



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“DISPONIBILIDAD DEL AGUA Y RIESGO
HIDROLÓGICO EN LOS ESCURRIMIENTOS DE LA
CUENCA DEL RÍO COPALITA, CON UN MODELO
ESTOCÁSTICO”**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL

PRESENTA
DAGOBERTO RODRIGUEZ TORRES

DIRECTORES DE TESIS
DR. JUAN MANUEL NAVARRO PINEDA
DR. MARIO ULLOA RAMIREZ

México, D. F., junio 2012



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F., siendo las 19:00 horas del día 21 del mes de junio del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.-U.Z. para examinar la tesis titulada:

"Disponibilidad del Agua y Riesgo Hidrológico en los Ecurrimientos de la Cuenca del Río Copalita, con un Modelo Estocástico."

Presentada por el alumno:

Rodríguez
Apellido paterno

Torres
Apellido materno

Dagoberto
Nombre(s)

Con registro:

A	1	0	0	3	0	2
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Juan Manuel Navarro Pineda

Dr. Mario Ulloa Ramirez

M. en C. Julio Fragozo Sandoval

Dr. Jorge Meléndez Estrada

M. en I. Felipe López Sánchez

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



M. en C. Pino Durán Escamilla

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D. F. el día 22 del mes junio del año 2012, el que suscribe DAGOBERTO RODRIGUEZ TORRES alumno del Programa de Maestría con número de registro A100302, adscrito a LA SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN – ESIA UZ, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del DR. JUAN MANUEL NAVARRO PINEDA y el DR. MARIO ULLOA RAMÍREZ y cede los derechos del trabajo intitulado “DISPONIBILIDAD DEL AGUA Y RIESGO HIDROLÓGICO EN LOS ESCURRIMIENTOS DE LA CUENCA DEL RÍO COPALITA, CON UN MODELO ESTOCÁSTICO”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección dago799@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

DAGOBERTO RODRIGUEZ TORRES

DEDICATORIA

A mis padres QEPD

Enriqueta Torres Pineda

Natividad Rodríguez de la Garza

A mis hijos

Brenda

Luis Fernando

Luis Alberto

Abigail

Con todo mi amor

A Maricela

Gracias por todo

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos los maestros que tuve en la maestría. En especial al Dr. Juan Manuel Navarro y al Dr. Mario Ulloa Ramírez, mis directores de tesis. Gracias por su apoyo.

Gracias al Dr. Samuel Sandoval Solís, que desde Texas, también me estuvo apoyando.

Por último, gracias a mi Comité Tutorial, por sus observaciones:

Dr. Jorge Meléndez Estrada, M. en I. Felipe López Sánchez y M. en C. Lucio Fragoso Sandoval.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tomado de “Estadísticas del Agua en México”, SEMARNAT, 2008....	11
Figura 1.2 Fuente: Comisión Nacional del Agua (2010).....	12
Figura 2.1 Municipios de la Cuenca del Río Copalita	16
Figura 2.2 Clasificación Climática	20
Figura 2.3 División Municipal.....	23
Figura 2.4 Subcuencas del Río Copalita, Oaxaca.....	28
Figura 2.5 Ríos Principales de la Cuenca del Río capitalista	29
Figura 3.1 Recta de regresión de las estaciones A y B	50
Figura 5.1 Serie de datos anuales originales. Estación San Miguel.....	70
Figura 5.2 Serie de datos anuales transformados. Estacion San Miguel.....	70
Figura 5.3 Estadísticas anuales. Series originales.....	73
Figura 5.4 Estadísticas mensuales de las cuatro estaciones.....	74
Figura 5.5 Autocorrelación anual. Estación Pluma Hidalgo	74
Figura 5.6. Autocorrelación mensual. Estación Pluma Hidalgo	75
Figura 5.7 Modelos Mensuales Univariados disponibles en SAMS	75
Figura 5.8 Declaración del modelo estocástico PARMA(1,0).	76
Figura 5.9 Generación de Escurrimientos Restituidos Sintéticos, estación La Hamaca.....	78
Figura 5.10 Comparación estadística de escurrimientos mensuales sintéticos e históricos.....	79
Figura 5.11 Comparación estadística de escurrimientos anuales sintéticos e históricos.....	79
Figura 5.12 Comparación estadística de sequia anuales, escurrimientos sintéticos e históricos.	80
5.13 Distribución de probabilidad del escurrimiento restituido medio anual de las 1,000 series generadas.....	81
Figura 5.14 Escurrimientos sintéticos restituidos; Sec. #915, Media=654x10 ⁶ m ³ /año, F(<) = 0.005	82
Figura 5.15 Escurrimientos sintéticos restituidos; Sec. #937, Media=722x10 ⁶ m ³ /año, F(<) = 0.034	82

Figura 5.16 Escurrimientos sintéticos restituidos; Sec. #577, Media=857x10 ⁶ m ³ /año, F(<) = 0.282	83
Figura 5.17 Escurrimientos sintéticos restituidos; Sec. #789, Media=1062x10 ⁶ m ³ /año, F(<) = 0.837	83
Figura 5.18 Modelo de Planeación para la cuenca del Rio Copalita.....	84
Figura 5.19 Modelo de Planeación para la cuenca del Rio Copalita.....	85
Figura 5.20 Modelo de Planeación para la cuenca del Rio Copalita.....	85
Figura 5.21 Interruptor para utilizar los escurrimientos sintéticos	86
Figura 5.22 Requerimiento ambiental durante años Secos.....	86
Figura 5.23 Requerimiento ambiental durante años Húmedos	87
Figura 5.24 Confiabilidad probabilística (tiempo) y volumétrica para requerimientos ambientales de años secos.....	88
Figura 5.25 Confiabilidad probabilística (tiempo) y volumétrica para requerimientos ambientales de años Húmedos.....	89
Figura 5.26 Vulnerabilidad de requerimientos ambientales de años secos.....	89
Figura 5.27 Vulnerabilidad de requerimientos ambientales de años húmedos. ..	90
Figura 5.28 Resiliencia de requerimientos ambientales de años secos.....	91
Figura 5.29 Resiliencia de requerimientos ambientales de años húmedos.	91

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.	8
ABSTRACT	8
1 ANTECEDENTES	9
1.1 Introducción	10
1.2 Objetivo general.	14
1.2.1 Objetivos particulares	14
1.3 Hipótesis	14
1.4 Planteamiento del problema	15
2 LA CUENCA DEL RÍO COPALITA	16
2.1 Características hidrológicas.	17
2.1.1 Clima	20
2.2 Delimitación territorial, político-administrativa, demográfica y	22
2.3 Aspectos socioeconómicos.	26
2.4 Descripción de las subcuencas.	33
2.5 Índices de crecimiento	35
3 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	43
3.1 Metodología	44
3.2 Análisis de regresión para estimar datos faltantes.	49
4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	53
4.1 Modelo de Regresión Lineal Múltiple (RLM)	54
4.2 Suposiciones del modelo de RLM	54
4.2.1 Homocedasticidad	55
4.3 Estimación de los coeficientes por mínimos cuadrados	55
4.3.1 Propiedades de los estimadores	57
4.3.2 Intervalos de confianza para los coeficientes de regresión	58
4.4 Correlaciones.	58
4.4.1 La matriz de correlación	59

4.4.2	Coeficientes de correlación múltiple.....	60
4.4.3	Coeficientes de correlación parcial.....	60
4.4.4	Coeficientes de correlación múltiple-parcial.....	61
4.5	Multicolinealidad.	62
4.6	Cadenas de Markov.....	63
4.6.1	Introducción	63
4.6.2	Supuestos de las Cadenas de Markov	64
5.	MODELO ESTOCÁSTICO PARA LA CUENCA DEL RÍO COPALITA.....	70
5.1	Introducción	70
5.2	Metodología y consideraciones	71
5.2.1	Datos de entrada	73
5.2.2	Transformación de datos	74
5.3	Calibración del Modelo.....	77
5.4	Evaluación del Modelo	79
5.5	Escurrimientos Sintéticos para la Cuenca del Rio Copalita	81
5.6	Evaluación de los escurrimientos sintéticos en la cuenca del Río Copalita ..	85
5.6.1	Modelo de gestión WEAP para la Cuenca del Rio Copalita	85
5.6.2	Escenario de Caudales Ecológicos.....	86
5.6.3	Resultados.....	88
5.6.4	Análisis de resultados.....	93
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
	BIBLIOGRAFIA.....	97
	GLOSARIO	99
	ANEXOS.....	101

RESUMEN.

En la presente tesis se desarrolla la construcción de un modelo estocástico para el análisis de escurrimientos sintéticos en la cuenca del Río Copalita. Los escurrimientos sintéticos fueron utilizados para hacer un análisis de incertidumbre en la gestión del agua en la cuenca mediante el uso del modelo de gestión WEAP para la cuenca del Río Copalita. Como ejemplo de este análisis se creó un escenario en el cual se evalúa el abastecimiento de agua para requerimientos ambientales en las estaciones climatológicas de San Miguel Suchixtepec, Pluma Hidalgo y San Francisco Ozolotepec, así como la estación hidrométrica La Hamaca.

El software que se utilizó para la construcción del modelo estocástico es el Stochastic Analysis Modeling and Simulation 2009 (SAMS 2009), el cual es un software que fue desarrollado en Colorado State University. Los datos de entrada abarcan un periodo de 32 años, de 1962 a 1993. Este modelo se utilizó para generar 1,000 series de escurrimientos sintéticos, cada serie con un periodo de 32 años. Se realizó un análisis estadístico a la media anual de las 1,000 series generadas. De este análisis se seleccionaron 10 series representativas, las cuales abarcan diferentes condiciones hidrológicas: Sequia severa y moderada, condiciones normales, condiciones abundantes extremas y moderadas. Los resultados demuestran que en un periodo de recurrencia de 8 años, pueden surgir problemas de abastecimiento.

ABSTRACT.

In this thesis develops the construction of a stochastic model for the analysis of synthetic runoff in the watershed of Rio Copalita. The synthetic runoff were used for analysis of uncertainty in water management in the watershed using the WEAP management model for the watershed of Rio Copalita. As an example of this analysis was created a scenario in which to evaluate the water supply for environmental requirements in the weather stations of San Miguel Suchixtepec, Pluma Hidalgo and San Francisco Ozolotepec, and hydrometric station La Hamaca.

The software used for the construction of the stochastic model is The Stochastic Analysis Modeling and Simulation 2009 (SAMS 2009), which is software that was developed at Colorado State University. The input data cover a period of 32 years, from 1962 to 1993. This model was used to generate synthetic runoff 1.000 series, each series with a period of 32 years. A statistical analysis was realized to the annual average of 1:000 generated series. From this analysis there were selected 10 representative series, which include different hydrological conditions: severe and moderate Drought, normal conditions, abundant extreme and moderate conditions. The results show that a recurrence period of 8 years, supply problems can arise.

1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Introducción

El Río Copalita es una arteria pluvial importante del Estado de Oaxaca, cuya cuenca se ha constituido en eje de diversas funciones hidrológicas, ecológicas, ambientales y socioeconómicas, así como de importantes servicios ambientales, ha sido objeto de diferentes estudios, todos bajo una perspectiva interdisciplinaria, como es el caso de los trabajos coordinados por el Dr. Juan Manuel Navarro Pineda: “Caracterización y diagnóstico de la cuenca hidrológica del Río Copalita, para sustentar el manejo integrado de sus recursos” (2006) y “Conceptualización del proyecto emblemático de la Cuenca del Río Copalita” (2009). Estos trabajos fueron producto del convenio firmado por La Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (Unidad Zacatenco) del Instituto Politécnico Nacional con el Organismo de Cuenca Pacífico Sur de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de Oaxaca.

