELOS	457.60	192.00	380.10
DISTRITO 026	388.19	467.58	-----
<b>PROMEDIO</b>	<b>271.00</b>	<b>240.00</b>	<b>233.00</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>100.00</b>	<b>122.00</b>	<b>66.00</b>

La precipitación promedio con un 50% de probabilidad de ocurrencia estimada por la distribución gamma para la época de crecimiento para el maíz fue de 270 mm, para sorgo fue de 239 mm y para cítricos fue de 233 mm

(Tabla 4). Estas precipitaciones son bajas en contraste con las evaporaciones registradas en los evaporímetros de la cuenca.

Tabla 5. Precipitaciones totales para dos ciclos de cultivo estimadas por la distribución gamma con un 20% de probabilidad de ocurrencia para 25 estaciones climáticas descritas, con mas de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego.

<b>UNIDAD DE RIEGO</b>	<b>MAIZ Prec. Prom. (mm)</b>	<b>SORGO Prec. Prom. (mm)</b>	<b>CITRICOS Prec. Prom. (mm)</b>
AGUA BLANCA	31.95	34.85	24.70
CH. INDIO	31.95	34.85	24.70
R. ARIZPE	13.80	15.51	13.21
RINCONADA	13.80	15.51	13.21
MINA	43.24	46.14	26.71
S. VICTORIA	55.56	61.56	38.56
S. CATARINA	57.50	40.41	28.93
MARIN	99.65	111.30	69.85
LA ARENA	107.80	115.40	57.50
DR. GONZÁLEZ	107.80	115.40	57.50
APODACA	76.65	82.40	42.40
S. MA. FLOREÑA	98.40	107.50	64.50
TEPEHUAJE	173.00	182.57	96.97
LA CIENEGA	110.95	120.65	74.60
LOS HERRERAS	49.93	54.77	32.87
LOS ALDAMAS	30.00	34.10	24.70
LAS ENRAMADAS	34.60	38.80	23.40
CASILLAS	43.50	48.25	30.65
MONTEMORELOS	457.60	149.40	97.60
DISTRITO 026	81.25	99.98	-----
<b>PROMEDIO</b>	<b>86.00</b>	<b>75.00</b>	<b>44.00</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>96.00</b>	<b>47.00</b>	<b>26.00</b>

La precipitación promedio con un 20% de probabilidad de ocurrencia estimada por la distribución gamma para la época de crecimiento para el maíz fue 86 mm, para sorgo fue de 75 mm y para cítricos fue de 44 mm (Tabla 5). Estas precipitaciones disminuyen en contraste con aquellas estimadas para el 50% de probabilidad de ocurrencia, sin embargo se presentan exclusivamente en 4 de cada 5 años. Estas estimaciones son aproximadamente 1/20 las evaporaciones registradas en los evaporímetros de la cuenca.

Tabla 6. Precipitaciones totales para dos ciclos de cultivo estimadas por la distribución gamma con un 20% de probabilidad de excedencia para 25 estaciones climáticas, con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.

<b>UNIDAD DE RIEGO</b>	<b>MAIZ Prec. Prom. (mm)</b>	<b>SORGO Prec. Prom. (mm)</b>	<b>CITRICOS Prec. Prom. (mm)</b>
AGUA BLANCA	414.40	484.05	428.35
CH. INDIO	414.40	484.05	428.35
R. ARIZPE	729.60	766.60	666.50
RINCONADA	729.60	766.60	666.50
MINA	567.50	685.50	595.63
S. VICTORIA	756.05	897.60	773.10
S. CATARINA	707.58	649.42	673.85
MARIN	795.75	459.35	756.10
LA ARENA	874.90	1027.00	866.90
DR. GONZÁLEZ	874.90	1027.00	866.90
APODACA	866.10	1030.15	861.05
S. MA. FLOREÑA	897.20	1012.10	892.50
TEPEHUAJE	1085.97	1288.60	1036.20
LA CIENEGA	793.90	982.85	828.60
LOS HERRERAS	851.60	1017.43	935.20
LOS ALDAMAS	853.90	1235.10	1105.80
LAS ENRAMADAS	1198.30	1414.00	1296.50
CASILLAS	746.75	870.85	740.65
MONTEMORELOS	1114.40	1259.50	1025.90
DISTRITO 026	1397.85	1121.00	-----
<b>PROMEDIO</b>	<b>834.00</b>	<b>924.00</b>	<b>813.00</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>232.00</b>	<b>270.00</b>	<b>213.00</b>

La precipitación promedio con un 20% de probabilidad de excedencia estimada por la distribución gamma para la época de crecimiento para el maíz fue 834 mm, para sorgo fue de 924 mm y para cítricos fue de 813 mm (Tabla 6). Estas precipitaciones se incrementan en contraste con aquellas estimadas para el 50% y el 80% de probabilidad de ocurrencia, sin embargo estas se

presentan también exclusivamente en 1 de cada 5 años. Estas estimaciones son aún entre 1/2 y 1/3 de las evaporaciones registradas en los evaporímetros de la cuenca.

### **5.3. Usos consuntivos estimados para las superficies agrícolas irrigadas de la cuenca del Río San Juan.**

Los resultados de la estimación de los usos consuntivos para dos ciclos de crecimiento para los cultivos maíz, sorgo y cítricos estimados para 54 estaciones climatológicas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan indicaron que como promedio se utilizan 983.5 mm para regar los tres cultivos. Esta cantidad sobrepasa las precipitaciones promedio estimadas para cualquiera de las probabilidades seleccionadas.

Para el maíz, el uso consuntivo promedio y su desviación estándar oscilaron en 990.7 mm y 46.36 mm, respectivamente. La unidad de riego denominada Santa María 'La Floreña' presenta el uso consuntivo máximo con 1116 mm mientras que la unidad de riego 'La Ciénega' presentó sólo 901 mm (Tabla 7). La primera unidad se encuentra sobre el río Pesquería antes del poblado 'Los Ramones' y la segunda en el área de 'Laguna de Sánchez' al oeste de 'La Boca'. Las diferencias en las temperaturas promedio determinan estas diferencias en los usos consuntivos.

Tabla 7. Uso consuntivo para maíz estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.

<b>UNIDAD DE RIEGO</b>	<b>USO CONS. PROM. (mm)</b>
AGUA BLANCA	956.7
CH. INDIO	956.7
R. ARIZPE	944.5
RINCONADA	944.5
MINA	968.5
S. VICTORIA	1002.4
S. CATARINA	971.7
MARIN	991.3
LA ARENA	1004.7
DR. GONZÁLEZ	1009.5
APODACA	1004.1
S. MA. FLOREÑA	1116.1
TEPEHUAJE	970.0
LA CIENEGA	901.5
LOS HERRERAS	1007.6
LOS ALDAMAS	1020.8
LAS ENRAMADAS	1030.0
CASILLAS	952.2
MONTEMORELOS	1008.4
DISTRITO 026	1053.2
<b>Promedio</b>	<b>990.70</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>46.36</b>
<b>Máximo</b>	<b>1116.00</b>
<b>Mínimo</b>	<b>901.00</b>

Para el sorgo, el uso consuntivo promedio y su desviación estándar oscilan en los 1131 mm y 82 mm, respectivamente. La unidad de riego Santa María 'La Floreña' presenta el uso consuntivo mayor con 1295 mm, mientras que la unidad de riego Mina presenta el menor uso consuntivo con 864 mm (Tabla 8).

Tabla 8. Uso consuntivo para sorgo estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.

UNIDAD DE RIEGO	USO CONS. PROM. (mm)
AGUA BLANCA	1103.2
CH. INDIO	1103.2
R. ARIZPE	1091.6
RINCONADA	1091.6
MINA	864.4
S. VICTORIA	1159.7
S. CATARINA	1121.3
MARIN	1143.8
LA ARENA	1158.9
DR. GONZÁLEZ	1164.5
APODACA	1158.0
S. MA. FLOREÑA	1295.5
TEPEHUAJE	1120.1
LA CIENEGA	1041.8
LOS HERRERAS	1162.7
LOS ALDAMAS	1175.0
LAS ENRAMADAS	1188.7
CASILLAS	1098.1
MONTEMORELOS	1164.4
DISTRITO 026	1216.0
<b>Promedio</b>	<b>1131.00</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>82.00</b>
<b>Máximo</b>	<b>1295.00</b>
<b>Mínimo</b>	<b>864.00</b>

Para los cítricos, el uso consuntivo promedio y su desviación estándar fueron 829 mm y 38 mm, respectivamente. Las unidades de riego 'Montemorelos' y 'La Ciénega' presentaron los usos consuntivos máximos (847 mm) y mínimos (760 mm), respectivamente (Tabla 9).

Tabla 9. Uso consuntivo para cítricos estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan y localizadas para las unidades de riego descritas.

<b>UNIDAD DE RIEGO</b>	<b>USO CONS PROM. (mm)</b>
AGUA BLANCA	804.1
CH. INDIO	804.1
R. ARIZPE	798.4
RINCONADA	798.4
MINA	811.7
S. VICTORIA	845.0
S. CATARINA	817.5
MARIN	832.2
LA ARENA	842.8
DR. GONZÁLEZ	847.0
APODACA	842.6
S. MA. FLOREÑA	945.1
TEPEHUAJE	815.0
LA CIENEGA	760.2
ALLENDE	800.8
LOS HERRERAS	844.8
LOS ALDAMAS	851.9
LAS ENRAMADAS	865.5
CASILLAS	801.4
MONTEMORELOS	847.3
<b>Promedio</b>	<b>829.00</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>38.00</b>
<b>Máximo</b>	<b>847.00</b>
<b>Mínimo</b>	<b>760.00</b>



#### **5.4. Volúmenes de agua necesarios para regar la superficie agrícola de la Cuenca del Río San Juan.**

Los déficits de agua necesarios para complementar los requerimientos de irrigación de los cultivos para el maíz, con lluvias predichas con un 50% de probabilidad, tuvieron promedio y desviación estándar de 27.5 Mm<sup>3</sup> y 26.4 Mm<sup>3</sup>, respectivamente (Tabla 10). Para el sorgo, los déficits de agua se reportan en promedio y desviación estándar como 147.2 Mm<sup>3</sup> y 282 Mm<sup>3</sup>, respectivamente. Para los cítricos, el déficit promedio y desviación estándar se registraron como 6.4 Mm<sup>3</sup> y 16.8 Mm<sup>3</sup>, respectivamente. Los déficits totales ascienden para maíz a 524 Mm<sup>3</sup>, para sorgo a 682 Mm<sup>3</sup> y para cítricos a 112 Mm<sup>3</sup>, con un total de 1319 Mm<sup>3</sup> año. El déficit total de agua para irrigación es mayor que caudal de descarga promedio registrado en el Río San Juan en la estación 'Los Aldamas' (Návar, 1999).

Tabla 10. Déficit de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para tres cultivos comunes dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitación estimada con un 50% de probabilidad.

UNIDAD DE RIEGO	MAIZ (Mm <sup>3</sup> )	SORGO (Mm <sup>3</sup> )	CITRICOS (Mm <sup>3</sup> )
AGUA BLANCA	6.53	-----	-----
CH. INDIO	8.11	-----	-----
R. ARIZPE	22.45	-----	1.57
RINCONADA	13.95	-----	1.04
MINA	20.92	-----	0.72
S. VICTORIA	19.25	-----	0.02
S. CATARINA	0.57	-----	-----
MARIN	23.07	-----	0.06
LA ARENA	28.34	-----	0.00
DR. GONZÁLEZ	2.05	-----	-----
APODACA	88.59	-----	0.75
S. MA. FLOREÑA	80.83	6.46	0.21
TEPEHUAJE	53.47	4.66	15.65
LA CIENEGA	0.58	-----	1.04
LOS HERRERAS	60.07	7.52	-----
LOS ALDAMAS	22.16	-----	-----
LAS ENRAMADAS	46.20	-----	1.17
CASILLAS	24.16	-----	0.50
MONTEMORELOS	2.84	-----	60.87
DISTRITO 026	-----	570.31	-----
<b>PROMEDIO</b>	<b>27.59</b>	<b>147.24</b>	<b>6.43</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>26.42</b>	<b>282.05</b>	<b>16.88</b>
<b>TOT. EN LA CUENCA</b>	<b>524.14</b>	<b>589.00</b>	<b>84.00</b>

Los déficits de agua para complementar los requerimientos de irrigación de los cultivos para el maíz, con lluvias predichas con un 80% de probabilidad de excedencia, tuvieron promedio y desviación estándar de 35.9 Mm<sup>3</sup> y 35.5 Mm<sup>3</sup>, respectivamente (Tabla 11). Para el sorgo, los déficits de agua se reportan en promedio y desviación estándar como 218 Mm<sup>3</sup> y 421 Mm<sup>3</sup>,

respectivamente. Para los cítricos, el déficit promedio y desviación estándar se registraron como 10.1 Mm<sup>3</sup> y 27.1 Mm<sup>3</sup>, respectivamente. Los déficits totales ascienden para maíz a 682 Mm<sup>3</sup>, para sorgo a 873 Mm<sup>3</sup> y para cítricos a 132 Mm<sup>3</sup>, con un total de 1688 Mm<sup>3</sup> año. El déficit total de agua para irrigación se incrementa en un 36% en contraste con el caudal de descarga promedio registrado en el Río San Juan en la estación 'Los Aldamas' y hasta 41% en contraste con el agua requerida en condiciones promedio.

Tabla 11. Déficits de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para tres cultivos comunes dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitación estimada con un 80% de probabilidad de ocurrencia.

<b>UNIDAD DE RIEGO</b>	<b>MAIZ (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>SORGO (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>CITRICOS (Mm<sup>3</sup>)</b>
AGUA BLANCA	7.47	-----	-----
CH. INDIO	9.28	-----	-----
R. ARIZPE	26.07	-----	1.92
RINCONADA	16.20	-----	1.27
MINA	24.00	-----	0.83
S. VICTORIA	23.74	-----	0.02
S. CATARINA	0.69	-----	-----
MARIN	30.62	-----	0.07
LA ARENA	37.43	-----	0.00
DR. GONZÁLEZ	2.70	-----	-----
APODACA	113.66	-----	0.97
S. MA. FLOREÑA	105.28	6.69	0.27
TEPEHUAJE	0.00	6.79	25.01
LA CIENEGA	0.78	-----	1.42
LOS HERRERAS	75.09	9.40	-----
LOS ALDAMAS	27.34	-----	-----
LAS ENRAMADAS	63.04	-----	1.63
CASILLAS	30.53	-----	0.68
MONTEMORELOS	0.00	-----	97.67
DISTRITO 026	-----	850.44	-----
<b>PROMEDIO</b>	<b>31.00</b>	<b>8.00</b>	<b>10.14</b>
<b>DÉSV. EST.</b>	<b>34.00</b>	<b>421.41</b>	<b>27.14</b>
<b>TOT. EN LA CUENCA</b>	<b>594.00</b>	<b>873.00</b>	<b>132.00</b>

Los déficits de agua para complementar los requerimientos de irrigación de los cultivos para el maíz, con lluvias predichas con un 80% de probabilidad de ocurrencia, tuvieron promedio y desviación estándar de 5.9 Mm<sup>3</sup> y 6.1 Mm<sup>3</sup>, respectivamente (Tabla 12). Para el sorgo, los déficits de agua se reportan en promedio y desviación estándar como 18.8 Mm<sup>3</sup> y 35.7 Mm<sup>3</sup>, respectivamente.

Para los cítricos, el déficit promedio y desviación estándar se registraron como 0.07 Mm<sup>3</sup> y 0.11 Mm<sup>3</sup>, respectivamente. Los déficits totales ascienden para maíz a 112 Mm<sup>3</sup>, para sorgo a 75 Mm<sup>3</sup> y para cítricos a 0.86 Mm<sup>3</sup>, con un total de 188 Mm<sup>3</sup> año.

El déficit total de agua para irrigación se reduce en 85% con respecto al caudal de agua promedio medido en 'Los Aldamas', N.L. Esta cantidad se reduce también en 84% y en 89% para los déficits estimados con lluvias con probabilidades de ocurrencia del 50y 80%, respectivamente.

Tabla 12. Déficits de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para tres cultivos comunes dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitación estimada con un 20% de probabilidad excedencia.

<b>UNIDAD DE RIEGO</b>	<b>MAIZ (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>SORGO (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>CITRICOS (Mm<sup>3</sup>)</b>
AGUA BLANCA	4.382	-----	-----
CH. INDIO	5.441	-----	-----
R. ARIZPE	6.019	-----	0.3240
RINCONADA	3.740	-----	0.2145
MINA	10.401	-----	0.2299
S. VICTORIA	6.176	-----	0.0025
S. CATARINA	0.200	-----	-----
MARIN	6.716	-----	0.0154
LA ARENA	5.418	-----	0.0000
DR. GONZÁLEZ	0.403	-----	-----
APODACA	16.915	-----	0.0000
S. MA. FLOREÑA	22.645	1.597	0.0166
TEPEHUAJE	0.000	0.000	0.0000
LA CIENEGA	0.106	-----	0.0000
LOS HERRERAS	12.231	1.232	-----
LOS ALDAMAS	4.606	-----	-----
LAS ENRAMADAS	0.000	-----	0.0000
CASILLAS	6.903	-----	0.0538
MONTEMORELOS	0.000	-----	0.0000
DISTRITO 026	-----	72.372	-----
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.91</b>	<b>18.80</b>	<b>0.07</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>6.12</b>	<b>35.72</b>	<b>0.11</b>
<b>TOT. EN LA CUENCA</b>	<b>112.30</b>	<b>75.20</b>	<b>0.86</b>

En ocasiones en las unidades de riego de la cuenca cambian los cultivos por razones de falta de agua, justificaciones económicas, etc. Por esta razón, se estimaron los déficits de agua bajo el escenario de qué pasaría con el volumen de agua necesario para regar la superficie agrícola si todos los cultivos anuales fueran de un solo tipo; maíz o sorgo.

Para el caso de maíz, incluyendo los cítricos, el déficit de agua para toda la cuenca sería de  $1069 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ ,  $1560 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ , y  $114 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  para precipitaciones presentadas con el 50%, 20% y 80% de ocurrencia, respectivamente (Tabla 13).

Para el caso de plantar exclusivamente sorgo, incluyendo los cítricos en sus áreas correspondientes, el déficit de agua se incrementa hasta  $1326 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ ,  $1793 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  y  $207 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  para precipitaciones estimadas con el 50%, 20% y 80% de ocurrencia, respectivamente (Tabla 14). Los déficits incrementan en  $257 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ ,  $233 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  y  $93 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  para las precipitaciones presentadas con probabilidades de ocurrencia de 50, 20 y 80%, respectivamente en contraste con el área cultivada con maíz y cítricos. Estos volúmenes incrementaron en 22, 20 y 8% en contraste con los déficits para condiciones de los tres cultivos comunes en la cuenca del Río San Juan.

*Caracterización de las Superficies Agrícolas, Volúmenes de Irrigación y sus Perspectivas a Mediano Plazo en la Cuenca del Río San Juan.*

Tabla 13. Déficits de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para maíz y cítricos dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitaciones estimadas con un 50, 20 y 80% de probabilidad de excedencia.

<b>UNIDAD DE RIEGO</b>	<b>MAIZ 50% PROB (Mm³)</b>	<b>MAIZ 20% PROB (Mm³)</b>	<b>MAIZ 80% PROB (Mm³)</b>
AGUA BLANCA	6.53	7.47	4.38
CH. INDIO	8.11	9.28	5.44
R. ARIZPE	22.45	26.07	6.02
RINCONADA	13.95	16.20	3.74
MINA	20.92	24.00	10.40
S. VICTORIA	19.25	23.74	6.18
S. CATARINA	0.57	0.69	0.20
MARIN	23.07	30.62	6.72
LA ARENA	28.34	37.43	5.42
DR. GONZÁLEZ	2.05	2.70	0.40
APODACA	88.59	113.66	16.91
S. MA. FLOREÑA	80.83	105.28	22.64
TEPEHUAJE	53.47	85.86	0.00
LA CIENEGA	0.58	0.78	0.11
LOS HERRERAS	60.07	75.09	12.23
LOS ALDAMAS	22.16	27.34	4.61
LAS ENRAMADAS	46.20	63.04	0.00
CASILLAS	24.16	30.53	6.90
MONTEMORELOS	2.84	2.84	0.00
S. MA. FLOREÑA	5.45	5.68	0.59
TEPEHUAJE	3.57	5.71	0.00
LOS HERRERAS	6.21	8.08	0.00
DISTRITO 026	446.23	726.36	0.00
	<b>CITRICOS</b>	<b>CITRICOS</b>	<b>CITRICOS</b>
R. ARIZPE	1.57	1.93	0.32
RINCONADA	1.04	1.28	0.21
MINA	0.72	0.84	0.23
S. VICTORIA	0.02	0.03	0.00
MARIN	0.06	0.08	0.02
LA ARENA	0.00	0.00	0.00
APODACA	0.75	0.98	0.00
S. MA. FLOREÑA	0.21	0.28	0.02
TEPEHUAJE	15.65	25.01	0.00
LA CIENEGA	1.04	1.42	0.00
LAS ENRAMADAS	1.17	1.64	0.00
CASILLAS	0.50	0.68	0.05
MONTEMORELOS	60.87	97.67	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>1069.20</b>	<b>1560.29</b>	<b>113.74</b>



Tabla 14. Déficits de agua para irrigar la superficie agrícola por unidad de riego para sorgo y cítricos dentro de la cuenca del Río San Juan con precipitaciones estimadas con un 50, 20 y 80% de probabilidad de excedencia.