De estos dos trabajos coordinados por el Dr. Navarro, se ha tomado la mayor parte de la información sobre la cuenca. De hecho, el tema de la presente tesis es parte de las propuestas que surgen, sobre todo, del trabajo “Conceptualización del proyecto emblemático...” en cuyo equipo de trabajo tuve la oportunidad de participar.

Para la realización del modelo estocástico se utilizó el software Stochastic Analysis Modelin and Simulation 2009 (SAMS 2009) que me fue proporcionado por el Dr. Samuel Sandoval Solís, que aunque es de distribución gratuita, no conocíamos el programa. También es importante reconocer al Dr. Sandoval como el creador del modelo de simulación para la cuenca del Río Copalita en el modelo de gestión WEAP.

Para entender la dinámica del agua en un territorio, se debe tener un conocimiento espacial del ciclo hidrológico. Por ello, lo más conveniente es utilizar un enfoque de cuenca para entender las interrelaciones entre los recursos y condiciones naturales (relieve-suelo clima-vegetación), así como las formas de organización que utiliza la población para apropiarse de los mismos y su impacto en la cantidad, calidad y temporalidad del agua. El

enfoque de cuencas nos da la posibilidad de evaluar y de explicar las externalidades resultantes de los diferentes usos del suelo.

Por esta razón se considera que las cuencas hídricas constituyen un marco apropiado para el análisis de los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos suelo, agua y vegetación. Sin embargo, para llevar a cabo estos estudios se requiere que la investigación se realice utilizando herramientas integradoras de conceptos. Sólo este enfoque integrado podrá superar la visión sectorial fragmentada y posibilitará la optimización del recurso hídrico. (Cotler, 2004).

El espacio geográfico que contiene los escurrimientos de agua y que los conducen hacia un punto de acumulación terminal es una cuenca hidrográfica. Cuando el punto de acumulación terminal está en el mar es una cuenca hidrográfica abierta (exorreica), y de otra manera se trata de una cuenca cerrada (endorreica). En las cuencas coexisten todos los tipos de recursos naturales renovables: los hídricos, el suelo, la flora y la fauna. Estos recursos forman parte de los diferentes ecosistemas terrestres y acuáticos del país, cuya existencia depende de las condiciones topográficas y de su localización geográfica. En otras palabras, una cuenca incluye ecosistemas terrestres (selvas, bosques, matorrales, pastizales, entre otros) y ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, humedales, etc.), y sus límites se establecen por el parte aguas desde donde escurre el agua que se precipita en el territorio delimitado por éste, hasta un punto de salida.

Las cuencas están separadas unas de otras por líneas de mayor altura llamadas parte aguas o líneas divisorias. Cerca del parte aguas de una cuenca, los lechos de las aguas son estrechos y pueden contener agua que se desplaza con rapidez. En lugares de menor elevación, la pendiente del terreno disminuye, lo que ocasiona que el agua fluya con más lentitud. Cuando los arroyos pequeños se unen, el ancho del cauce aumenta. Finalmente, el agua se colecta en un río ancho que se vierte a un cuerpo de agua, como un lago o un océano.

La definición de cuenca no tiene que ver con el tamaño del espacio geográfico que la contiene. Por ejemplo, en México existen cuencas hidrográficas de más de 100 000 km², como la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, y de menos de 100 km², como la del río Tizupán en la costa de Michoacán. Las cuencas, entonces, quedan definidas por el origen y el destino del agua y no por su tamaño, que es un concepto diferente.

De acuerdo con los trabajos realizados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), se han identificado 1,471 cuencas hidrográficas en el país, las cuales, para fines de publicación de la disponibilidad de aguas superficiales, se han agrupado y/o subdividido en 728 cuencas hidrológicas.

Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (ver figura 1.1), y estas a su vez están agrupadas en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (ver figura 1.2).

Regiones Hidrológicas



Figura 1.1 Tomado de "Estadísticas del Agua en México", SEMARNAT, 2008.

Las Regiones Hidrológico-Administrativas fueron definidas conforme a la delimitación de las cuencas del país, y están constituidas por municipios completos. Los municipios que conforman cada una de esas Regiones Hidrológico-Administrativas se indican en el Acuerdo de Circunscripción Territorial de los Organismos de Cuenca publicados el 12 de diciembre de 2007 en el Diario Oficial de la Federación (DOF).

La CONAGUA, órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones a través de 13 Organismos de Cuenca (antes conocidos como Gerencias Regionales), cuyo ámbito de competencia son las Regiones Hidrológico-Administrativas.

Regiones Hidrológico-Administrativas



Figura 1.2 Fuente: Comisión Nacional del Agua (2010).

1.2 Objetivo general.

El objetivo de la tesis es el desarrollo de un modelo estocástico para los escurrimientos restituídos, que representen el comportamiento estadístico y probabilístico de los datos hidrológicos de la Cuenca del Río Copalita.

Mediante este modelo será posible generar escurrimientos sintéticos que en conjunto con el modelo de gestión previamente desarrollado para esta cuenca, permitirán realizar análisis de riesgo para el abastecimiento de agua en la Cuenca del Río Copalita.

1.2.1 Objetivos particulares

- a) Realizar el análisis socio-ambiental del deterioro de los componentes ambientales de La Cuenca del Río Copalita, a saber, el suelo, el agua y la vegetación, evaluando las respuestas institucionales para emitir recomendaciones de políticas que fortalezcan el manejo integral de las cuencas hidrográficas.
- b) Desarrollar métodos de análisis, conceptos y técnicas que promuevan el uso de la cuenca hidrográfica como unidad territorial para el manejo y gestión integrada de los recursos naturales para impulsar la formulación de políticas públicas en materia de cuencas hídricas.

1.3 Hipótesis.

A través de la modelación estocástica se pueden simular o restituir, así como pronosticar a corto y mediano plazo, con el fin de implementar las políticas de operación y planeación de obras requeridas en la región. Esta modelación estocástica nos permitirá representar el comportamiento estadístico y probabilístico de los datos hidrológicos, así como realizar el análisis de riesgos para el abastecimiento de agua en la Cuenca del Río Copalita. El modelo también nos permitirá realizar el análisis del deterioro de los componentes ambientales de La Cuenca del Río Copalita, como son, el suelo, el agua y la vegetación. Con el modelo estocástico se pueden desarrollar métodos de análisis, conceptos y técnicas para promover el uso de la cuenca hidrológica como unidad territorial para el manejo y gestión integrada de los

recursos naturales, para impulsar la formulación de políticas públicas en materia de cuencas hídricas.

1.4 Planteamiento del problema.

La Cuenca del Río Copalita, se localiza en las inmediaciones de las Bahías de Huatulco, Oaxaca con una superficie de 1,531 km²; Comprende 19 municipios, con 289 localidades. Su población es de aproximadamente 34,889 habitantes, básicamente de carácter rural. Esta cuenca reviste una gran importancia, pues es la principal fuente de abastecimiento de dicho complejo turístico; sin embargo, ha estado sometida a un fuerte proceso de explotación de sus recursos naturales, principalmente sus bosques y un acelerado proceso de erosión que impacta negativamente al ciclo hidrológico. Como una gran parte de las cuencas en nuestro país, la falta de estaciones hidrométricas y climatológicas, dificulta la predicción de los escurrimientos; en particular, en esta cuenca la única estación hidrométrica, La Hamaca, instalada en enero de 1972, dejó de operar en diciembre de 1990. Debido a esto, el proyecto, propone realizar la investigación mediante el análisis estadístico y probabilístico de los registros hidrométricos de la cuenca, para construir un modelo estocástico (probabilístico) de escurrimientos restituidos que represente los procesos hidrológicos en la cuenca. Este modelo se desarrolló con la información histórica disponible. Además, un análisis anual y mensual de los escurrimientos restituidos fue realizado para representar no sólo la variación anual, sino también la variación estacional de la cuenca. Lo que permitió crear series sintéticas de escurrimientos, los cuales fueron usados en el modelo de gestión de la cuenca. Con el modelo estocástico se generaron de manera suficiente los datos que se utilizaron para evaluar la gestión del agua en la cuenca, bajo diferentes condiciones hidrológicas. Esta investigación podrá ser aplicada en otras cuencas que carezcan de información hidrométrica.

2 LA CUENCA DEL RÍO COPALITA

2.1 Características hidrológicas.

La Cuenca del Río Copalita (ver figura 2.1) se encuentra ubicada en la Región Hidrológica 21, que corresponde a la zona administrativa de la Región V, Pacífico Sur; la corriente de agua más importante es el Río Copalita, cuya cuenca es una de las más extensas de la costa. Esta se origina en el Río Copala, en la zona de los Ozolotepec, descendiendo con dirección sur-sureste en un curso serpenteante, donde recibe por su margen izquierda tres afluentes importantes: San Sebastián o La Venta, San Cristóbal y Yuviaga; a partir de la confluencia con éste último se interna en territorios de San Miguel del Puerto hasta desembocar al mar en la Playa Arena, formando una barra que lleva su nombre.

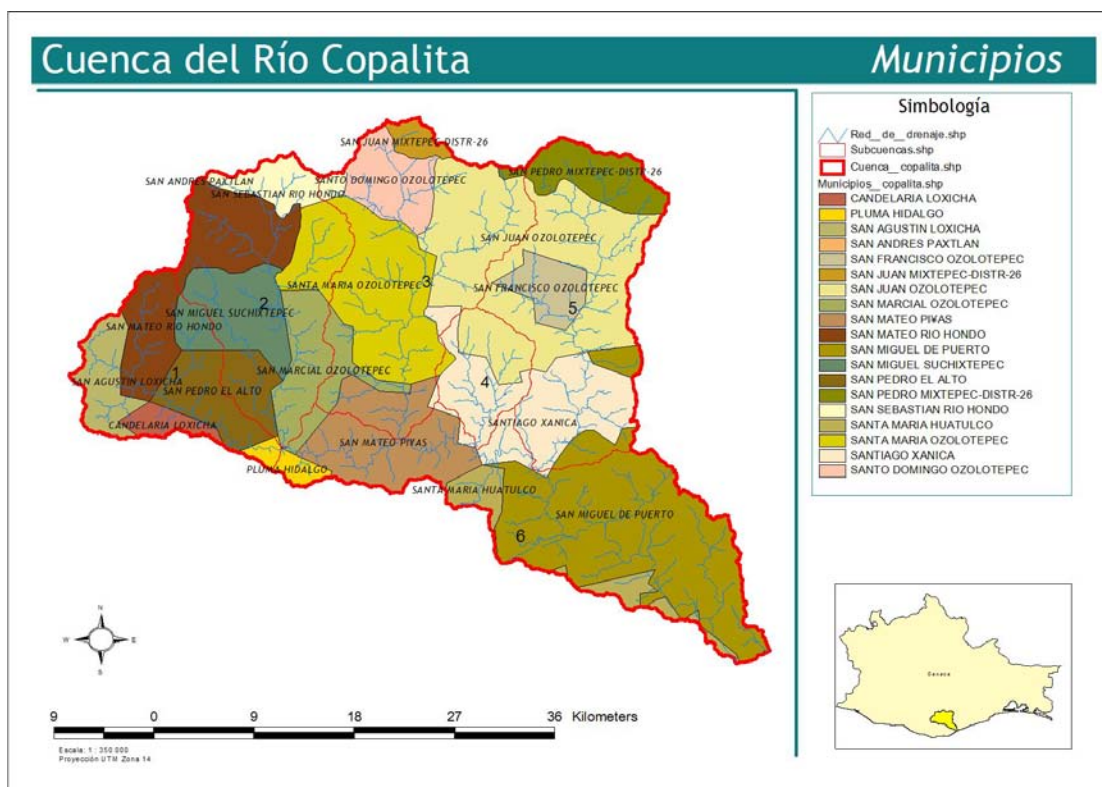


Figura 2.1 Municipios de la Cuenca del Río Copalita

Además de su extensión (la superficie de la cuenca es de 153,249.9 hectáreas), esta cuenca reviste particular importancia para los distintos usuarios del agua que se ubican dentro y fuera de la cuenca, especialmente el Desarrollo Turístico de Huatulco.