UNIDAD DE RIEGO	SORGO 50% PROB (Mm <sup>3</sup> )	SORGO 20% PROB (Mm <sup>3</sup> )	SORGO 80% PROB (Mm <sup>3</sup> )
AGUA BLANCA	7.40	8.63	5.00
CH. INDIO	9.18	10.72	6.21
R. ARIZPÉ	27.86	30.14	9.10
RINCONADA	17.31	18.73	5.66
MINA	19.93	21.23	4.64
S. VICTORIA	23.70	27.53	6.57
S. CATARINA	0.78	0.82	0.36
MARIN	26.76	35.46	23.51
LA ARENA	32.96	43.54	5.50
DR. GONZÁLEZ	2.38	3.14	0.41
APODACA	113.57	131.82	15.67
S. MA. FLOREÑA	118.55	122.91	29.32
TEPEHUAJE	69.16	101.00	0.00
LA CIENEGA	0.90	0.91	0.06
LOS HERRERAS	69.52	86.87	11.39
LOS ALDAMAS	25.20	31.49	0.00
LAS ENRAMADAS	53.93	72.82	0.00
CASILLAS	29.84	35.27	7.63
MONTEMORELOS	5.01	5.23	0.00
S. MA. FLOREÑA	6.46	6.70	1.60
TEPEHUAJE	4.66	6.80	0.00
LOS HERRERAS	7.52	9.40	1.23
DISTRITO 026	570.31	850.44	72.37
	<b>CITRICOS</b>	<b>CITRICOS</b>	<b>CITRICOS</b>
R. ARIZPE	1.57	1.93	0.32
RINCONADA	1.04	1.28	0.21
MINA	0.72	0.84	0.23
S. VICTORIA	0.02	0.03	0.00
MARIN	0.06	0.08	0.02
LA ARENA	0.00	0.00	0.00
APODACA	0.75	0.98	0.00
S. MA. FLOREÑA	0.21	0.28	0.02
TEPEHUAJE	15.65	25.01	0.00
LA CIENEGA	1.04	1.42	0.00
LAS ENRAMADAS	1.17	1.64	0.00
CASILLAS	0.50	0.68	0.05
MONTEMORELOS	60.87	97.67	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>1326.50</b>	<b>1793.41</b>	<b>207.10</b>

### **5.5. Determinación de escenarios futuros de la superficie agrícola con riego del Distrito 026 o 'Bajo san Juan'.**

#### **La Sequía Histórica y La Hidrología Normal.**

Un periodo de hidrología normal se observa de 1939 a 1948, enfatizando ciclos anuales y posiblemente bianuales (Figura 5). Una periodo seco en precipitación y gasto se manifiesta desde 1949 a 1965. Se observa también una tendencia a incrementar la precipitación y el gasto mensual desde 1965 hasta finales de los 1970. El ciclo parece regresar a un periodo de normalidad desde 1978 hasta 1990 para regresar a otro periodo seco iniciando a principios de 1990. Es probable entonces que la tendencia hacia la sequía continuará hasta mediados de la próxima década, si es que el ciclo de la presente sequía se asemeja al ciclo de la sequía de los 50's.

Los resultados del balance hidrológico retrospectivo mostraron que el embalse 'El Cuchillo' se encuentra consistentemente a su nivel máximo de almacenamiento ordinario (NAMO) y a media capacidad en los periodos húmedos y secos discutidos anteriormente (Figura 6). Es decir, los almacenamientos también fluctúan en función de los ciclos mencionados. Los periodos húmedos se observan desde 1939 hasta 1948 y de 1966 hasta 1979, Los periodos secos se observan desde 1948 hasta 1964 y desde 1989

hasta el presente. Los gastos de entrada y los almacenamientos promedio para toda la escala de tiempo fueron  $49$  y  $729 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$ , con desviaciones estándar de  $101$  y  $285 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$ , respectivamente.

La sequía histórica registrada propuesta fue aquella que ocurrió de 1949 a 1965 y el periodo de hidrología normal fue aquel que ocurrió de 1979 a 1992. Las características hidrológicas para la sequía histórica registrada (1948-1963) y para la hidrología normal (1978-1992) tuvieron las estadísticas de precipitación y gasto mensual promedio de  $38 \text{ mm}$  y  $43 \text{ mm}$ ; y  $35 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$  y  $48 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$ , respectivamente.

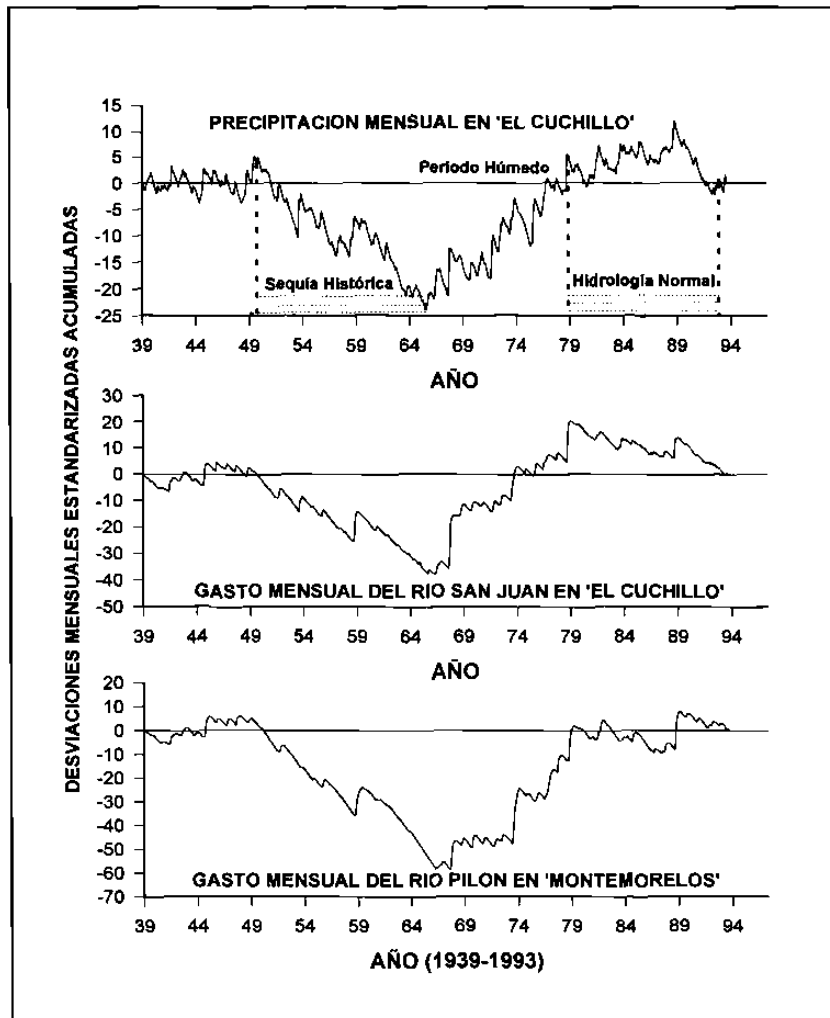


Figura 5. Detección de ciclos secos, normales y húmedos en algunas estaciones hidroclimáticas de la cuenca del Río San Juan.

Una reducción de 5 mm en la precipitación mensual resultó en una disminución de  $13 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$  de gasto. Esto pudo haber sido el resultado de los cambios en la frecuencia e intensidad de la precipitación en lugar de la cantidad total. La descarga estimada promedio es similar a la descarga promedio estimada para el periodo de hidrología normal indicando la

consistencia entre ambos promedios y la representatividad de las condiciones normales.

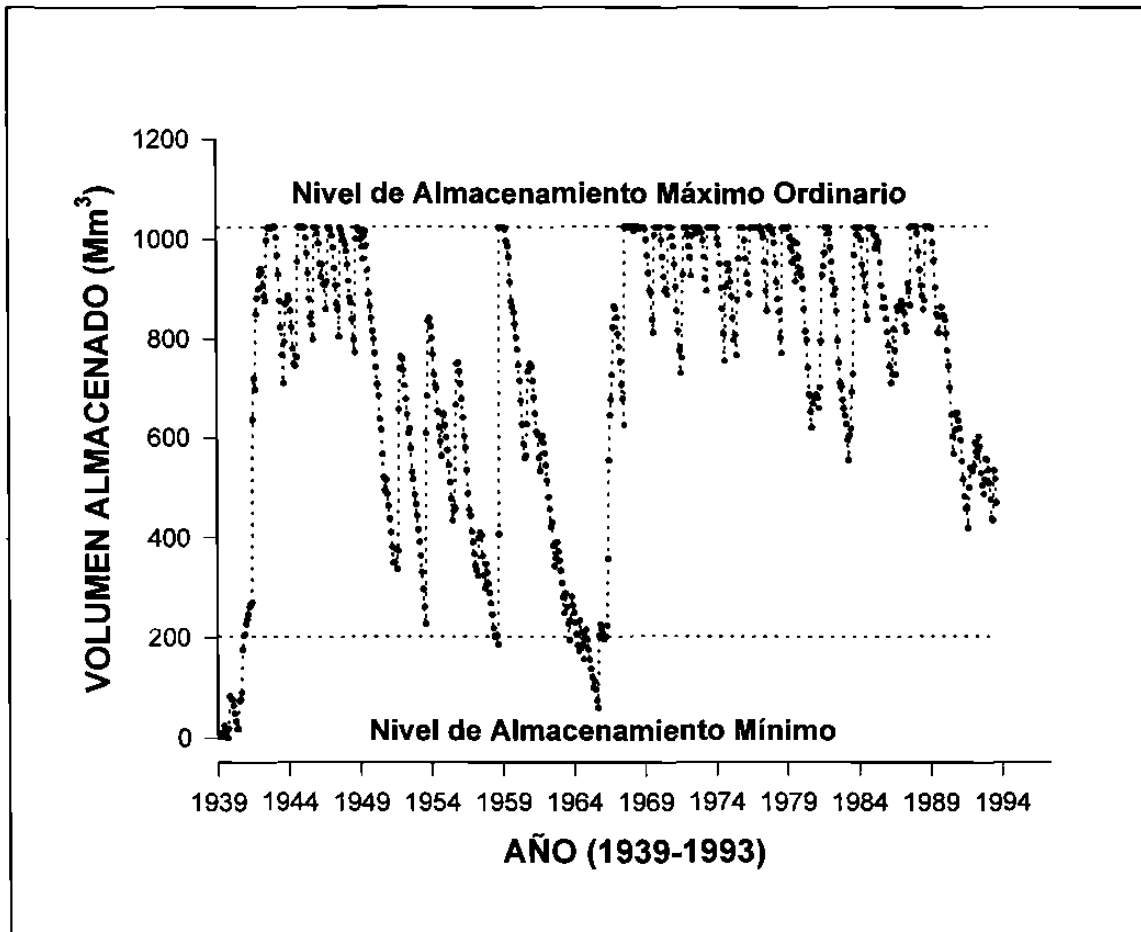


Figura 6. Balance hidrológico retrospectivo del embalse 'El Cuchillo'. Note la presencia de períodos secos y húmedos.

### Escenarios para el embalse El Cuchillo.

1.- La sequía histórica registrada. Los resultados de este balance mostraron que los almacenamientos promedio para los tres periodos de tiempo estudiados serían de 415, 341 y 325 Mm<sup>3</sup> mes<sup>-1</sup>, para 1990-2010, 2010-2030 y 2030-2050, respectivamente. Estos promedios son un tanto mayores que los promedios registrados para los 90's. En un escenario de sequía histórica en solo 12 meses, 1.8% del tiempo, 'El Cuchillo' derramará agua hacia el Río San Juan. La frecuencia de meses sin almacenamiento útil sería de 1, 3 y 4% del tiempo para los periodos de tiempo considerados, respectivamente. La frecuencia de los almacenamientos con volúmenes útiles menores que 100 Mm<sup>3</sup> mes<sup>-1</sup> serían 5, 9 y 10% para los periodos de tiempo descritos, respectivamente.

2.- El escenario de hidrología normal. En el escenario de hidrología normal, los almacenamientos promedio y sus desviaciones estándar serían 798, 741 y 705 Mm<sup>3</sup> mes<sup>-1</sup> y 195, 222, y 222 Mm<sup>3</sup> mes<sup>-1</sup> para los periodos de tiempo 1990-2005, 2010-2025 y 2030-2045, respectivamente. Los almacenamientos del embalse nunca disminuirían por debajo de los 200 Mm<sup>3</sup> mes<sup>-1</sup> para ninguno de los periodos observados. El número de meses en los cuales el embalse derramará aguas incrementa hasta 27, 15 y 14 para los tres periodos de tiempo, respectivamente. La frecuencia absoluta de los

almacenamientos demuestra que bajo condiciones de hidrología normal el número de meses con almacenamientos por debajo de los  $200 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$  se encuentra ausente. 'El Cuchillo' puede, bajo condiciones de hidrología normal, satisfacer los requerimientos de agua para el distrito 026 y para conservar y proteger los ecosistemas riparios de los cauces del Río San Juan. El primer aspecto ha sido cubierto con los nuevos acuerdos entre los Estados de Nuevo León y Tamaulipas.