La cuenca del Río Copalita, abarca porciones de varias provincias fisiográficas, que representan, en síntesis, las singularidades del relieve del estado de Oaxaca.

❖ Provincia Sierra Madre del Sur

La cuenca del Río Copalita, se ubica en la provincia No. 10, Sierra Madre del Sur y se divide en tres subprovincias que son; por el lado de la zona costera la subprovincia No. 73, denominado “Planicie Costera del Pacífico” (Costas del Sur) y al Norte de ésta la No. 66, “Cordillera Costera del Sur” (Flancos o Cuestas del Sur) y del lado Oeste la subprovincia No. 70, de las “Sierras Orientales”.

❖ Subprovincia No. 73 “Costas del Sur” (Planicie Costera del Pacífico)

Limita al Norte con la subprovincia 66, Cordillera Costera del Sur, y al Sur, con el Océano Pacífico. De carácter alargado y estrecho, ocupa 9,262 km² de la superficie del estado.

La planicie se puede dividir en dos áreas: La occidental, de relieve más suave, en donde se distinguen llanuras, lagunas y lomerías que finalizan en Puerto Ángel, y por el lado oriental, consiste en un relieve premontañoso y de elevaciones medias y bajas que descienden hasta el mar con una línea de costa mixta, de promontorios rocosos en los que se intercalan playas arenosas.

❖ Subprovincia No. 66 “Cordillera Costera del Sur” (Flancos o Cuestas del Sur)

El paisaje está dominado por montañas que limitan al Norte con las “Montañas y Valles del Occidente”, mediante un contacto a lo largo del Río Verde, los “Valles Centrales” y “Las Montañas y Valles del Centro de Oaxaca”. Por todo el flanco sur, limita con la Planicie Costera del Pacífico. Esta provincia posee una extensión de 12,350.15 km².

Esta sierra se extiende paralelamente a la planicie costera y a la línea costera; por tanto, se proyecta igualmente en ese rubro, formando un arqueamiento suave. La distribución topográfica del relieve es contrastante, pues en el sector occidental es esencialmente de montañas medias, ya que

ninguna de sus cúspides rebasa los 3,500 m, mientras que en el sector central se concentran las montañas altas, mayores a esa altitud, para descender nuevamente en la porción oriental de la sierra.

Las formas del relieve son contrastantes; sobresale el complejo edificio de la Sierra Madre del Sur, de orientación paralela a la costa pacífica, con altura máxima de 3,750 msnm; en la porción suroeste, el relieve es de lomeríos suaves con orientación hacia la planicie costera.

La mayor parte de la Cuenca del Río Copalita (más del 80%) pertenece a esta subprovincia.

❖ Subprovincia No. 70 “Sierras Orientales”

Esta subprovincia de las Sierras Orientales de la Sierra Madre de Oaxaca, tiene una superficie de 17,519.95 km², la segunda en extensión; limita al Norte-Noreste con el estado de Puebla; al Norte y Este, con la planicie costera del golfo y al Oeste con la fosa de Tehuantepec, al Sur con los Valles Centrales y Montañas y Valles del Centro de Oaxaca.

De acuerdo con la interpretación de la curva hipsográfica, existe todo un amplio intervalo de categorías altitudinales; dichos valores tienen una base piramidal clara, es decir, los terrenos con mayor superficie se distribuyen hacia los intervalos de baja altitud, pero conviene argumentar que es la base estructural de varios ejes orográficos que cuentan con más de 120 cumbres con altitudes superiores a 2,500 m. La estructura en general es asimétrica, toda vez que las alturas mayores se distribuyen de forma acentuada hacia el poniente y en la porción meridional, ambas vertientes con laderas de longitud corta y de declive pronunciado (mayor de 18°) y cerca de los parte aguas, se presentan pendientes mayores del 30%.

2.1.1 Clima.

La definición de clima considera al conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera, en una zona específica de la superficie terrestre.

El clima a su vez es parte estructural y funcional de los ecosistemas, agrosistemas y sociosistemas, ya que presenta una amplia influencia en las actividades productivas a desarrollarse en los espacios territoriales en donde se manifiesta, define e interactúa entre los diferentes tipos de vegetación y fauna característico de cada región, gracias a procesos de adaptación a las condiciones de temperatura y disponibilidad de agua, es decir, al patrón de lluvias preponderante, así como por la influencia de fenómenos meteorológicos presentes regularmente.

Por su ubicación geográfica, en referencia a la latitud, el país se encuentra entre la zona tropical y la zona templada, debido a que el Trópico de Cáncer lo atraviesa en su parte media; sin embargo, la distribución de los climas es irregular, como consecuencia del relieve accidentado que conforma la orografía de la nación.

La latitud geográfica en la que se encuentra La Cuenca del Río Copalita (entre los 15°46' y 16°14'norte), la sitúa en medio de dos importantes corrientes dentro de la circulación general de la atmósfera (ver figura 2.2).

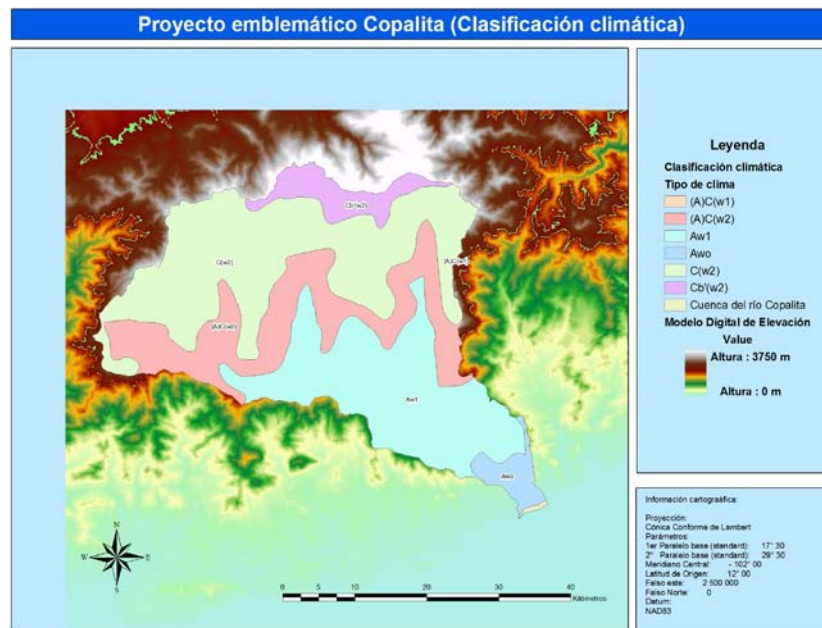


Figura 2.2 Clasificación Climática

1. La región de las corrientes ascendentes ecuatoriales, que se originan a lo largo de la línea del Ecuador por el calentamiento excesivo de esta zona. El aire caliente crea una zona de baja presión atmosférica (por lo que a esta región se le nombra, zona de baja presión ecuatorial), y se eleva verticalmente.
2. La región de las corrientes descendentes subtropicales, que forman en el hemisferio norte, una franja cercana al paralelo 30° y que crea una zona de alta presión atmosférica.

El 47% de la superficie del estado presenta clima cálido subhúmedo que se localiza en toda la zona costera y hacia el este, el 22% presenta clima cálido húmedo localizado principalmente en la región norte, el 16% presenta clima templado húmedo en las partes altas orientales de los cerros Volcán Prieto y Humo Grande; el 11% presenta clima seco y semiseco en la región centro sur y noroeste, el restante 4% presenta clima templado subhúmedo hacia el sur y noroeste del estado en zonas con altitudes entre 2,000 y 3,000 metros.

La temperatura media anual del estado es de 22°C, la temperatura máxima promedio es de 31°C se presenta en los meses de abril y mayo, la

temperatura mínima promedio es de 12.5°C la cual se presenta en el mes de enero.

La precipitación media estatal es de 1,550 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a octubre.

En la zona de la costa, donde se presenta el clima cálido húmedo, favorece el cultivo de frutas tales como: limón, mango, tamarindo, plátano, coco, naranja, papaya, piña, naranja, sandía y melón.

En los municipios de Pluma Hidalgo, Candelaria, Loxicha, Santa María Huatulco, San Miguel del Puerto, San Mateo Piñas, Pochita y Canica se cultiva el “café pluma”, que es una de las variedades de café más apreciada a nivel internacional.

2.2 Delimitación territorial, político-administrativa, demográfica y socioeconómica.

El Estado de Oaxaca se divide en ocho regiones: Cañada, Costa, Istmo, Mixteca, Sierra Norte, Sierra Sur, Papaloapan y Valles Centrales; 30 distritos y 570 municipios.

De acuerdo con la delimitación por el parte aguas, en la cuenca se ubican de forma total o parcial 19 municipios, correspondientes a los distritos de Pochutla y Mihautlán, ubicados en dos regiones diferentes, Región Costa y Sierra Sur, respectivamente, y un total de 289 localidades, con una población al 2010 de 34,889 habitantes. (ver tabla 2.1)

Tabla 2.1 Participación Municipal en la Cuenca del Río Copalita

Municipio	Habitantes 2005	Habitantes 2010	% de aumento	No. de localidades	Localidades Copalita	% localidades Copalita	Población Copalita	% población en la cuenca
Candelaria Loxicha	8,886	9,860	13.52	71	10	14.08	621	6.3
Pluma Hidalgo	3,314	3,060	-7.66	102	17	16.67	135	4.1
San Agustín Loxicha	17,823	22,565	26.61	82	6	9.68	1,151	5.1
San Francisco Ozolotepec	1,835	1,945	5.99	3	3	100.00	1,945	100
San Juan Ozolotepec	2,770	3,168	14.00	8	8	100.00	3,168	100
San Marcial Ozolotepec	1,309	1,525	9.01	25	25	100.00	1,525	100
San Mateo Piñas	2,847	2,226	-15.90	47	32	68.09	1,899	85.3
San Mateo Río Hondo	2,806	3,308	17.89	41	27	65.85	2,689	81.3
San Miguel del Puerto	7,510	8,481	12.93	81	37	60.66	3,901	46
San Miguel Suchixtepec	2,894	2,911	8.05	20	20	100.00	2,911	100
San Pedro el Alto	3,949	3,903	-1.16	29	29	100.00	3,903	100
San Sebastián Río Hondo	3,069	3,644	18.74	16	10	62.50	2,952	81
Santa Ma. Huatulco	33,194	38,629	16.37	73	6	8.22	309	0.8
Santa Ma. Ozolotepec	4,023	3,992	-0.77	28	28	100.00	3,992	100
Santiago Xanica	2,829	2,884	1.94	28	28	100.00	2,884	100
Santo Domingo Ozolotepec	962	913	-5.09	3	3	100.00	913	100
TOTAL	99,515	113,014	13.56	617	289	46.84	34,885	

Fuente: Datos tomados de INEGI (2005 y 2010)

La Región Costa esta formado por 3 distritos: Distrito 21 Jimiltepec, Distrito 22 Juquila y el Distrito 30 Pochutla, donde se ubican los municipios de Candelaria Loxicha, San Agustín Loxicha, Pluma Hidalgo, San Mateo Piñas, San Miguel del Puerto, San Pedro el Alto y Santa María Huatulco (ver figura 2.3).