#### Escenarios para el embalse 'Marte R. Gómez'.

1.- Sequía histórica registrada. En este escenario, el promedio y la desviación estándar de los almacenamientos del embalse fueron 86 y 196  $\text{Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$ . La frecuencia de almacenamientos útiles para riego estuvo muy baja, con 44% del tiempo. Esta estimación incrementa con el periodo de simulación. Es importante mencionar que el número de meses con almacenamientos menores a los  $200 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$  domina el histograma de frecuencias absolutas.

2.- El escenario de hidrología normal. En este escenario, el promedio y la desviación estándar del volumen de almacenamiento del embalse incrementó a 168 y 292  $\text{Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$ . La presencia de almacenamientos a la capacidad total del embalse es también muy baja. El número de meses con almacenamiento de agua no disponible para riego se redujo de 66% a 55%

para este nuevo escenario y el número de meses con almacenamientos superiores a la capacidad del embalse incrementó de 3 a 9. Sin embargo, el número de meses con almacenamientos menores que  $100 \text{ Mm}^3 \text{ mes}^{-1}$  domina aun el histograma de almacenamientos.

**Superficies irrigadas futuras.** Las superficies irrigadas del 026 estarán oscilando como promedio en las 43000 a 52000 ha con los escenarios de sequía histórica e hidrología normal para el período completo de 1990 al 2045 (Figura 7).



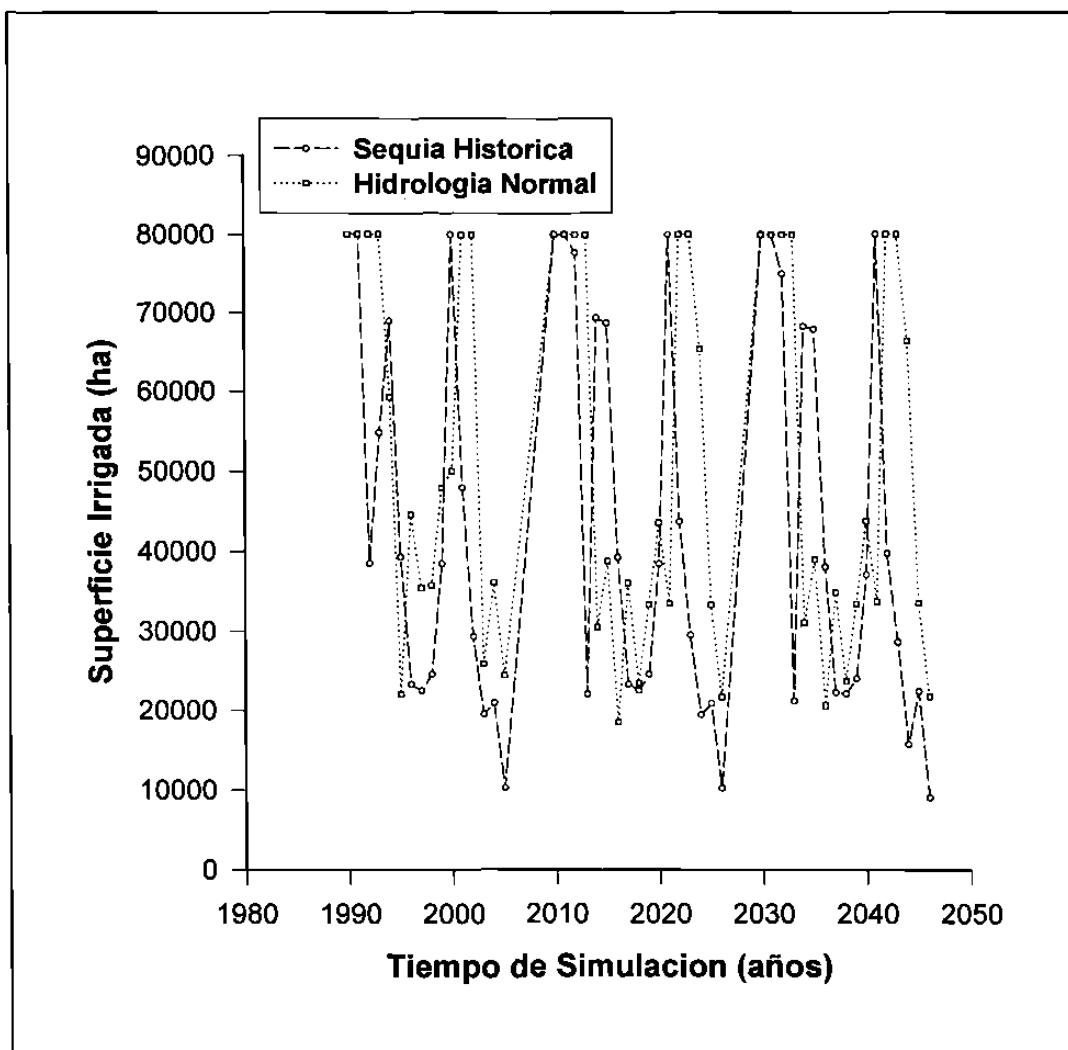


Figura 7. Superficies irrigadas en el 026 ó 'Bajo San Juan' para dos escenarios para el periodo 1990-2045.

Esto representa una reducción del 46 y 35% de la superficie total a irrigar. Las superficies mínimas a irrigar se encuentran dentro de las 9000 y 18000 ha para los escenarios descritos, respectivamente. Solamente en el 16 y el 36% del tiempo estudiado se podrá irrigar la totalidad de la superficie para los escenarios descritos, respectivamente. Es importante notar que bajo

los escenarios estudiados, la superficie agrícola de riego se comprimiría en una proporción similar en los dos escenarios hidrológicos. La sequía de los 1990's ha traído conflictos entre los usuarios del agua y en el futuro éstas tenderán a agudizarse con la futura presencia de sequías e hidrología normal. Por esta razón, es importante realizar prácticas operativas de manejo sustentable de los recursos hidrológicos superficiales de la cuenca del Río San Juan.

## **CAPITULO VI**

### **DISCUSION**

Reportes de organizaciones internacionales (GTZ, 1997; UNESCO, 1998) han señalado que la disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades humanas será más variable en el futuro sobretodo en países susceptibles a las sequías recurrentes y severas. México por su posición geográfica se encuentra dentro de las latitudes de los grandes desiertos y el norte de México se ha caracterizado por estas variaciones climáticas desde que se tiene registro del hidroclima. Estas variaciones, aunadas con el incremento en la demanda por el agua por la creciente población, repercutirían en algunos sectores tradicionalmente usuarios del agua. Las tendencias a reducir las áreas agrícolas con riego están presentándose en muchas partes del mundo semiárido; norte de Africa, Noroeste de India, medio este, China (Gong y Lin, 2000). Por esta razón es indispensable trabajar los conceptos del manejo sustentable de los recursos hidrológicos propuesto en la cumbre de Río de Janeiro sobre Población y Medio Ambiente (UNCED, 1992).

El manejo sustentable de los recursos hidrológicos superficiales de la cuenca del Río San Juan es un compromiso multi - sectorial. Existe evidencia de pérdidas de agua en los sistemas de distribución del agua de muchas ciudades. La eficiencia de transporte, conducción y distribución en el sector público (doméstico, industrial, comercial, municipal, público) de muchas ciudades va desde un 30 hasta un 60%. Reduciendo parcialmente estas pérdidas en el Area Metropolitana de Monterrey, AMM, se podría irrigar una superficie adicional desde 18000 hasta 55000 ha. El uso per cápita podría reducirse a niveles de uso conscientes de la sequía y del ecosistema semi-árido que enmarca la cuenca, recordando que algunas ciudades como Amman y Lalitpur tienen una tasa percapita de 40 litros día<sup>-1</sup> habitante<sup>-1</sup> (Schmitt, 1997).

En el sector agrícola normalmente la eficiencia en el riego es baja, con un valor absoluto total del 35% (SARH, 1981) e incluye pérdidas por transporte, conducción, aplicación y uso del agua por los cultivos. Considerando que los principales distritos de riego de la cuenca del bajo San Juan (026 y Las Lajas) poseen canales de conducción de agua en su mayoría ( $\approx$  1000 km de canales de terracería) desprovistos de impermeabilización, las pérdidas por percolación profunda son altas y estas van desde un 10 a un 20% (SARH, 1981). El riego por rodado es el principal sistema de aplicación del agua a las parcelas y su eficiencia es de un 30-

90% dependiendo del tipo de cultivo. El incremento en la eficiencia en el transporte, aplicación y uso por los cultivos hasta un posible 60%, con canales ademados y tecnologías de riego más eficientes, repercutiría en un incremento de la superficie irrigada de una superficie de 24000 ha en la cuenca del Río San Juan.

En el área de reciclaje de aguas municipales el AMM inició con el Plan Monterrey IV el tratamiento de las aguas municipales del área pero aun existe necesidad de ampliar el número y capacidad de las obras para tratar la totalidad de las aguas municipales e industriales. En el área de manejo de embalses, es importante tratar al complejo 'El Cuchillo'-'Marte R. Gómez' con programas de optimización de manejo de los almacenamientos y transferencia en los momentos más oportunos. La operatividad de estas prácticas es urgente y requiere de la atención de la sociedad que habita en la cuenca (UNCED, 1992).

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES**

En este reporte se ha observado que existen 172000 ha de superficie irrigada en la cuenca del Río San Juan. De esta superficie, el 43% corresponde a maíz, el 34% a sorgo, el 9% a cítricos y el restante a otros cultivos. Los volúmenes totales necesarios para irrigar toda esta superficie se aproximan a  $1197 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$  y se compara con el gasto promedio del Río San Juan medido en la estación 'Los Aldamas'. Estas superficies se reducen hasta en un 90% en la presencia de sequías futuras e hidrología normal para el período de 1990-2045 para el distrito de riego 'Bajo San Juan'. Por esta razón, la implementación del manejo sustentable de recursos hidrológicos es prioritaria en la cuenca del Río San Juan.

## **CAPITULO VIII**

### **REFERENCIAS**

Agua y Drenaje de Monterrey. 1998. Departamento de Planeación y Desarrollo Económico. Datos de Uso Domestico del Agua del Area Metropolitana de Monterrey 1990-1996.

Comisión de Límites y Aguas Internacionales. CILA. 1980-1994. Boletines hidrométricos de la cuenca del Río Bravo.

CNA. 1994. Consejo de Cuenca del Río Bravo. Comisión Nacional del Agua. CNA, Región Noreste. México, D.F.

CNA. 1997. Datos Climáticos de los Municipios Fronterizos. Gerencia Estatal Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamps., México.

CNA. 1998. Datos Hidrométricos de los Embalses y Climáticos de la Cuenca del Río San Juan. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal Nuevo León. Monterrey, N.L., México.

/

CONAPO, 1996. Estimaciones y Proyecciones de la Población. Consejo Nacional de Población, México, D.F.

Contreras, B.S. and Lozano, V.M.L. 1994. Water, Endangered Fishes, and Development Perspectives in Arid Lnds of México. *Conservation Biology* 8: pp. 379-387.

Dunne, T, and Leopold, L.B. 1978. *Water in Environmental Planning*. W.H. Freeman Company. New York. 818 p.

ERL. Environmental Resources Limited. 1991. Plan de Manejo de los Embalses de la Cuenca del Río San Juan. CEE. Madrid, España. 72 p.

Flores, S.J.L. 1997. Evaluación de la Calidad del Agua del Río San Juan en el Estado de Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Linares, N.L., México.

García, E. 1965. Distribución de la Precipitación en la República Mexicana. Instituto de Geografía. México, 1, 7-20.

García E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, 4ª ed. México, 246 p.



García, E. y Mosiño, P. 1968. Los Climas de Baja California. Comité Nacional Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional, UNAM. México. 29-56 p.

Guerra, P. S. Evaluación de la Vegetación Riparia, Insectos Acuáticos y Peces, Influenciados por las Variaciones en la Calidad y Cantidad de los Caudales de la Cuenca del Río San Juan, Nuevo León México. 148 p.

Gong, J. y Lin, H. 2000. Sustainable Development for Agricultural Region in China: Case Studies. *Forest Ecology and Management*. (128): 27-138.

Hastenrath, S. 1988. *Climate and circulation of the tropics*. Reidel, Dordrecht, Boston, Lancaster, Tokyo, second printing, 455 p.

INEGI. 1978. Cartas de Uso del Suelo y Vegetación "Monclova" G14-4, "Reynosa" G14-5, "Concepción del Oro" G14-10, "Linares" G14-11. México. Escala 1: 250,000.

INEGI. 1978. Cartas Hidrológicas de Aguas Superficiales "Monclova" G14-4, "Reynosa" G14-5, "Concepción del Oro" G14-10, "Linares" G14-11. México. Escala 1: 250,000.

INEGI. 1978. Cartas Edafológicas "Monclova" G14-4, "Reynosa" G14-5, "Concepción del Oro" G14-10, "Linares" G14-11. México. Escala 1: 250,000.

INEGI. 1978. Cartas Geológicas "Monclova" G14-4, "Reynosa" G14-5, "Concepción del Oro" G14-10, "Linares" G14-11. México. Escala 1: 250,000.

INEGI. 1995. Anuario estadístico de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Nuevo León. Monterrey, N.L., México.

INEGI. 1996. Anuario estadístico de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Nuevo León. Monterrey, N.L., México.

INEGI. 1997. Anuario estadístico de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Nuevo León. Monterrey, N.L., México.

Jauregui, E. y Klaus, D. 1976. Some Aspects of Climate Fluctuations en México in Relation to Drought. *Geofísica Internacional*. México. 16: 41-46.

Linsley, R.K., Kohler, M.A., and Paulhus, J.L.H. 1988. Hidrología para Ingenieros. 2a Edición. Mc Graw Hill. México. 386p.

Mosiño, P. 1964. Surface Water and Upper-Air Flow Patterns in México. Geofísica Internacional. México. 4: 117-168.

Mosiño, P. Y García, E. 1966. Evaluación de la Sequía Intraestival de la República Mexicana. Unión Geográfica Internacional. Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. México. 30 p.

Návar, J., Cavazos, T., y Domínguez, P.A. 1994. Los Balances Hidrológicos Mensuales con Tres Probabilidades de Precipitación en el Estado de Nuevo León. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra. De. C. Pola, J.A. Ramírez F., M.M. Rangel. & I. Navarro, L. UANL. Linares, N.L. México.

Návar, J. 1999. Agua y Desarrollo Sustentable en la Cuenca Baja del Río Bravo-San Juan. Ciencia UANL. 2 (4): 356-362.

Návar, J. 1999. Water and Sustainable Development in the Binational Lower Río Bravo/Río Grande Watershed. Surface Water Supply and Demand in the Lower Río Bravo/Río Grande Watershed. EPA Grant. No. R. 824799-01-0. USA. 104 p.

Reyes, y Cadet, D., 1986. Atmospheric Water Vapor and Surface Flow Patterns Over Tropical Americas During May-August 1979. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 582-593.

SARH, 1980. Estudio Sobre el Aprovechamiento de Excedentes del Río Bravo, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Infraestructura, Recursos y Servicios. México, D.F.

SARH, 1981. Rehabilitación de los Distritos de Riego del Bajo Río Bravo (25) y del Río San Juan (26), Tamps. Resumen. Infraestructura, Recursos y Servicios. México, D.F.

SARH-CNA, 1991. Distrito de Riego No 026 B.R.S.J. Organización e Infraestructura. Unidad de Información y Participación Ciudadana. Cd. Gustavo Díaz Ordaz, Tamps. México.

SARH-SEP, 1989. El Agua y la Sociedad: en el Mundo, en México, Nuevo León. IMTA. Juitepec, Morelos, México. 17p.

Schmandt, J., Stolp, C., and Ward, G. 1998. Scarce Water: Doing More With Less in the Lower Rio Grande. US-Mexican Policy Studies Program. Policy Report No. 8. The University of Texas, Austin, TX.

Schmitt, T.G. 1997. Water Protection Human Beings a Triangular Relationships in Changing Times. *App Geog & Dev* 49: 59-78.

Soley, W.B., Pierce, R.R., and Perlman, H.A. 1998. Estimated Use of Water in the United States in 1995. U.S. Geological Survey Circular No 1200.

UNCED. 1992. United Nations Conference on Environment and Development, Agenda 21, Chapter 18, sections 8 and 9. Rio de Janeiro, Brazil.

Wallén, C. C. 1955. Some Characteristics of Precipitation in México. *Geogr. Ann.* 37: 51-85.

Withers, B., y Vipond, S. 1986. *El Riego: Diseño y Práctica*. 5ª. Impresión. Diana. México, D. F., 350 p.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**

Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución exponencial con una probabilidad de 50% para 27 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.

ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Aguá Blanca	16.35	9.14	7.77	14.26	36.37	40.35	57.65	59.32	89.77	34.87	12.71	10.66
Allende	23.33	23.68	25.72	49.11	71.25	96.52	61.39	92.61	161.50	88.09	30.52	23.07
Casillas	14.76	20.20	6.80	16.79	40.06	51.19	39.84	58.06	79.95	42.91	9.72	11.55
C. de Flores	21.58	15.11	16.58	24.96	46.24	54.32	37.32	73.88	95.71	42.12	19.30	18.14
El Cerrito	18.03	14.72	14.85	33.13	59.30	86.53	70.58	117.54	182.05	62.29	18.06	12.37
El Cuchillo	13.18	10.10	9.36	23.05	42.06	45.88	31.07	49.68	74.41	31.12	10.35	11.66
El Pajonal	11.82	9.70	6.89	18.28	38.57	40.98	42.23	60.72	86.91	28.52	12.03	11.62
G. Bravo	17.65	11.89	9.24	24.73	48.96	48.63	35.22	50.55	74.58	32.38	13.05	13.27
Higueras	15.20	11.14	10.45	22.59	39.13	47.74	39.98	56.97	88.82	34.11	13.24	14.24
Icamole	8.12	4.94	3.78	8.19	14.37	14.21	9.31	14.24	32.29	14.88	8.94	8.28
La Boca	15.83	16.07	18.51	33.95	52.41	96.00	60.68	113.12	171.93	83.68	22.74	15.82
La Arena	18.20	11.98	13.15	21.70	45.94	54.53	43.98	64.83	91.49	40.38	14.83	13.47
Las Comitas	8.00	7.06	4.14	14.09	22.76	38.83	29.53	55.52	85.90	28.54	8.23	8.57
La Cruz	21.42	11.24	7.62	20.82	39.70	50.69	58.43	70.25	92.96	35.11	15.09	11.32
Las Enramadas	16.79	12.48	12.25	33.47	46.00	56.19	35.16	62.98	114.08	44.51	12.00	13.93
Los Herreras	12.61	10.00	9.15	25.59	43.73	40.33	32.96	46.41	72.92	34.27	10.34	8.83
Los Aldamas	13.49	12.29	11.82	17.72	32.76	51.81	37.38	33.96	59.21	33.98	9.96	8.42
La Popa	8.06	5.48	3.45	8.46	15.28	22.49	15.16	26.10	37.26	13.55	8.72	10.02
Los Ramones	18.65	13.11	12.53	25.90	48.08	57.49	32.63	57.86	100.51	46.53	12.28	13.76
L. de Sánchez	14.58	10.12	7.14	19.85	34.01	54.88	44.01	75.92	111.79	47.09	13.88	10.40
Mina	9.26	6.81	3.81	13.80	14.73	20.05	17.10	27.59	50.86	17.62	9.90	8.24
Montemorelos	17.65	17.02	20.72	39.52	63.10	72.89	43.76	80.70	127.92	70.38	22.83	18.50
Rayones	8.97	6.23	7.19	19.71	31.33	35.89	21.39	52.23	62.15	24.81	8.11	7.23
Rinconada	14.92	5.40	3.67	9.74	12.32	17.64	9.87	16.69	31.84	15.14	5.66	7.17
S. Catarina	12.72	7.52	6.03	13.89	20.59	30.91	17.70	43.73	74.88	30.03	9.14	9.96
Topo Chico	11.54	10.40	9.04	20.53	31.87	40.02	28.13	55.29	90.97	40.89	10.83	10.42
T. De S. Fco.	14.52	14.31	8.00	27.89	33.87	50.67	28.16	33.65	73.24	28.85	12.57	11.92

**ANEXO B**

Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución exponencial con una probabilidad de excedencia del 20% para 27 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.

ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Agua Blanca	37.95	21.22	18.05	33.10	84.46	93.70	133.87	137.73	208.43	80.50	29.51	24.76
Allende	54.17	54.97	59.73	114.02	165.43	224.11	142.54	215.04	374.99	204.54	70.86	53.56
Casillas	34.28	46.90	15.80	39.98	93.01	118.85	92.52	134.81	185.63	99.62	22.57	26.82
C. de Flores	50.11	35.09	38.50	57.96	107.36	126.13	86.65	171.55	222.23	97.79	44.81	42.11
El Cerrillo	41.86	34.18	34.48	76.94	137.70	200.91	163.88	272.92	422.72	144.83	41.94	28.71
El Cuchillo	30.59	23.46	21.74	53.53	97.67	106.54	72.15	115.36	172.77	72.27	24.04	27.11
El Pajonal	26.98	22.53	15.99	42.45	89.58	95.15	98.08	140.99	201.80	86.45	27.93	26.99
G. Bravo	40.97	27.81	21.45	57.43	113.68	112.92	81.78	117.37	173.18	75.18	30.31	30.80
Higueras	35.29	25.86	24.25	52.45	90.88	110.84	92.84	136.93	206.24	79.21	30.75	33.07
Icamole	18.85	11.46	8.78	19.01	33.36	32.99	21.63	33.06	74.97	34.54	20.76	19.22
La Boca	36.77	37.30	42.98	78.84	121.69	222.89	140.88	262.65	389.20	194.30	52.81	36.96
La Arena	42.27	27.81	30.53	50.39	106.66	126.62	102.12	150.54	212.44	93.75	34.42	31.27
Las Comitas	18.57	16.39	9.61	32.70	52.86	90.16	88.57	124.28	199.46	66.27	18.11	19.91
La Cruz	49.74	28.11	17.70	48.33	92.17	117.69	135.68	163.12	215.65	81.52	35.03	26.29
Las Enramadas	39.97	28.99	28.43	77.73	108.81	130.46	81.64	146.23	264.89	103.34	27.87	32.35
Los Herreras	29.27	23.21	21.24	59.42	101.55	93.63	76.54	107.76	169.32	79.56	24.00	20.49
Los Aldamas	31.32	28.54	27.45	41.15	78.07	120.30	86.79	77.46	137.49	78.91	23.13	19.54
La Popa	18.71	12.73	8.01	19.65	35.49	52.23	35.19	60.60	86.51	31.48	20.24	23.28
Los Ramones	35.66	30.45	29.10	60.13	111.65	133.48	75.77	134.35	233.39	108.03	28.52	32.01
L. de Sánchez	33.86	23.50	16.59	46.09	78.97	127.44	102.18	176.29	259.56	109.35	32.23	24.14
Mina	21.50	15.82	8.84	32.04	34.20	46.55	39.71	64.07	118.13	40.91	22.99	18.14
Montemorelos	40.99	39.52	48.12	91.77	146.51	169.25	101.61	187.39	297.02	163.41	53.02	38.31
Rayones	20.82	14.46	16.70	45.76	72.75	83.57	49.67	121.28	144.30	57.61	18.83	16.79
Rinconada	34.65	12.54	8.98	22.61	28.61	40.96	22.92	38.75	73.92	35.15	13.14	16.84
S. Catarina	29.53	17.46	13.98	32.25	47.81	71.77	41.10	101.54	173.86	68.72	21.23	23.12
Topo Chico	28.78	24.15	20.99	47.68	74.00	92.92	86.32	128.38	211.23	94.95	25.15	24.18
T. De S. Fco.	33.71	33.22	18.58	64.75	78.63	117.66	65.38	78.14	170.05	66.99	29.19	27.69



ANEXO C

Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución exponencial con una probabilidad de ocurrencia del 80% para 27 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.

ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Aguá Blanca	5.26	2.94	2.50	4.59	11.71	12.99	18.56	19.10	28.90	11.16	4.09	3.43
Allende	7.51	7.62	8.28	15.81	22.94	31.07	19.76	28.81	51.99	28.36	9.92	7.43
Casillas	4.75	6.50	2.19	5.40	12.90	16.48	12.83	18.69	25.74	13.81	3.13	3.72
C. de Flores	6.95	4.87	5.34	8.04	14.88	17.49	12.01	23.79	30.81	13.56	6.21	5.84
El Cerrito	5.80	4.74	4.78	10.67	19.09	27.96	22.72	37.84	58.61	20.05	5.82	3.98
El Cuchillo	4.24	3.25	3.01	7.42	13.54	14.77	10.00	15.99	23.95	10.02	3.33	3.76
El Pajonal	3.74	3.12	2.22	5.89	12.42	13.19	13.60	19.55	27.98	9.21	3.87	3.74
G. Bravo	5.68	3.83	2.97	7.96	15.76	15.96	11.34	16.27	24.01	10.42	4.20	4.27
Higueras	4.89	3.59	3.36	7.27	12.80	15.37	12.87	18.98	28.60	10.98	4.26	4.58
Icamole	2.81	1.59	1.22	2.64	4.62	4.57	3.00	4.56	10.39	4.79	2.88	2.66
La Boca	5.10	5.17	5.96	10.93	18.87	30.90	19.53	36.42	55.35	26.94	7.32	5.12
La Arena	5.86	3.86	4.23	6.99	14.79	17.56	14.16	20.87	29.45	13.00	4.77	4.34
Las Comillas	2.57	2.27	1.33	4.53	7.33	12.90	9.51	17.23	27.65	9.19	2.85	2.76
La Cruz	6.90	3.62	2.45	6.70	12.78	16.32	18.81	22.62	28.93	11.30	4.86	3.85
Las Enramadas	5.40	4.02	3.94	10.78	14.81	18.09	11.32	20.27	36.73	14.33	3.96	4.49
Los Herreras	4.06	3.22	2.94	8.24	14.08	12.98	10.61	14.94	23.49	11.03	3.33	2.84
Los Aldamas	4.34	3.96	3.81	5.71	10.55	16.98	12.03	10.74	19.06	10.84	3.21	2.71
La Popa	2.59	1.76	1.11	2.72	4.92	7.24	4.88	8.40	11.99	4.36	2.81	3.23
Los Remones	5.36	4.22	4.03	8.34	15.48	18.51	10.51	18.63	32.36	14.98	3.95	4.44
L. de Sánchez	4.69	3.26	2.30	6.39	10.95	17.87	14.17	24.44	35.99	15.16	4.47	3.35
Mina	2.98	2.19	1.23	4.44	4.74	6.45	5.51	8.88	16.38	5.67	3.19	2.65
Montemorelos	5.68	5.48	6.67	12.72	20.31	23.47	14.09	25.98	41.18	22.66	7.95	5.31
Rayones	2.89	2.00	2.32	6.34	10.09	11.59	6.89	16.82	20.01	7.99	2.61	2.33
Rinconada	4.80	1.74	1.24	3.14	3.97	5.82	5.37	10.25	10.25	4.87	1.82	2.31
S. Catarina	4.09	2.42	1.94	4.47	6.63	9.95	5.70	14.08	24.11	9.67	2.94	3.21
Topo Chico	3.71	3.35	2.91	6.61	10.26	12.88	9.06	17.80	29.29	13.16	3.49	3.35
T. De S. Fco.	4.67	4.61	2.58	8.88	10.90	16.31	9.06	10.83	23.58	9.29	4.05	3.84

**ANEXO D**

Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución gamma con una probabilidad de 50% para 28 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.

ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Agua Blanca	12.70	13.40	15.20	11.90	27.80	28.20	59.20	74.50	92.80	31.80	8.90	9.60
Allende	17.40	15.30	14.20	34.10	61.00	80.00	43.80	83.80	179.50	76.00	18.60	13.00
Casillas	15.40	49.20	8.90	11.90	27.70	33.70	28.80	45.80	62.00	30.30	10.50	8.90
C. de Flores	17.80	10.60	10.90	17.50	43.90	39.10	31.50	59.80	95.50	38.10	13.90	12.20
El Cerrito	13.10	9.50	10.00	20.10	57.30	57.20	51.00	145.30	237.60	61.70	14.00	9.30
El Cuchillo	10.40	7.20	6.80	15.00	34.80	38.60	24.80	38.70	80.80	26.80	9.00	10.80
El Pajonal	14.30	8.20	13.90	12.60	32.50	29.20	35.10	65.80	109.80	25.40	30.90	10.60
G. Bravo	12.90	9.50	7.40	16.10	37.70	34.30	28.80	41.30	67.10	25.70	12.80	12.40
Higueras	11.70	8.10	7.50	15.60	40.50	49.70	40.30	56.00	108.50	32.00	10.50	10.20
Icamolle	8.60	5.50	9.20	7.40	12.70	12.40	9.00	16.00	37.50	13.00	22.50	9.40
La Boca	12.20	11.10	13.00	28.90	52.50	92.60	53.60	115.70	202.60	77.30	16.80	10.90
La Arena	13.30	9.40	9.70	14.10	36.10	36.10	34.00	64.20	113.50	37.90	12.00	9.30
Las Comitas	7.30	5.80	19.30	10.40	24.80	30.40	23.90	52.50	116.40	23.00	31.40	12.30
La Cruz	28.80	16.20	9.60	19.50	29.40	36.30	49.20	70.30	128.40	28.90	0.50	10.30
Las Enramadas	12.20	9.50	20.00	27.60	31.60	43.80	27.10	43.20	85.40	33.10	15.80	12.60
Los Herreras	9.50	7.80	10.90	19.00	30.90	27.80	26.00	35.10	69.80	26.20	12.00	7.00
Los Aldamas	18.40	11.10	11.50	12.30	24.30	38.10	32.80	26.50	49.30	32.50	23.50	12.60
La Poba	14.90	13.30	0.01	19.60	13.10	30.20	51.30	29.40	29.50	16.50	27.60	16.90
Los Ramones	11.90	9.10	9.60	17.00	45.20	56.50	29.90	45.00	110.90	40.70	8.90	12.20
L. de Sánchez	17.20	9.30	8.20	14.60	39.60	55.30	44.30	95.00	138.60	41.10	12.40	9.20
Mina	8.60	5.40	10.20	10.50	13.60	15.50	17.50	25.30	50.60	14.80	9.40	6.90
Montemorelos	12.60	14.00	13.40	28.20	63.60	60.80	34.70	68.80	137.10	68.60	17.20	10.90
Rayones	27.00	12.50	22.10	13.70	24.20	25.90	18.50	44.90	65.70	20.10	18.40	15.30
Rinconada	31.50	8.20	20.30	26.80	10.80	18.60	18.70	15.30	24.40	14.30	12.60	12.60
S. Catarina	11.90	6.20	5.30	10.30	17.90	23.60	16.00	38.40	77.40	24.20	7.70	13.20
Topo Chico	10.70	7.50	6.80	13.80	25.70	27.60	23.90	39.80	83.30	30.70	9.10	12.80
T. De S. Foo.	11.50	9.70	6.00	17.70	27.10	33.80	24.50	27.10	71.90	23.20	11.50	8.70
Distrito 026	30.49	45.58	12.70	23.75	115.44	54.64	33.82	39.47	66.51	53.38	22.30	25.83

**ANEXO E**

Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución gamma con una probabilidad de ocurrencia del 80% para 28 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.

ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Agua Blanca	1.40	0.90	0.90	1.20	4.90	3.90	20.10	40.10	32.10	7.90	1.40	1.00
Allende	3.30	2.70	1.80	6.80	16.50	20.00	7.80	23.40	75.30	20.30	2.70	1.50
Casillas	1.20	1.50	0.80	1.30	4.00	4.80	4.50	9.60	13.50	3.40	1.10	1.10
C. de Flores	4.30	1.80	1.40	2.90	13.70	6.70	7.00	12.40	31.70	9.90	2.10	1.60
El Cerrito	2.40	1.30	1.10	2.40	19.00	8.40	8.00	75.10	142.60	1.50	2.70	1.70
El Cuchillo	1.20	1.10	1.00	1.90	7.80	9.30	4.20	6.80	31.30	6.30	1.20	1.00
El Pajonal	1.20	0.90	0.90	1.60	7.50	4.40	7.30	25.20	60.40	8.20	1.50	1.00
G. Bravo	1.50	1.00	0.90	1.80	7.00	5.20	3.30	8.00	17.10	4.50	0.20	1.10
Higueras	2.30	1.40	1.10	2.40	14.60	18.50	13.10	16.00	54.50	9.30	2.10	1.70
Icamole	1.10	0.70	0.70	1.80	3.10	1.60	1.70	1.90	16.70	2.10	1.30	0.90
La Boca	2.40	1.80	2.30	7.80	18.20	30.20	13.50	40.10	96.60	22.00	3.20	1.50
La Arena	2.30	2.10	1.00	1.70	8.50	5.10	5.50	20.10	59.30	10.70	1.40	1.40
Las Comillas	1.00	0.80	0.90	1.30	10.40	6.30	4.60	16.10	78.40	2.70	1.40	1.00
La Cruz	1.50	1.00	0.80	1.40	4.70	5.80	11.40	23.80	92.80	5.90	1.30	1.00
Las Enramadas	1.30	1.00	1.10	1.60	3.10	2.80	3.20	5.00	16.50	3.30	1.20	1.10
Los Herreras	1.40	1.00	0.90	1.50	3.40	3.20	3.90	5.00	20.40	3.90	1.20	1.00
Los Aldamas	1.30	1.00	1.00	1.50	2.90	6.60	3.10	3.60	10.40	2.70	1.30	1.00
La Popa	1.10	0.90	1.60	1.10	1.90	2.00	2.50	2.50	5.60	1.70	1.30	1.10
Los Ramones	1.70	1.30	1.00	2.30	13.30	18.70	7.80	7.90	44.10	9.80	1.30	1.10
L. de Sánchez	1.30	0.90	0.80	2.70	18.50	19.90	14.40	50.70	72.30	9.90	1.30	1.00
Mina	1.00	1.10	0.01	1.20	3.70	2.60	2.10	2.60	16.80	2.30	1.10	0.90
Montemorales	1.90	3.40	1.90	5.30	22.60	14.60	6.90	16.20	53.10	22.00	3.40	1.30
Reyones	1.30	0.90	1.00	1.50	4.30	3.90	2.60	10.20	23.80	2.60	1.20	1.00
Rinconada	1.50	0.01	0.90	1.30	1.70	1.70	1.70	2.20	3.20	1.80	1.00	0.90
S. Catalina	1.20	0.80	0.01	1.30	4.50	4.40	2.30	9.50	27.60	4.70	1.20	1.00
Topo Chico	1.10	1.10	0.90	1.80	5.20	3.20	2.80	5.10	23.10	5.00	1.20	1.00
T. De S. Fco.	2.40	1.30	1.00	2.40	5.40	4.70	2.80	4.70	22.10	4.20	1.30	1.30
Distrito 028	3.67	15.35	1.22	2.17	42.93	5.75	3.37	3.79	10.42	12.72	2.25	3.95

**ANEXO F**

Precipitaciones mensuales en mm para dos ciclos de cultivo estimadas con la distribución gamma con una probabilidad de excedencia del 20% para 28 estaciones climáticas con más de 30 años de precipitación, ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.

ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Agua Blanca	76.10	29.00	25.00	94.70	93.80	112.80	133.30	124.80	207.00	83.20	42.90	71.90
Allende	52.00	45.20	53.60	94.90	153.00	207.20	150.40	212.40	326.50	195.30	68.10	58.10
Casillas	31.90	29.00	15.00	66.60	109.90	128.60	113.50	140.40	193.60	166.80	18.50	50.60
C. de Flores	45.60	33.70	42.40	56.00	101.50	128.10	93.40	182.60	218.00	100.10	51.90	48.00
El Cerrito	40.50	39.20	49.10	83.60	127.90	206.10	191.30	260.30	344.00	142.70	42.00	26.40
El Cuchillo	59.80	28.40	28.30	61.90	98.50	103.20	82.90	136.30	168.00	76.00	51.90	102.50
El Pajonal	35.00	53.20	19.00	56.30	90.90	108.00	109.30	138.20	181.40	69.90	34.00	88.00
G. Bravo	64.80	60.50	40.00	75.10	120.30	125.00	167.80	132.50	179.60	90.00	134.20	140.30
Higueras	34.90	25.90	27.80	52.80	85.90	102.50	93.30	140.30	190.50	78.70	31.60	33.90
Icamole	25.10	48.40	10.00	43.60	35.30	67.70	36.50	181.50	71.30	55.60	18.50	28.00
La Boca	36.10	35.90	39.10	68.10	114.00	205.70	144.80	257.30	347.00	191.50	51.60	42.50
La Arena	43.50	24.80	57.70	61.90	108.10	139.40	127.80	152.00	194.00	94.60	67.20	33.90
Las Comitias	41.80	27.40	11.40	51.70	48.00	89.40	81.10	126.00	165.00	138.90	22.50	20.00
La Cruz	63.00	32.50	19.50	63.00	106.30	126.30	140.50	158.70	171.90	90.30	107.60	95.80
Las Entramadas	71.20	61.10	36.00	76.00	193.30	153.00	154.60	218.10	270.80	220.10	31.00	153.30
Los Herreras	38.60	39.50	26.30	153.90	160.80	132.50	108.40	148.00	172.20	108.30	32.00	30.30
Los Aldamas	29.00	105.90	167.80	54.70	121.90	125.30	275.30	125.90	149.30	77.00	32.00	20.00
La Popa	17.50	13.00	8.80	21.00	62.40	43.00	41.40	68.00	99.40	28.00	16.70	31.30
Los Ramones	47.60	35.00	57.90	63.80	108.20	125.00	79.90	156.70	226.80	111.90	46.90	107.20
L. de Sánchez	32.00	78.70	21.00	44.00	71.60	113.10	102.50	160.20	237.10	113.40	89.50	66.70
Mina	58.60	15.70	7.00	55.40	34.60	57.50	140.30	228.20	115.40	65.60	66.80	35.40
Montemorelos	45.60	34.00	47.50	91.90	136.40	160.50	111.10	193.80	285.00	158.40	50.90	51.40
Rayones	20.00	13.30	16.50	72.10	82.20	96.60	92.40	130.40	142.40	102.60	21.30	15.00
Rinconada	23.00	17.00	10.00	32.00	47.00	329.60	20.00	77.30	120.70	98.00	15.00	20.60
S. Catalina	113.80	31.60	26.80	52.50	48.00	74.80	81.50	105.90	169.00	78.40	35.10	22.70
Topo Chico	81.60	28.30	30.10	58.20	78.60	132.30	147.70	166.60	212.10	114.00	45.40	34.00
T. De S. Fco.	32.50	38.20	21.20	67.40	83.70	133.30	158.50	97.50	171.70	80.10	83.00	34.60
Distrito 028	63.80	34.00	159.00	175.10	98.80	94.90	66.00	121.90	169.50	99.90	101.90	63.30

## ANEXO G

Uso consuntivo en mm para dos periodos de crecimiento para maíz estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.

ESTACION	PRIMER PERIODO DE CRECIMIENTO				SEGUNDO PERIODO DE CRECIMIENTO			
	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
Casillas	106.18	119.13	136.38	139.62	135.66	115.50	106.80	88.94
C. de Flores	108.50	124.21	144.81	151.29	148.92	128.15	112.66	90.22
El Cerrito	103.28	114.65	135.73	143.19	140.08	119.24	107.08	89.45
El Cuchillo	111.70	127.20	147.40	153.88	152.39	131.60	118.57	93.30
El Pajonal	111.70	121.52	137.35	138.32	133.77	117.22	108.75	94.07
G. Bravo	110.83	128.30	146.75	153.23	150.81	130.45	116.29	94.32
Higueras	104.44	118.83	136.38	143.51	141.34	121.54	107.64	86.63
Icamole	105.31	120.33	139.30	144.48	141.34	122.40	109.03	88.68
La Boca	103.86	117.64	137.35	143.83	141.66	121.82	108.48	88.94
La Arena	110.25	125.41	145.78	152.26	149.87	129.30	115.45	92.27
Las Comitas	106.76	119.43	137.03	141.89	137.87	118.66	106.80	88.68
La Cruz	98.92	111.66	125.03	126.01	121.77	109.46	103.73	90.22
Las Enramadas	110.25	125.71	145.13	152.58	150.18	129.30	115.73	92.53
Los Herreras	109.96	126.90	147.07	154.53	150.50	131.31	115.17	93.30
Los Aldamas	109.67	118.24	142.21	146.75	143.87	131.02	117.13	94.58
La Popa	105.89	118.54	135.73	139.62	136.29	118.66	108.20	90.48
Los Ramones	157.85	171.71	186.29	188.24	182.69	159.77	147.54	130.74
L. de Sánchez	86.15	94.34	111.10	113.69	108.83	95.66	87.55	75.09
Mina	106.76	121.22	140.27	146.43	141.66	121.82	109.87	88.94
Montemorelos	110.25	124.51	142.86	149.67	147.97	127.57	113.22	92.79
Rayones	107.63	119.73	134.76	137.35	135.03	118.66	109.03	94.07
Rinconada	106.76	117.64	133.46	138.65	134.08	116.38	106.80	90.73
S. Catarina	105.89	120.33	138.97	144.48	141.66	122.40	107.92	88.68
Topo Chico	111.99	125.41	144.16	149.67	146.39	127.29	115.17	94.84
T. De S. Fco.	104.73	116.74	132.81	139.30	136.29	118.09	105.69	89.19
Apodaca	106.47	120.93	138.97	144.48	142.92	123.26	108.20	89.71
California	109.08	124.21	142.86	149.67	145.76	126.14	112.66	92.53
El Canadá	107.92	122.72	143.83	150.64	146.71	126.14	114.06	94.07
Cerralvo	110.25	125.11	144.48	150.32	148.28	129.01	114.34	94.84
C. Calles	103.28	117.34	135.73	140.59	138.82	121.82	108.75	89.19
Ch. Del Indio	103.86	118.24	135.73	143.19	134.40	116.65	107.08	86.63
Dr. Coss	104.44	111.07	130.22	139.62	135.35	120.10	107.64	90.22
Dr. González	109.96	120.93	142.54	147.72	147.66	126.14	113.78	93.55
El Brasil	112.57	127.20	148.05	152.58	151.13	131.89	119.08	96.63
El Hojacen	112.86	127.80	146.43	148.69	149.24	129.30	119.08	99.20
E. Marín	108.79	123.02	142.21	147.72	145.13	124.70	111.82	90.48
G. González	108.79	126.30	148.05	152.91	150.18	129.01	115.17	92.02
H. Mamulique	103.86	120.03	145.13	146.43	145.76	126.42	111.82	87.66
Lampacitos	108.50	119.73	136.05	142.86	140.71	122.69	107.64	92.53
Las Brisas	113.73	127.80	147.40	155.83	151.44	129.30	116.29	96.89
La Ciénega	107.92	119.73	141.56	148.37	144.18	123.55	111.82	92.02
La Huasteca	105.31	114.35	127.63	134.43	131.56	114.06	101.78	85.86
La Morita	108.79	119.73	136.38	146.43	140.71	122.97	116.01	94.32
Madero	113.44	127.50	147.07	152.58	153.02	132.75	117.40	94.32
Monterrey	109.67	123.02	141.89	147.40	145.13	125.27	112.10	92.02
Palmitos	110.25	122.12	143.19	146.75	145.76	128.15	117.40	98.94
Pobladores	114.60	128.99	149.99	154.85	153.65	132.17	119.08	97.91
R. de gomas	106.47	119.43	136.65	145.78	142.61	122.40	109.31	88.43
San Bartolo	105.89	120.93	139.94	144.48	145.45	124.99	111.82	90.99
S. J. Boquilla	91.09	100.61	115.96	114.02	108.52	96.53	86.43	76.88
S. M. Floreña	111.12	127.80	144.48	148.05	149.87	129.30	115.73	94.84
S. Victoria	126.79	124.21	144.81	150.96	148.60	127.57	112.66	97.66
Tepahuaje	107.92	122.72	143.19	149.99	149.24	127.29	113.78	92.27
Uña de Gato	112.86	125.71	144.16	149.02	149.55	129.87	117.13	95.86

## ANEXO H

Uso consuntivo en mm para dos periodos de crecimiento para sorgo estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.