La región Sierra Sur, tiene 4 Distritos: Distrito 15 Putla, Distrito 23 Sola de Vega, Distrito 26 Miahuatlán, que es donde se ubican los municipios de San Andrés Paxtlán, San Francisco Ozolotepec, San Juan Mixtepec, San Marcial Ozolotepec, San Mateo Río Hondo, San Miguel Suchixtepec, San Sebastián Río Hondo, Santa María Ozolotepec, Santiago Xanica y Santo Domingo Ozolotepec; y el Distrito 27 Yautepec.

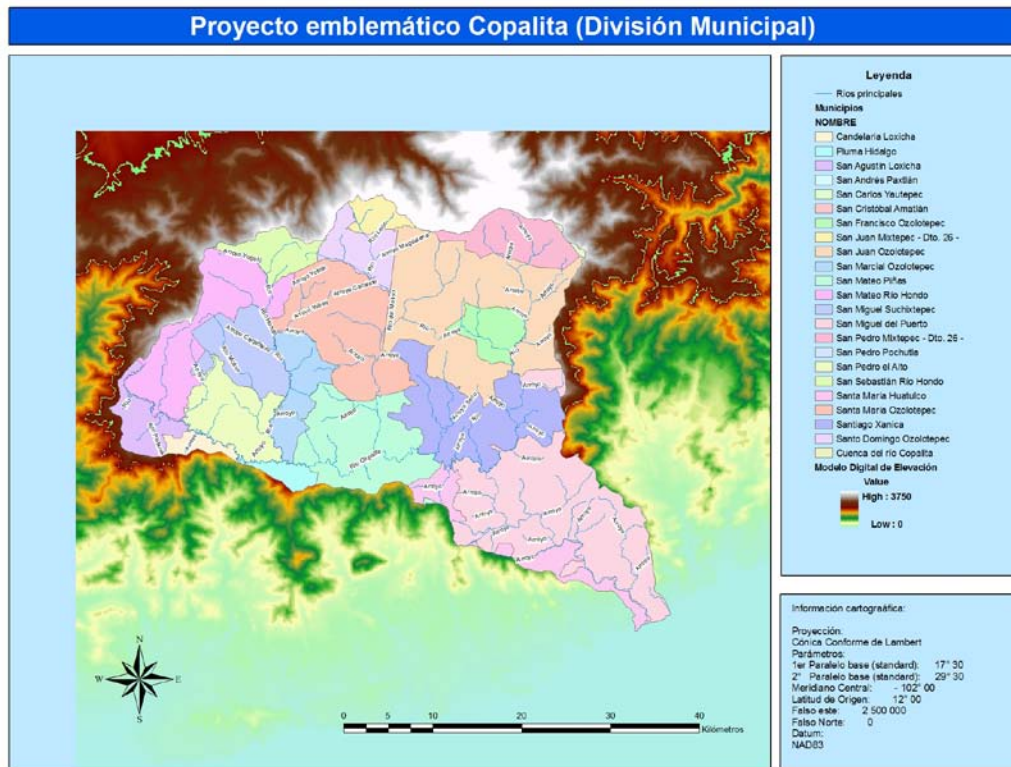


Figura 2.3 División Municipal

Resulta importante señalar que si bien la cuenca abarca una parte del territorio de los municipios de San Andrés Paxtlán, San Mixtepec-Distrito-26 y San Pedro Mixtepec-Distrito-26, ninguna localidad de estos municipios se ubica en la cuenca.

En el contexto Político Administrativo del área de estudio resulta bastante complejo, entre otras razones, porque no sólo interviene la delimitación institucional, la ubicación geopolítica (Regiones y Distritos), sino las formas de propiedad con predominio de las Comunidades Agrarias, así como el sistema de Usos y Costumbres, en un contexto de Alta y Muy Alta Marginación y localidades con el 100% de población indígena; además de una serie de organizaciones que a veces tienen formatos políticos (mesas directivas) o religiosos (cofradías o mayordomías).

En la comunidad existen diferentes niveles de organización, desde la estructura formal del cabildo municipal encabezada por el presidente municipal;

los Bienes Comunales, los Comités que se han incorporado a la estructura de cargos tradicional cívico-religiosa, principalmente ligados a los servicios de educación y salud; los grupos que se forman en relación a los programas institucionales, destacándose el de Procampo y Progresá; las organizaciones de cafecultores y aunque no forman un grupo como tal, los acaparadores locales y regionales del café que también son actores centrales, lo que dificulta la posibilidad de acuerdos en programas comunes.

Sin embargo, como en todas las comunidades agrarias, la asamblea general de comuneros sería la instancia que representa los intereses colectivos de la comunidad y la toma de las decisiones respecto al territorio y sus recursos.

Varias instituciones tanto de carácter técnico, como de organizaciones productivas y de manejo de los recursos naturales, han conformado importantes tendencias desde la perspectiva de política ambiental; de acuerdo con los estudios revisados, entre estas organizaciones destaca el Consejo de Cuenca del Río Copalita, la Comisión Oaxaqueña de Defensa Ecológica (CODE), constituida por varias instituciones coordinadas para el trabajo de conservación en la región, la Sociedad para el Estudio de los Recursos Bióticos de Oaxaca (SERBO, A. C.), el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIDIR), y el Centro de Investigación y Gestión Ambiental (CIGA), Grupo Autónomo para la Investigación Ambiental (GAIA, A. C.).

Así mismo, en este contexto, se destaca la existencia de una Coordinadora Regional, integrada por El Grupo Operativo de Trabajo (GOT); este grupo conformado por las instituciones federales del sector medio ambiente (SEMARNAT, CONAFOR, CONAGUA y PROFEPA), del gobierno del estado de Oaxaca (IEEO) y las instituciones de la sociedad civil (WWF, GAIA y Comunitas), ha venido operando desde el año 2004, con la finalidad de integrar el diagnóstico de las cuencas Copalita, Zimatlán y Huatulco y contribuir a la formación y fortalecimiento del respectivo Comité de Cuenca, así como, a la formulación del correspondiente Programa de Manejo de Cuencas.

A partir de julio de 2005, luego de la reestructuración del Comité de la Cuenca del Río Copalita, este grupo quedó formalmente constituido en Consejo Asesor de dicho Comité.

De acuerdo a SINACRATI, en algunas áreas de la cuenca actúa la Coordinadora Estatal de Productores de Café de Oaxaca (CEPCO), organización que agrupa principalmente a pequeños productores de café de algunas comunidades cafetaleras, en los distritos de la región pero con mayor presencia en las comunidades de los Loxichas del distrito de Pochutla; así como organizaciones no gubernamentales (ONG's) y organizaciones locales y de productores agropecuarios correspondientes, a localidades ubicadas en la Cuenca. (CONAGUA, ESIAZ, 2009)

2.3 Aspectos socioeconómicos.

En la Cuenca del Río Copalita, se desarrollan diversos proyectos productivos y de apoyo al manejo responsable de los recursos naturales, además de las organizaciones y grupos de trabajo académicos y gubernamentales y no gubernamentales, existen otras agrupaciones fuera de las Organizaciones No Gubernamentales ONG (hay que recordar que una ONG, recibe subsidio gubernamental pero goza de autonomía para desarrollar sus actividades) que inciden de forma directa sobre las actividades productivas de la región, algunas organizaciones están constituidas como asociaciones civiles, sociedades cooperativas, instituciones de asistencia privada o bien en asambleas comunales. Es importante señalar y reconocer que las organizaciones que han laborado en esta zona han tenido un papel destacado en el fortalecimiento de la estructura organizativa de las comunidades, y han logrado interactuar de forma práctica con los habitantes, sobre todo, generando redes de productores en lo relativo al café; otras por ejemplo, han apoyado desde el sector educativo con la elaboración de talleres ecológicos contruidos a la par con las personas de las comunidades, en un intercambio de experiencias y aprendizaje recíproco.

En la cuenca se realizan una serie de proyectos asociados a la condición indígena y marginal de sus municipios, los cuales incluyen la variable

ambiental, conformando así un esquema de transversalidad entre lo ambiental, étnico y socioeconómico.

Entre estos programas destaca los implementados por la Comisión de Desarrollo Indígena (CDI), en sus Planes para el Desarrollo Integral, Sustentable y Pluricultural de los Municipios de Oaxaca, aplicados entre otros municipios a San Andrés Paxtlán, San Francisco Ozolotepec, San Marcial Ozolotepec y Santiago Xanica.

De igual forma SEDESOL, en su programa de Micro Regiones, que integra a 14 Secretarías de Estado, tiene incidencia en todos los municipios de la cuenca, destacando de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales el Programa de Desarrollo Regional Sustentable (PRODERS).

La Estrategia Nacional de Atención a Micro Regiones busca propiciar el desarrollo de las localidades que registran los índices de marginación más altos en el nivel nacional. Sustentado en una visión de desarrollo local, Micro Regiones concentra sus acciones en aquellas localidades de la geografía rural donde el aislamiento y la dispersión hacen más profunda la pobreza.

Partiendo de que la unidad de análisis hidrológico es la cuenca, definida como el espacio territorial delimitado por un parte aguas o divisoria topográfica que une los puntos de mayor elevación, a partir del cual escurren las aguas hacia un punto más bajo, en este sentido, se hizo necesario comenzar la regionalización partiendo de la información topográfica del área de estudio.

Para la regionalización de la Cuenca del Río Copalita, se determinó analizarla bajo el concepto de subcuencas, como unidad de análisis espacial y temporal; en estudios realizados en La Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (Unidad Zacatenco) ya mencionadas en la introducción, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, se procedió a definir el parte aguas de la cuenca, la delimitación de las seis subcuencas y el trazo de las corrientes principales y sus afluentes.

La Cuenca del Río Copalita para su estudio, se ha dividido en seis subcuencas las cuales se muestran a continuación:

1. Río Santa Anita.
2. Río la Venta.
3. Río San Cristóbal.
4. Río San Jerónimo.
5. Río Yuviaga.
6. Río San Miguel.

El Río Copalita en su desarrollo principal, escurre en el sur de la cuenca con sentido de escurrimiento de poniente a oriente y la disposición de las subcuencas es tal, que las subcuencas Nos. 1 al 5, son tributarias de la subcuenca 6. La subcuenca 1, Santa Anita se ubica al poniente, la subcuenca 2, Río La Venta y la subcuenca 3, Río San Cristóbal, se ubican al norte; la subcuenca 4, Río San Jerónimo y la subcuenca 5, Río Yuviaga, se ubican al oriente; la subcuenca 6, Río San Miguel, se localiza al sur de la Cuenca del Río Copalita.

Desde el punto de vista fisiográfico, se puede observar que la superficie total de la cuenca del Río Copalita es de 1532.75 km^2 (153274.9 ha), siendo la subcuenca Río San Miguel la de mayor extensión con una superficie de 381 km^2 y la subcuenca Río San Jerónimo la de menor superficie pues tiene 72.8 km^2 (ver figura 2.4).

La pendiente de las subcuencas se ubica en el rango 0.36 a 0.57 de pendiente, correspondiente al rango de 20 a 30° de pendiente de las cuencas.

Los cauces también tienen pendientes fuertes, pues se ubican en el intervalo de 0.20 a 0.37.

Como se observa, también los cauces tienen fuertes pendientes lo cual en determinadas condiciones favorecen la erosión.

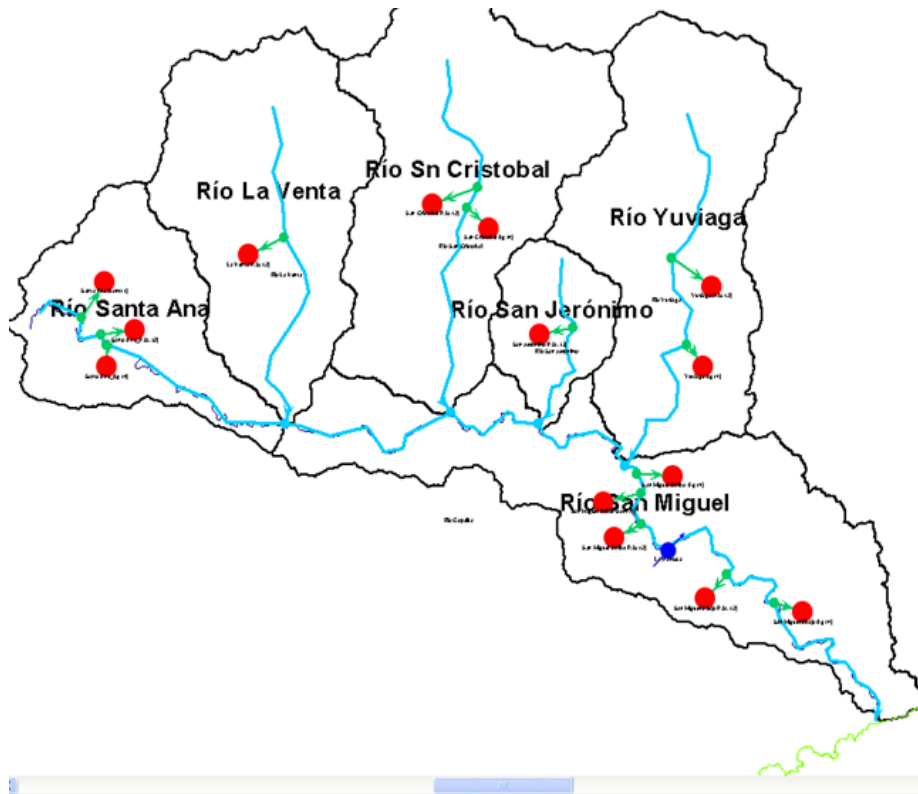


Figura 2.4 Subcuencas del Río Copalita, Oaxaca.

El desarrollo longitudinal de los cauces son cortos, ya que tienen longitudes de los 16 hasta los 42 km, excepto el cauce principal del Río Copalita que tiene una longitud de 78.5 km.

En ellas se identifican los límites de los parte aguas, la forma de la subcuenca, la red de drenaje, el trazo en planta que describen los cauces, los principales afluentes que conforman la red de drenaje, el tipo de la red drenaje, la forma de la confluencia de los cauces y su relación con el tipo de vegetación y procesos de erosión que se presentan a lo largo de su recorrido (ver figura 2.5).

Dado que la cuenca del Río Copalita, se ha estudiado hidrológicamente en la última década por distintas instituciones e instancias, se considera necesaria la utilización de dichos estudios, para integrarlos, actualizándolos en lo posible, de manera tal que permita una visión global de la problemática del agua en la cuenca.

En consecuencia, una parte importante de este trabajo es la interpretación de los estudios hidrológicos anteriores, para que, a partir de sus resultados, con información reciente, se actualicen los mismos.

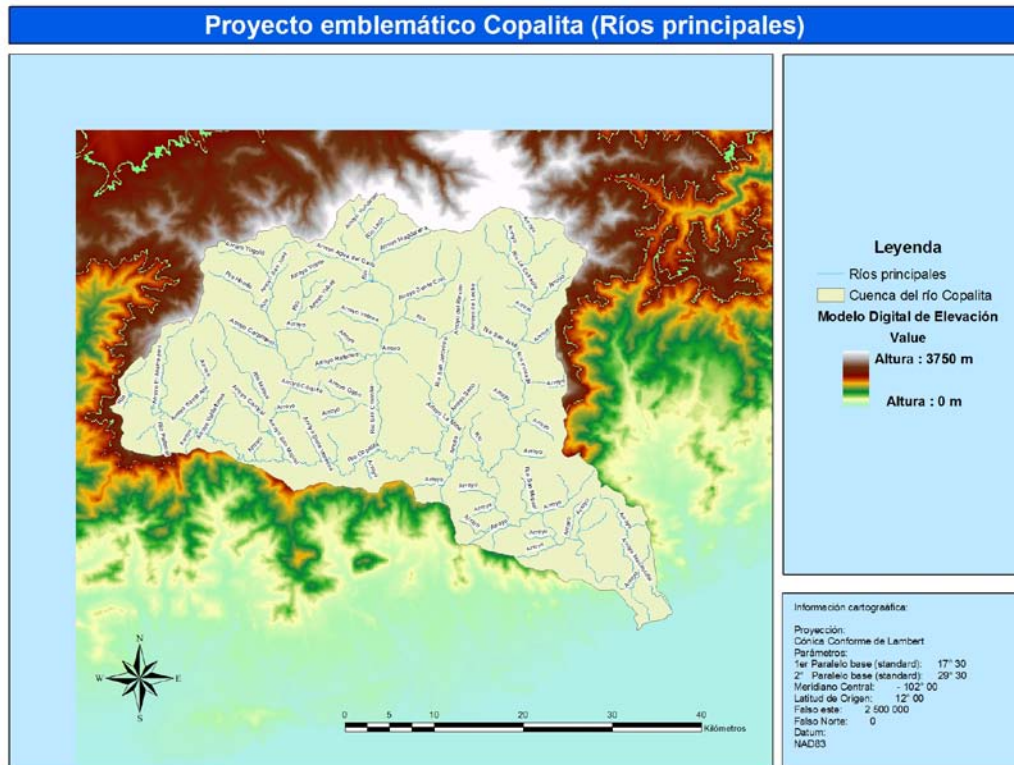


Figura 2.5 Ríos Principales de la Cuenca del Río capitalista

Se está realizando una identificación de factores que incidan en la problemática del agua, para poder establecer una caracterización hídrica a nivel cuenca, subcuenca y municipio. La caracterización debe incluir a la infraestructura relacionada con el agua y las condiciones demográficas.

Para la obtención de la matriz de factores de la problemática del agua, es necesario apoyarse en la siguiente información.

- Servicios Ecosistémicos relacionados con el agua en la cuenca alta del Río Copalita.
- Proyecto diagnóstico integral de la infraestructura hidráulica y sanitaria de las cuencas de los ríos Tonamenca y Copalita.

- Estudio: “Mejoramiento, aprovechamiento y conservación de la cuenca del Río Copalita en bahías de Huatulco, Oaxaca”.
- Balance de aguas superficiales de la cuenca del Río Copalita.
- Base de datos climatológicos ERIC III (IMTA).
- Base de datos del S.M.N.
- Información generada por el presente estudio.

La información se analizará y procesará para generar la Matriz de Factores de la problemática del agua. (Ver anexo 1).

Los municipios identificados en las subcuencas son 19, aunque estos se ubican en varias subcuencas; algunas subcuencas, tienen de 5 a 8 municipios, excepto San Jerónimo, que cuenta con solo dos.

Por lo que respecta a la población total contenida en la cuenca del Río Copalita, ésta es de 34,889 habitantes de acuerdo el censo de INEGI de 2010.

La distribución de la población en la subcuenca se muestra en la tabla 2.2.

La subcuenca con menor población es Río San Jerónimo, además es la de menor extensión. A nivel municipal, la subcuenca Río Santa Anita, tiene un municipio con muy poca población (Pluma Hidalgo con 125 habitantes), y el municipio con mayor población, San Pedro El Alto, con 3,903.

La subcuenca con mayor población es Río La Venta, pues tienen 10,268 individuos. Los seis municipios que integran esta subcuenca tienen más de 1000 habitantes, excepto el municipio Santa Ma. Ozolotepec que cuenta con 598 habitantes.

Tabla 2.2. Población de las subcuencas.

SUBCUENCA	No. HABITANTES (2010)
Río Santa Anita	5638
Río La Venta	10268
Río San Cristóbal	7316
Río San Jerónimo	1451
Río Yuviaga	5080
Río San Miguel	5136
Total	34889

Por lo que respecta a la superficie, la cuenca del Río Copalita tiene una extensión de 1532.75 km^2 y para cada una de las subcuencas se tienen las superficies siguientes, que se presentan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Superficies de las subcuencas.

SUBCUENCA	SUPERFICIE (km^2)
Río Santa Anita	169.35
Río La Venta	265.25
Río San Cristóbal	333.38
Río San Jerónimo	72.67
Río Yuviaga	308.45
Río San Miguel	383.65
Total	1532.75

En general, la extensión municipal está en el rango de 20 a 70 km^2 y sólo tres municipios superan a los 100 km^2 de superficie, Sta. Ma. Ozolotepec, San Juan Ozolotepec y San Miguel del Puerto. Siendo este último el de mayor extensión, con 235.26 km^2 .

La densidad demográfica más baja se tiene en el municipio de San Agustín Loxicha, con un índice de 0.55 hab/km^2 y el más alto lo tiene el municipio San Sebastián Río Hondo con 96.31 hab/km^2 .

2.4 Descripción de las subcuencas.

Subcuenca 1 Río Santa Anita.

En esta subcuenca, se origina el nacimiento del Río Copalita, a una altitud cercana a los 2,250 msnm, descendiendo con una dirección sur, y cambiando posteriormente su orientación con dirección sureste. En su recorrido va formando una serie de meandros irregulares. La red de drenaje asociada al tipo de rocas es de tipo dendrítico. El área de esta subcuenca es de 1693.7 km^2 y la longitud del cauce principal es de 37 km , con una pendiente de 0.372.

Subcuenca 2 Río La Venta.

Los principales cauces que se localizan en esta subcuenca son el Río Molino que se incorpora por la margen derecha al cauce del Río La Venta, del cual adopta su nombre. Su recorrido se presenta con una dirección sur hasta la confluencia con el Río Copalita por su margen izquierda. La red de drenaje es del tipo dendrítico; la pendiente del cauce principal es muy pronunciada, y alcanza un valor de 0.33; la longitud del cauce es de 35.97 km , con una superficie de 265 km^2 .

Subcuenca 3 Río San Cristóbal

Esta subcuenca es una de las más importantes en extensión con una superficie de 335.6 km^2 ; su cauce principal es el Río San Cristóbal que nace a elevaciones del orden de los 3000 m. La longitud del cauce principal es de 38 km , con una pendiente de 0.27. Desciende desde un nacimiento con una dirección sur formando una serie de meandros irregulares, hasta su confluencia por la margen izquierda con el Río Copalita; los ríos Santo Domingo y Santa Cruz, son las afluentes que dan origen al Río San Cristóbal. La forma que adopta la subcuenca es del tipo rectangular. La red de drenaje es del tipo dendrítico.

Subcuenca 4 Río San Jerónimo.

Esta subcuenca es la de menor desarrollo, ya que su superficie es de sólo 73 km^2 ; su cauce principal es el Río San Jerónimo con una longitud del cauce de 16 km ; sin embargo, a pesar de su corto recorrido, la pendiente del cauce es fuerte con un valor de 0.287. En su recorrido con dirección sur, va formando una serie de meandros irregulares hasta su confluencia con el Río Copalita. La red de drenaje es del tipo dendrítico.

Subcuenca 5 Río Yuviaga.