ESTACION	PRIMER PERIODO DE CRECIMIENTO					SEGUNDO PERIODO DE CRECIMIENTO				
	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
Casillas	77.03	99.10	111.19	127.29	130.31	132.58	126.82	107.80	99.68	83.01
C. de Flores	77.49	101.27	115.93	135.15	141.20	145.81	138.99	119.61	105.15	84.21
El Cerro	74.02	98.39	107.01	126.68	133.64	138.43	130.74	111.29	99.94	83.49
El Cuchillo	79.35	104.25	118.72	137.57	143.62	148.89	142.23	122.83	108.80	87.08
El Pajonal	79.81	104.25	113.42	128.19	129.10	131.35	124.85	109.41	101.50	87.80
G. Bravo	78.42	103.44	117.88	136.97	143.02	147.98	140.76	121.75	109.54	88.04
Higuera	74.02	97.48	110.91	127.29	133.94	138.43	131.92	113.43	100.46	80.85
Icamole	75.18	98.29	112.31	130.01	134.85	139.04	131.92	114.24	101.76	82.77
La Boca	74.25	96.94	109.80	129.19	134.24	138.43	132.22	113.70	101.24	83.01
La Arena	77.96	102.90	117.05	138.08	142.11	146.74	139.88	120.68	107.75	86.12
Las Comitas	76.80	99.64	111.47	127.89	132.43	134.73	128.88	110.75	99.68	82.77
La Cruz	75.79	92.33	104.22	118.70	117.61	121.19	113.65	102.17	96.82	84.21
Las Enramadas	79.35	102.90	117.33	135.45	142.41	146.74	140.17	120.68	108.01	86.36
Los Herreras	78.65	102.83	118.44	137.27	144.23	148.58	140.48	122.56	107.49	87.08
Los Aldamas	74.25	102.35	110.35	132.73	138.97	142.43	134.28	122.29	109.32	89.28
La Popa	75.64	98.83	110.63	129.89	130.31	133.50	127.21	110.75	100.98	84.45
Los Rámones	118.70	147.33	160.28	173.87	175.69	175.05	170.51	149.12	137.70	122.03
L. de Sánchez	84.07	80.41	88.05	103.69	106.11	108.57	101.58	89.29	81.71	70.08
Mina	75.64	99.64	113.14	130.92	136.86	139.96	132.22	113.70	102.55	83.01
Montemorelos	78.65	102.90	116.21	133.34	139.89	143.97	138.11	119.07	105.87	86.60
Rayones	78.65	100.46	111.75	125.77	128.19	132.58	126.03	110.75	101.78	85.84
Rinconada	78.88	99.64	109.80	124.56	129.40	131.96	125.14	107.80	99.68	84.68
S. Cefalina	75.87	98.83	112.31	129.71	134.65	136.12	132.22	114.24	100.72	82.77
Topo Chico	78.65	104.52	117.05	134.24	139.69	143.66	136.63	118.80	107.49	86.51
T. De S. Foo.	74.95	97.75	108.96	123.98	130.01	132.27	127.21	110.21	99.64	83.25
Apodaca	74.95	99.37	112.86	129.71	134.85	138.43	133.39	115.04	100.98	83.73
California	78.42	101.81	115.93	133.34	139.89	143.97	136.05	117.73	105.15	86.36
El Cerrado	79.35	100.73	114.54	134.24	140.60	143.97	136.83	117.73	106.45	87.80
Cerro Viejo	78.19	102.90	118.77	134.85	140.29	143.66	138.40	120.41	108.71	88.51
C. Cillas	75.87	96.39	108.52	126.68	131.22	135.04	129.56	113.70	101.50	83.25
Ch. Del Indio	75.87	96.94	110.35	126.68	133.64	131.85	125.44	108.87	99.94	80.85
Dr. Coss	74.95	97.48	103.66	121.54	130.31	132.58	126.32	112.09	100.46	84.21
Dr. González	79.35	102.83	112.86	133.03	137.87	141.20	137.81	117.73	106.19	87.32
El Brasil	80.27	105.06	118.72	138.18	142.41	146.74	141.05	123.08	111.14	90.19
El Holecen	81.86	105.33	119.28	136.66	138.78	146.74	139.29	120.68	111.14	92.58
E. Marín	77.03	101.54	114.82	132.73	137.87	141.20	135.46	116.39	104.37	84.45
G. González	77.26	101.54	117.88	138.18	142.71	146.43	140.17	120.41	107.49	85.68
H. Marmulique	76.34	96.94	112.03	135.45	136.66	139.86	136.05	118.00	104.37	81.81
Lampcitos	78.19	101.27	111.75	126.98	133.34	138.12	131.33	114.51	100.46	86.36
Las Brisas	80.27	106.15	119.28	137.57	145.44	148.27	141.35	120.68	108.54	90.43
La Ciénega	79.58	100.73	111.75	132.13	138.48	141.81	134.57	115.31	104.37	85.88
La Huasteca	77.96	98.29	106.73	119.12	125.47	128.27	122.79	106.46	94.99	80.14
La Morita	78.65	101.54	111.75	127.29	136.86	136.89	131.33	114.78	108.28	88.04
Madero	78.65	105.88	119.00	137.27	142.41	149.20	142.82	123.90	109.58	88.04
Montemey	79.12	102.35	114.82	132.43	137.57	141.20	135.46	116.92	104.83	85.88
Pakñitos	80.97	102.90	113.98	133.64	138.97	140.27	136.05	119.81	109.58	92.34
Pobladores	82.12	106.99	120.39	139.99	144.53	149.20	143.41	123.36	111.14	91.39
R. de gomas	74.95	99.37	111.47	129.40	136.06	138.73	133.10	114.24	102.03	82.53
San Bartolo	77.49	98.83	112.86	130.61	134.85	140.58	135.75	116.65	104.37	84.92
S. J. Boquilla	88.93	85.01	93.90	108.23	106.41	107.03	101.28	90.09	80.67	71.78
S. M. Floresta	80.50	103.71	119.28	134.85	138.18	145.50	139.88	120.68	108.01	88.51
S. Victoria	88.56	118.34	115.93	135.15	140.90	143.66	138.70	119.07	105.15	91.15
Tepehuaje	77.73	100.73	114.54	133.64	139.99	145.50	139.29	118.80	106.19	86.12
Uña de Gato	79.12	105.33	117.33	134.55	138.08	145.81	139.56	121.22	109.32	89.47

Caracterización de las Superficies Agrícolas, Volúmenes de Irrigación y sus Perspectivas a Mediano Plazo en la Cuenca del Río San Juan.

ANEXO I

Uso consuntivo en mm para dos periodos de crecimiento para cítricos estimado de 54 estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca del Río San Juan.

ESTACION	PRIMER PERIODO DE CRECIMIENTO							SEGUNDO PERIODO DE CRECIMIENTO		
	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Casillas	66.03	84.95	95.31	109.10	111.70	113.64	108.53	42.72	35.58	33.01
C. de Flores	66.42	86.60	96.37	115.84	121.03	124.98	119.14	45.06	36.09	32.91
El Cento	63.45	82.62	91.72	108.58	114.55	118.65	112.06	42.83	35.78	31.68
El Cuchillo	68.01	89.36	101.76	117.82	123.10	127.62	121.91	46.53	37.32	33.83
El Pajonal	68.41	89.36	97.22	109.88	110.66	112.58	107.01	43.50	37.63	35.16
G. Bravo	67.22	88.60	101.04	117.40	122.59	126.56	120.65	46.52	37.73	33.73
Higueras	63.45	83.55	95.07	109.10	114.81	118.65	113.07	43.06	34.65	31.16
Icamola	64.44	84.25	96.26	111.44	115.59	119.15	113.07	43.61	35.47	32.29
La Boca	63.65	83.09	94.11	109.88	115.07	118.85	113.33	43.39	35.58	31.78
La Arena	66.82	86.20	100.33	116.62	121.61	125.77	119.69	46.18	36.81	33.52
Las Comitas	65.83	85.41	95.55	109.62	113.51	115.48	110.30	42.72	35.47	32.50
La Cruz	63.25	79.14	89.33	100.03	100.81	103.88	97.42	41.49	36.09	33.32
Las Enramadas	88.01	88.20	100.56	116.10	122.07	125.77	120.15	46.29	37.01	33.83
Los Herreras	67.42	87.96	101.52	117.86	123.62	127.36	120.40	46.07	37.32	33.42
Los Aldamas	63.65	87.73	94.59	113.77	117.40	122.08	115.10	46.85	37.83	35.68
La Popa	64.84	84.71	94.83	108.58	111.70	114.43	109.03	43.28	36.19	33.63
Los Ramones	101.74	126.28	137.37	149.03	150.59	150.04	146.16	59.02	52.30	49.42
L. de Sánchez	54.92	68.92	75.47	88.88	90.95	93.06	87.06	35.02	30.04	28.70
Mina	64.84	85.41	96.98	112.21	117.14	119.97	113.33	43.95	35.37	32.09
Montemorelos	67.42	88.20	99.61	114.29	119.73	123.40	118.38	45.29	37.11	33.42
Rayones	67.42	86.11	95.78	107.81	109.88	113.64	108.02	43.61	36.70	33.22
Rinconada	67.61	85.41	94.11	106.77	110.92	113.11	107.27	42.72	36.29	34.14
S. Catarina	85.04	84.71	96.02	110.92	115.33	118.39	113.33	43.17	35.47	32.19
Topo Chico	67.42	86.56	100.33	115.33	119.73	123.14	117.12	46.07	37.93	34.04
T. De S. Fco.	64.24	83.78	93.39	106.25	111.44	113.37	109.03	42.27	35.88	33.52
Apodaca	64.24	85.18	96.74	111.16	115.59	118.65	114.34	43.28	35.88	32.60
California	67.22	87.27	99.37	114.29	119.73	123.40	116.61	45.06	37.01	33.32
El Cenadú	68.01	86.34	98.17	115.07	120.51	123.40	117.37	45.62	37.63	33.83
Cerralvo	67.02	88.20	100.09	115.59	120.25	123.14	118.63	45.73	37.93	34.04
C. Calles	65.04	82.62	93.67	108.58	112.47	115.75	111.05	43.50	35.68	32.19
Ch. Del Indio	65.04	83.09	94.59	108.58	114.55	112.85	107.52	42.83	34.65	31.78
Dr. Coss	64.24	83.55	88.65	104.16	111.70	113.64	108.28	43.06	36.09	33.22
Dr. González	68.01	87.96	96.74	114.03	118.16	121.02	118.13	45.51	37.42	33.42
El Brasil	68.80	90.05	101.76	118.44	122.07	125.77	120.90	47.63	38.65	34.55
El Hojacón	70.00	90.29	102.24	117.14	118.96	125.77	119.39	47.63	39.68	35.16
E. Marín	66.03	87.04	98.41	113.77	116.18	121.02	116.11	44.73	36.19	32.81
G. González	66.23	87.04	101.04	118.44	122.33	125.51	120.15	46.07	36.81	32.70
H. Mamulique	65.43	83.09	96.02	116.10	117.14	119.71	118.61	44.73	35.06	30.98
Lampacitos	67.02	86.80	95.78	108.84	114.29	118.39	112.57	43.06	37.01	33.22
Las Brisas	68.80	90.96	102.24	117.92	124.66	127.09	121.16	46.52	38.76	34.96
La Cienega	68.21	86.34	95.78	113.25	118.70	121.55	115.35	44.73	36.81	33.73
La Huasteca	68.82	84.25	91.48	102.70	107.55	109.95	105.23	40.71	34.34	32.81
La Monta	67.42	87.04	95.78	109.10	117.14	117.33	112.57	46.40	37.73	34.55
Madero	67.42	90.75	102.00	117.86	122.07	127.88	122.42	46.96	37.73	34.14
Montemey	67.81	87.73	98.41	113.51	117.92	121.02	116.11	44.84	36.81	33.83
Palmitos	69.40	88.20	97.70	114.55	117.40	120.23	116.61	46.96	39.58	37.01
Pobladores	70.39	91.68	103.19	119.99	123.88	127.88	122.92	47.63	39.17	35.16
R. de gomas	64.24	85.18	95.55	110.92	116.82	118.91	114.09	43.73	35.37	31.78
San Bartolo	66.42	84.71	96.74	112.73	115.59	120.50	116.36	44.73	36.40	32.29
S. J. Boquilla	59.08	72.87	80.49	92.77	91.21	91.74	86.81	34.57	30.75	28.01
S. M. Floreña	69.00	88.69	102.24	115.59	118.44	124.72	119.89	46.29	37.93	34.14
S. Victoria	64.48	101.43	99.37	115.84	120.77	123.14	118.68	45.06	39.06	37.01
Tepahuaje	66.82	86.34	98.17	114.55	119.99	124.72	119.39	45.51	36.81	32.70
Llana de Gato	67.81	90.29	100.56	115.33	119.22	124.98	119.64	46.85	38.35	34.65