Esta subcuenca, se localiza en la parte este de la cuenca del Río Copalita con una forma sensiblemente rectangular. Su área es de 308 km^2 ; la longitud del cauce es de aproximadamente 42.1 km y su pendiente es de 0.28. En su recorrido con dirección sur, recibe por ambos márgenes el aporte de varios afluentes hasta su confluencia con el Río Copalita, que en este tramo se conoce como Río San Miguel; a lo largo de su recorrido, forma una serie de meandros irregulares y la red de drenaje es del tipo dendrítico.

Subcuenca 6 Río San Miguel.

Esta subcuenca, se localiza en la parte baja de la cuenca y recibe el nombre de Río San Miguel; a lo largo de su recorrido confluyen los cauces de las otras subcuencas; su forma es sensiblemente rectangular muy alargada y en su parte alta, su recorrido es con dirección este, cercano a su parte aguas; aproximadamente a la altura de su parte media, cambia su dirección con orientación sureste, hasta su desembocadura en la barra del Río Copalita. Su área es la mayor de las seis subcuencas con una extensión de 381 km^2 . La longitud del cauce es de 785 km y su pendiente no obstante de ser la parte baja de la cuenca, es muy pronunciada ya que su valor es de 0.20. La red de drenaje es del tipo dendrítico y en su recorrido describe una serie de meandros muy irregulares, que señalan que esta cuenca se encuentra en un proceso inestable en cuanto a su estabilidad dinámica del cauce, lo que se manifiesta en la irregularidad de los escurrimientos superficiales y en el transporte de

sedimentos del cauce tanto por el fondo como en suspensión. (CONAGUA, ESIAZ, 2009).

2.5 Índices de crecimiento

La Cuenca del Río Copalita se encuentra ubicada en el estado de Oaxaca, Oaxaca. Pertenecen a ésta cuenca 19 municipios, que tienen una población aproximada de 34,889 habitantes. Para este trabajo planteamos una comparación entre la Potencialidad de Desarrollo de la cuenca con el Índice de Desarrollo Humano (IDH) que publica el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el cual considera para su análisis tres dimensiones básicas: salud, educación e ingresos. En el informe del 2010 modificaron los indicadores utilizados para medir el progreso en educación e ingresos. En el ámbito de los conocimientos, los años promedio de instrucción sustituyeron a la alfabetización y la matriculación bruta se replanteó como los años esperados de instrucción, es decir, los años de educación que un niño puede esperar recibir dada la tasa de matriculación vigente.

Por nuestra parte, los indicadores que tratamos de incorporar a nuestro análisis para determinar que potencialidad existe en la zona son: Índice de Crecimiento de la Población, Índice de Ocupantes de Vivienda con Disponibilidad de Agua Entubada y un Índice de Escolaridad de la Población Económicamente Activa Ocupada.

Aunque los indicadores que tratamos de analizar no son los mismos que se utilizan para determinar el IDH, consideramos que los resultados deberían de ser parecidos, por lo que nuestra hipótesis es:

El Índice de Potencialidad de la Cuenca del Río Copalita, es similar al Índice de Desarrollo Humano publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Para el Índice de Crecimiento de la Población 2005/2010, consideramos a la población que vive actualmente en los diferentes municipios, y la población que actualmente vive en los municipios que también vivía en los municipios en jun/2005, por lo que el indicador se calculó restándole a la población que vive

actualmente en el municipio, la población que vivía en el municipio en jun/2005 y el resultado se dividió entre la población que vivía en el municipio en jun/2005 (Tabla 2.4). Es decir:

$$\text{Índice de crecimiento} = \frac{\text{Población final} - \text{Población inicial}}{\text{Población inicial}}$$

En el caso del Índice de Ocupantes de Vivienda con Disponibilidad de Agua Entubada, se restó a la población en vivienda con disponibilidad de agua, la población en vivienda con disponibilidad de agua entubada y se dividió entre la población con disponibilidad de agua (Tabla 2.5), es decir:

$$\text{Índice de disponibilidad} = \frac{\text{Población con disponibilidad} - \text{Pob. disp. agua ent.}}{\text{Población con disponibilidad de agua}}$$

Para el Índice de escolaridad de la Población Económicamente Activa Ocupada, se calculó restando, a la Población Económicamente Activa Total, la Población Económicamente Activa Ocupada y se dividió entre la Población Económicamente Activa Ocupada (Tabla 2.6).

$$\text{Índice de Escolaridad de la PEA} = \frac{\text{PEA Total} - \text{PEA Ocupada}}{\text{PEA Ocupada}}$$

Tabla 2.4 Índice de crecimiento

Municipio de residencia actual	Población total con residencia actual en el municipio	Población Total con residencia actual en el Municipio y lugar de nacimiento en la entidad	Población Total con residencia actual en el Municipio y lugar de nacimiento en otro lugar	Porcentaje de la población que nació y vive en el municipio	Porcentaje de la población que vive en el municipio pero nació en otro lugar	Población de 5 años y más con residencia en el Municipio en junio/2005	Población de 5 años y más con residencia en otro lugar en junio /2005.	Porcentaje de la población que vive actualmente en el Municipio y que vivió en otro lugar en junio/2005.	Índice de crecimiento de la población que vive en el municipio 2005/2010
Candelaria Loxicha	9,860	9,796	64	99.35	0.65	8420	161	1.63	0.17
Pluma Hidalgo	3,060	3,036	24	99.22	0.78	2672	37	1.21	0.15
San Agustín Loxicha	22,565	22,506	59	99.74	0.26	19341	148	0.66	0.17
San Francisco Ozolotepec	1,945	1,933	12	99.36	0.62	1677	31	1.39	0.16
San Juan Ozolotepec	3,168	3,158	10	99.68	0.32	2739	7	0.22	0.16
San Martín Ozolotepec	1,525	1,524	1	99.93	0.07	1336	1	0.07	0.14
San Mateo Pinas	2,226	2,212	14	99.37	0.63	2006	20	0.90	0.11
San Mateo Río Hondo	3,308	3,239	69	97.91	2.09	2909	44	1.33	0.14
San Miguel del Puerto	8,481	8,373	106	98.73	1.25	7309	120	1.41	0.13
San Miguel Suchitotpec	2,911	2,885	26	99.11	0.89	2601	54	1.86	0.12
San Pedro el Alto	3,903	3,830	73	98.13	1.87	3254	37	0.95	0.18
San Sebastián Río Hondo	3,664	3,648	16	99.56	0.44	3217	50	1.36	0.14
Santa María Huastulco	38,629	32,718	5911	84.70	15.30	31823	2117	5.48	0.21
Santa María Ozolotepec	3,992	3,978	14	99.63	0.35	3333	25	0.63	0.13
Santiago Xanica	2,884	2,847	37	98.72	1.28	2448	53	1.84	0.18
Santo Domingo Ozolotepec	913	909	4	99.56	0.44	810	10	1.10	0.13
TOTAL	113,034	106,594	6440	94.30	5.70	96349	2815	2.38	0.17

Tabla 2.5 Índice de escolaridad de la Población Económicamente Activa

OCUPANTES DE VIVIENDAS CON DISPONIBILIDAD DE AGUA ENTUBADA EN LOS MUNICIPIOS DE LA CUENCA DEL RÍO COPALITA, OAXACA, OAX.									
Municipio	Total de ocupantes de vivienda con disponibilidad de agua	Total de viviendas con disponibilidad de agua	Total de ocupantes de viviendas con agua entubada ^a	Total de viviendas con agua entubada ^a	Promedio de personas por vivienda con disponibilidad de agua	Promedio de personas por vivienda con agua entubada	Porcentaje de ocupantes de vivienda con disponibilidad de agua entubada	Índice de Ocupantes de Vivienda con Agua Entubada	
Candelaria Lovicha	9860	2095	5432	1183	4.71	4.99	95.09	0.45	
Pluma Hidalgo	3060	665	2330	513	4.60	4.54	76.14	0.24	
San Agustín Lovicha	22469	4366	12886	2530	5.15	5.09	97.35	0.43	
San Francisco Ocototepec	1943	402	1907	393	4.84	4.85	98.05	0.02	
San Juan Ocototepec	3188	639	2996	603	4.96	4.97	94.37	0.05	
San Marcial Ocototepec	1521	328	1310	282	4.64	4.65	86.07	0.14	
San Mateo Pinas	2226	599	1200	258	3.72	4.65	93.91	0.46	
San Mateo Río Hondo	3307	809	2390	592	4.09	4.04	72.31	0.28	
San Miguel del Puerto	8480	1993	6811	1601	4.25	4.25	80.32	0.20	
San Miguel Suchitotepec	2860	585	2502	510	4.89	4.91	87.48	0.13	
San Pedro el Alto	3843	796	2816	578	4.83	4.87	73.28	0.27	
San Sebastián Río Hondo	3664	776	2233	471	4.72	4.74	60.94	0.39	
Santa María Huatulco	37921	9932	32594	8616	3.82	3.78	85.83	0.14	
Santa María Ocototepec	3986	866	3240	702	4.60	4.62	81.28	0.19	
Santiago Xanica	2884	668	1917	452	4.32	4.24	66.47	0.34	
Santo Domingo Ocototepec	913	193	913	193	4.73	4.73	100.00	0.00	
TOTAL	112106	25712	83437	19477	4.36	4.28	74.43	0.26	

^a Incluye: Agua entubada dentro de la vivienda, agua entubada fuera de la vivienda pero dentro del terreno, agua entubada de llave pública y agua entubada que se maneja de otra vivienda

Tabla 2.6 Índice de crecimiento

POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA EN LOS MUNICIPIOS DE LA CUENCA DEL RÍO COPALITA, QUAXACA, OAX.

Municipio	PEA Total por Municipio	PEA Ocupada	Porcentaje de la PEA Ocupada	PEA Ocupada, con por lo menos un grado aprobado de primaria	Porcentaje de la PEA Ocupada con por lo menos un grado aprobado de primaria	Índice de escolaridad de la PEA Ocupada con por lo menos un grado aprobado de primaria
Candelaria Loxicha	2948	2903	98.47	2413	81.83	0.22
Pluma Hidalgo	969	940	97.01	771	79.57	0.26
San Agustín Loxicha	5303	5023	94.28	4282	77.81	0.29
San Francisco Ocoatlotepec	598	595	99.50	420	70.23	0.42
San Juan Ocoatlotepec	879	870	99.43	698	79.77	0.25
San Marcos Ocoatlotepec	363	352	96.97	284	78.24	0.28
San Mateo Pinas	748	743	99.33	629	84.09	0.19
San Mateo Río Hondo	1148	1133	98.69	1024	89.20	0.12
San Miguel del Puerto	2716	2641	97.24	2213	81.48	0.23
San Miguel Suchimiltepec	1010	986	97.62	824	81.58	0.23
San Pedro el Alto	1020	953	93.43	789	77.35	0.29
San Sebastián Río Hondo	1094	1089	99.54	966	88.30	0.13
Santa María Huatulco	16144	15682	97.14	14429	89.38	0.12
Santa María Ocoatlotepec	1024	1023	99.90	870	84.96	0.18
Santiago Xanica	821	777	94.64	601	73.20	0.37
Santo Domingo Ocoatlotepec	223	223	100.00	199	71.30	0.40
TOTAL	37204	35933	96.58	31372	84.32	0.19

Dado que la Cuenca del Río Copalita, solo dispone de la estación hidrométrica La Hamaca, la cual se ubica en la subcuenca, Río San Miguel, el análisis hidrológico de las subcuencas, debe basarse principalmente en la información climatológica.

Por lo tanto, se procedió a identificar a las estaciones climatológicas existentes en la Cuenca del Río Copalita, en la base de datos denominada ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica). Dicha base fue elaborada por el Instituto Mexicano de Tecnología del agua, para la Comisión Nacional del Agua.

El conjunto de estaciones climatológicas identificadas son trece, pero la calidad de la información es deficiente. (Ver anexo 2).

En efecto, el periodo de datos de las trece estaciones tiene disparidades acentuadas, pues algunas estaciones tienen periodos de registros muy cortos, como las estaciones, Santa Ma. Huatulco, El Tapanal y Jalatengo, que tienen 4 y 7 años de registros.

Otro grupo de estaciones tiene registros de 9 a 15 años, como las estaciones San Isidro Chacalapa y San José del Pacífico.

Las estaciones San Francisco Ozolotepec y La Hamaca, tienen 26 y 21 años de registro, respectivamente.

Finalmente, las estaciones San Miguel Suchixtepec y Pluma Hidalgo, son las estaciones que tienen los registros más extensos, pues cuentan con 32 años y 35 años respectivamente.

Las estaciones climatológicas que pueden fungir como estaciones representativas, para la Cuenca del Río Copalita en su totalidad, son las estaciones San Miguel Suchixtepec, Pluma Hidalgo, San Francisco Ozolotepec, y la estación de La Hamaca. Esta representatividad se fundamenta en el área de influencia definida por los polígonos de Thiessen de las subcuencas, en su ubicación dentro de la Cuenca del Río Copalita y en su periodo de datos.

Como consecuencia de lo anterior, se puede describir el régimen pluviométrico correspondiente a las estaciones representativas de San Miguel Suchixtepec, Pluma Hidalgo, La Hamaca y San Francisco Ozolotepec.

Además del régimen pluviométrico, se describirá el comportamiento de temperaturas de las estaciones representativas.

El régimen pluviométrico de la estación climatológica de San Miguel Suchixtepec, se concentra en el periodo mayo-octubre.

Los meses de mayor precipitación corresponden a junio, agosto y septiembre, con precipitaciones del orden de 230 mm mensuales, teniendo en el mes de julio una disminución de la precipitación a 198 mm.

En el periodo comprendido entre noviembre y abril, se tiene la precipitación anual menor, inferior a 40 mm mensuales, siendo el mes de enero el de menor valor de precipitación con 8.3 mm.

Por lo que respecta a la temperatura media mensual, ésta se mantiene prácticamente constante alrededor de los 14°C; la oscilación térmica mensual es de sólo 1.8 °C.

Para la estación climatológica Pluma Hidalgo la precipitación también se concentra entre mayo y octubre, empezando en mayo con una precipitación de 247 mm aumentando en septiembre hasta 531mm. También entre los meses de noviembre y abril, se tiene la precipitación menor, siendo el mes de enero el menor con 34.8 mm.

En cuanto a la temperatura, esta se mantiene constante todo el año entre 19.3°C y 20.9°C.

En el caso de la estación climatológica de San Francisco Ozolotepec, también se tiene una concentración de la precipitación en los meses de mayo a octubre, con precipitación mensual mayor a los 200 mm en los meses: junio, agosto y septiembre. En mayo, julio y octubre oscila entre 106 y 180 mm.

Los meses de noviembre a abril, se observan precipitaciones inferiores a 50 mm, siendo los meses de diciembre y enero los de menor precipitación.

El régimen térmico en la estación Ozolotepec, es también constante, con una temperatura media mensual de 15°C y una oscilación de 1.8°C.

Finalmente, en el caso de la estación climatológica La Hamaca, la concentración de la precipitación es de mayo a octubre, con el 95% de la precipitación anual.

En los meses de junio y septiembre se cuenta con precipitaciones de 347 y 317 mm respectivamente y en julio de 183 mm.

En los meses de secas, las precipitaciones no rebasan los 40 mm. El mes de precipitación mínima es en enero.

La temperatura media mensual en La Hamaca es de 24.6°C, con una oscilación entre el mes más frío y el más caliente de 3.4°C.

Del análisis anterior, se desprende que las estaciones Suchixtepec y San Francisco Ozolotepec, tienen un régimen pluvial y térmico muy similar; en contraparte, en las estaciones Pluma Hidalgo y La Hamaca, se tienen mayores precipitaciones y temperaturas. Las cuatro estaciones presentan el mismo patrón de distribución de la precipitación.

3 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1 Metodología.

Es una condición básica del tratamiento estadístico de datos, que éstos sean de la misma naturaleza, del mismo origen, obtenidos mediante observaciones y mediciones que hayan seguido procedimientos y métodos semejantes.

Cuando se trabaja con series de datos climatológicos disponibles, el primer problema consiste en determinar la homogeneidad de la muestra, ya que muchas de éstas no cumplen con esta condición esencial y lo que es peor, no se tiene ningún registro documental de las posibles heterogeneidades.

Se dice que una serie de datos es homogénea, si es una muestra proveniente de una única población. Por lo tanto, una serie climatológica es por definición homogénea y solo se le deben aplicar análisis probabilísticos elementales.

Si la serie no es homogénea se le deben hacer ajustes o correcciones para volverla homogénea, de manera que las estimaciones estadísticas muestrales sean estimaciones válidas de los parámetros poblacionales. (Campos Arana, 1992).

Existen varios métodos para determinar la homogeneidad de una serie climatológica. En la presente tesis los métodos que se utilizan son: La Prueba Estadística de Helmert y La Prueba de Secuencias (tabla 3.1). La primera consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada año, con respecto a su media. Si en dos años o más se tiene un mismo signo en forma consecutiva, entonces se crea una secuencia (S). Por el contrario si de un año a otro, la serie tiene signos contrarios, entonces tenemos un cambio (C). Cada año, excepto el primero, definirán una secuencia o un cambio. (Campos Arana, 1992). Si la serie es homogénea, la diferencia entre las secuencias y los cambios debe ser cero, considerando un cierto límite de error. Es decir, $S - C = 0 \pm \sqrt{n-1}$, o bien, $S - C = \pm \sqrt{n-1}$.

Tabla 3.1 Precipitación anual en la Estación San Miguel Suchixtepec, Oax.
Aplicación de las pruebas estadísticas de Helmert y de las secuencias.

Año	Precipitación anual (mm)	Test de Helmert		Test de las secuencias			Año	Precipitación anual (mm)	Test de Helmert		Test de las secuencias		
1962	1071.5	-		-	B	1	1978	1360.2	+	C	+	A	10
1963	1129.1	-	S	-	B		1979	1258.9	+	S	+	A	
1964	1306.7	+	C	+	A	2	1980	937.2	-	C	-	B	11
1965	1805.3	+	S	+	A		1981	1773.8	+	C	+	A	12
1966	1282.8	+	S	+	A		1982	1066.5	-	C	-	B	13
1967	1369.2	+	S	+	A		1988	970.1	-	S	-	B	
1968	1053.2	-	C	-	B	3	1984	1351.6	+	C	+	A	14
1969	1253.3	+	C	+	A	4	1985	904.3	-	C	-	B	15
1970	614.7	-	C	-	B	5	1986	1229.0	+	C	+	A	16
1971	1323.3	+	C	+	A	6	1987	1024.1	-	C	-	B	17
1972	1122.3	-	C	-	B	7	1988	1122.5	-	S	-	B	
1973	1153.9	-	S	+	A	8	1989	899.1	-	S	-	B	
1974	1510.0	+	C	+	A		1990	1127.9	-	S	-	B	
1975	1403.6	+	S	+	A		1991	1033.4	-	S	-	B	
1976	958.4	-	C	-	B	9	1992	1229.5	+	C	+	A	18
1977	1089.2	-	S	-	B		1993	1330.4	+	S	+	A	

Si el número de secuencias es mayor que el número de cambios, algún tipo de variación en la media o una tendencia en los datos crean la inconsistencia del registro. Tal condición se puede desarrollar con un cambio en el emplazamiento de la estación pluviométrica. Por el contrario, si el número de cambios es mayor que el número de secuencias, alguna forma de oscilación del valor medio estará presente y su causa deberá ser investigada con más detalle. (Campos Arana. 1992)

Por otro lado, La Prueba Estadística de las Secuencias, utiliza la mediana como valor central. Y se realiza contando el número de secuencias o rachas (u) de la serie, arriba o debajo de la mediana. Se marca con una A si el dato de la serie está arriba de la mediana y con B si está por abajo. La serie será homogénea si el número de secuencias (u) cae dentro del rango marcado por la tabla 3.2, para el número de años de registro de la serie.

Tabla 3.2 Rango del número de secuencias (u)
para un registro homogéneo

Número de Datos (n)	Rango de u	Número de Datos (n)	Rango de u
12	5 – 8	32	13 – 20
14	5 – 10	34	14 – 21
16	6 – 11	36	15 – 22
18	7 – 12	38	16 – 23
20	8 – 13	40	16 – 25
22	9 – 14	50	22 – 30
24	9 – 16	60	26 – 36
26	10 – 17	70	31 – 41
28	11 – 18	80	35 – 47
30	12 - 19	100	45 – 57

Tomado de: Campos Aranda. 1992

Según los resultados de las dos pruebas, la serie de datos de la estación San Miguel Suchixtepec, es homogénea. Al aplicarse las pruebas a las estaciones Pluma Hidalgo, San Francisco Ozolotepec y La Hamaca, resultó que sólo la Estación Pluma Hidalgo es una serie no homogénea.

Los métodos anteriores, sólo nos permiten detectar series no homogéneas, por lo que es necesario utilizar el método de dobles masas, que además de detectar series no homogéneas permite corregirlas.

Se analiza la consistencia de una serie de valores de algún elemento hidrometeorológico medido en la estación "X". Con base en los datos tomados en otra estación o grupo de estaciones "Y", situadas en una zona climática similar y cuya homogeneidad haya sido verificada. Este sistema de homogeneización de series se utiliza cuando puede suceder un cambio relativo en la variable observada, medida o registrada en una estación meteorológica. El método puede ser aplicado también, con mucho éxito en la interpolación para el relleno de datos faltantes y la extrapolación para extender una serie incompleta al periodo de comparación (normalmente de 30 años).

Si se toma por caso la precipitación, en el análisis de dobles masas se compara la lluvia anual o mensual (valores acumulados), con la precipitación anual o mensual, acumulada de otra estación o grupo de estaciones. Graficando estas dos variables se observa si se presenta un cambio de

pendiente, el cual solo puede deberse a causas diferentes a las meteorológicas.

En casos extremos, cuando sólo existe una estación de referencia los datos acumulados de esta serie pueden servir como base de comparación, aunque en estos casos el método puede llegar a no tener ninguna significación.

Luego se aplica también la acumulación a la estación problema y se construye un diagrama cartesiano, tomando como abscisas los valores acumulados de la serie base y como ordenadas los de la estación problema. Si todos los puntos aparecen sobre una línea recta, los datos iniciales de la estación problema son válidos sin corrección.

En caso de presentarse cambio de pendiente es necesario reestablecer la homogeneidad bajo las condiciones del tramo más confiable, generalmente es el primero, o sea el correspondiente al último periodo y realizar el ajuste con base en la relación de las pendientes de los dos segmentos de la curva de dobles masas. La relación proporciona una constante K , que multiplicada por los valores inconsistentes de la estación analizada X , permite el ajuste de la serie.

Los datos climáticos o hidrológicos por las características de su registro, presentan normalmente vacíos en las series de datos, llamados también lagunas de información.

La aparición de estas discontinuidades en las series temporales de variables climáticas, ya sea porque el dato no se ha observado o porque se sabe que es erróneo, representa muchas veces una restricción al uso simultáneo de los registros obtenidos en distintos puntos de una región.

Los métodos a utilizar para la complementación o relleno de datos faltantes se ordenarán según el tipo de la región abarcada y la fundamentación matemática que los sustenta, mientras que el análisis de los métodos se apoya en la validez de la aplicación para distintos niveles de agregación, es decir

mensual, estacional o anual y para distintas variables meteorológicas, como por ejemplo la temperatura, la precipitación o el caudal.

Los métodos de relleno o complementación de datos faltantes se basan en suponer que existe una estructura de dependencia espacial que permite, para cada intervalo de tiempo, completar el valor faltante o con información regional. La información regional puede abarcar otras variables relacionadas que puedan ser explicativas de la variable con datos faltantes.

Las metodologías que permiten completar las series suponen, como es lógico, una región del espacio dentro de la cual son aplicables, la extensión dependerá de la precisión que se exija para el relleno, de la variable que se trate y del nivel temporal al cual se pretende completar valores. Por lo tanto, antes de elegir la metodología de relleno para completar una serie climática o hidrológica hay que tener en cuenta:

- a) Nivel de agregación temporal de los vacíos (o datos erróneos a corregir)
- b) La unidad física o región en la que se encuentra la estación a completar.
- c) La exactitud o margen de error que permite el estudio.

La respuesta a estas preguntas se encuentra implícita en las características de homogeneidad y en la uniformidad de la variable analizada.

La homogeneidad de los campos será mayor en el caso de la variable temperatura por ser de tipo continuo en comparación con la precipitación, por ejemplo. Asimismo, puede afirmarse sobre la mayor uniformidad de los campos anuales con respecto a los mensuales, puesto que los primeros al ser promedio de varias situaciones resultan más suaves y estables.

Es conveniente verificar la homogeneidad regional, lo que implica, analizar las condiciones orográficas, cobertura vegetal, vientos predominantes, pendientes, etc. Una mayor uniformidad en las variables o adoptar intervalos de tiempo mayores (anual) facilita el relleno de vacíos en las series temporales.

3.2 Análisis de regresión para estimar datos faltantes.

Un método que se puede aplicar es el de estimación de coeficientes de regresión, con la ayuda de una o varias estaciones cercanas que cuenten con una serie confiable de observaciones durante un período compartido. Se sugieren diversos esquemas: Regresión lineal simple o con datos transformados, regresión con una estación vecina o varias. Se pueden aplicar, por ejemplo, software específico para el relleno de estas lagunas, como SAMS 2009, Hidrobas, etc; que cuentan con gráficos y parámetros de la bondad del ajuste, prestando atención a la correlación existente entre las variables independientes.

Como antes se menciona, la falta de información en la cuenca es un problema, por lo que tenemos que recurrir a las matemáticas para poder recuperar alguna información faltante (en algunos casos es posible) y así lograr armar nuestro modelo.

Un método muy utilizado cuando tenemos información faltante es el análisis de correlación, si disponemos de dos series de datos emparejadas, con frecuencia es útil conocer si ambas variables están relacionadas, y, en caso afirmativo, encontrar la expresión que refleja dicha relación. Si la ecuación que mejor relaciona dichas variables es la de una recta, decimos que existe correlación lineal.

Un ejemplo puede ser la pluviometría registrada en dos estaciones próximas (tabla 3.3). Si la pluviometría es similar en ambos puntos, sería de gran utilidad cuantificar esa relación, pues de ese modo podríamos evaluar, aunque fuera de modo aproximado, la pluviometría de un lugar a partir de la registrada en el otro. Consideremos a “x” como la estación A y a “y” como la estación B.

Tabla 3.3 Datos
Estaciones A y B

Año	x	y
1970	106.5	
1971	29.9	
1972	75.3	20.0
1973	44.0	26.3
1974	182.0	227.0
1975	177.0	149.9
1976	71.2	68.2
1977	122.0	149.1
1978	208.0	231.6
1979	141.0	137.0
1980	80.0	36.0
1981	99.0	68.7
1982	228.1	232.0
1983	10.7	6.2
1984	170.1	226.6
1985	76.1	
1986	162.6	
1987	73.3	0.0
1988	23.0	16.6
1989	132.7	
1990	105.6	

En este ejemplo, la correlación es 0.94 y la recta de ajuste es: $y = 1.2557x - 36.625$. Supongamos que para un año conocemos el valor de $x = 106.5$ en el punto A, pero no lo tenemos para el punto B. Entonces se podrá estimar mediante la relación anterior: $y = (1.2557)(106.5) - 36.625$, entonces $y = 97.11$

La relación entre dos variables (como las dos columnas de datos anteriores) puede ser lineal, exponencial, polinómica, etc. Es decir: que aunque los puntos no estén alineados puede que tengan una fuerte correlación, pero no lineal (por ejemplo: $y = x^2 + 2.3$).

Le llamamos recta de regresión a la recta que atraviesa la nube de puntos y que mejor se ajusta a ellos (figura 3.1). Supongamos que medimos la distancia vertical de cada punto a la recta. La recta buscada sería aquella para la que la suma de estas distancias fuera mínima.

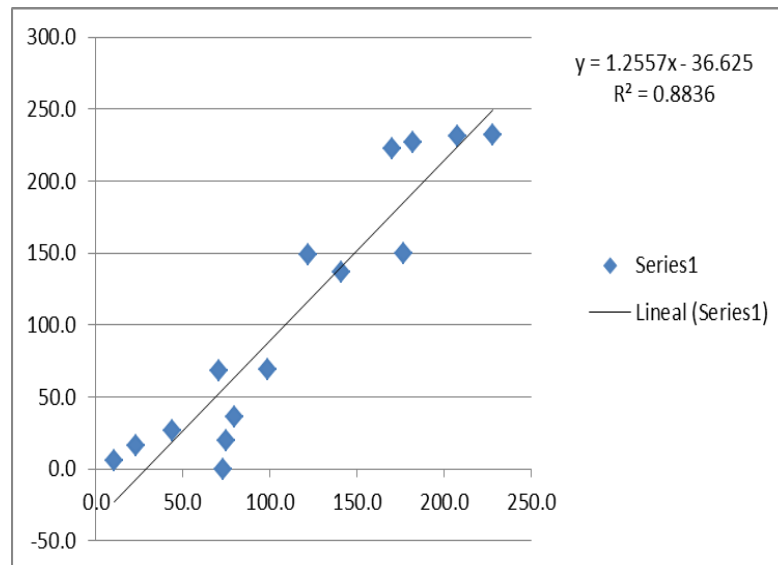


Figura 3.1 Recta de regresión de las estaciones A y B

Sabemos que la ecuación de una recta es: $y = ax + b$, donde a es la pendiente de la recta,. Así, por ejemplo, en la ecuación de más arriba la pendiente de la recta es 1.2557 y la ordenada en el origen (altura a la que la recta corta el eje vertical) sería -36.625.

Para determinar el grado de relación que hay entre dos variables, usamos el Coeficiente de Correlación de Pearson (r). Si la relación es lineal perfecta, r será 1 ó -1. El coeficiente r será positivo si la relación es positiva (al aumentar x aumenta y), y r será negativo en el caso contrario (si al aumentar x , disminuye y).

En general, valores (absolutos) de $r > 0,80$ se consideran altos, aunque esto depende del número de parejas de datos con las que hemos realizado el cálculo y del nivel de seguridad con el que queramos extraer nuestras conclusiones (Escalante, Reyes, 2005).

No vamos a entrar en el estudio del nivel de significación del coeficiente r , pero como indicación: para 11 parejas de datos, y si admitimos un 5% de

posibilidades de equivocarnos, con $r > 0,553$ ya podemos decir que ambas series de datos no son independientes (parece que tienen algún tipo de relación). Si tuviéramos 50 parejas de datos, nos bastaría $r > 0,273$ para sacar la misma conclusión (siempre considerando el valor absoluto de r).

Si nos ponemos más estrictos, y queremos sacar la conclusión de que las dos series no son independientes con un 99% de seguridad (sólo un 1% de posibilidad de error), con 11 parejas necesitamos que $r > 0,684$ y con 50 parejas $r > 0,354$.

Para utilizar este coeficiente hay que tomar las siguientes precauciones:

1. El que estemos seguros de que ambas series están relacionadas, **no** quiere decir que la relación sea tan estrecha como para estimar valores de **y** desconocidos a partir de valores de **x** conocidos; eso dependerá del error de estimación que aceptemos.
2. La existencia de una correlación no indica relación causa-efecto.

4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.1 Modelo de Regresión Lineal Múltiple (RLM)

El Análisis de Regresión Lineal Múltiple nos permite establecer la relación que se produce entre una variable dependiente Y y un conjunto de variables independientes (X_1, X_2, \dots, X_k). El análisis de regresión lineal múltiple, es importante porque se aproxima más a situaciones de análisis real puesto que los fenómenos, hechos y procesos sociales, por definición, son complejos y, en consecuencia, deben ser explicados en la medida de lo posible por la serie de variables que, directa e indirectamente, participan en su concreción.

Un modelo de RLM tiene la forma $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + E$

Donde: $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ son los coeficientes de regresión que necesitan ser estimadas y las X_1, X_2, \dots, X_k son las variables independientes (Variables Básicas) que pueden ser todas distintas o bien función de algunas básicas, por ejemplo:

$$X_3 = X_2^2; \quad X_4 = X_1 X_2$$

El modelo admite una expresión equivalente en forma matricial:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \cdots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \cdots & X_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \cdots & X_{kn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} B_0 \\ B_1 \\ \vdots \\ B_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_0 \\ E_1 \\ \vdots \\ E_n \end{pmatrix}$$

En forma reducida: $Y = X * \beta + E$ ecuación (1)

4.2 Suposiciones del modelo de RLM.

Para cada combinación específica de las variables X_1, X_2, \dots, X_k , la variable dependiente Y es una Variable Aleatoria Univariada con cierta distribución probabilística. Las observaciones Y_i (o los errores E_i) son estadísticamente independientemente uno de otro.

El valor esperado Y para combinación específica de X_1, X_2, \dots, X_k es una función lineal de X_1, X_2, \dots, X_k , esto es:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad \text{ecuación (2)}$$

o bien

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + E \quad \text{ecuación (3)}$$

donde E es el error aleatorio que refleja la diferencia entre una observación individual y su verdadero valor esperado $\mu_{y/X_1 \dots X_k}$. (Ecuación de regresión o superficie de respuesta).

4.2.1 Homocedasticidad.

La Homocedasticidad se da cuando la variación respecto de la ecuación de regresión es igual para todos los valores de las variables independientes.

$$\text{Var}(Y / X_1 \dots X_k) = \sigma_{Y/X_1, X_2, \dots, X_k}^2 = C_2 \text{ (Constante)} \quad \text{ecuación (4)}$$

o bien

$$\text{Var}(E) = \sigma^2 \quad \text{ecuación (5)}$$

$$Y \sim N(\mu_{y/X_1 \dots X_k}, \sigma^2), \text{ o bien } E \sim N(0, \sigma^2)$$

Esta suposición no es necesaria para ajustar el modelo de RLM por Mínimos Cuadrados (MC) pero si lo es para hacer inferencia estadística.

4.3 Estimación de los coeficientes por mínimos cuadrados.

Para estimar los coeficientes de regresión del modelo de RLM por el método de mínimo cuadrados (MC), se minimiza la suma de cuadrados del error, esto es, la función.

$$Q = F(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k) = \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \dots - \beta_k X_{ik})^2 \quad \text{ecuación (6)}$$

Se deriva parcialmente respecto a cada β_i , se iguala a cero cada ecuación, y se resuelve simultáneamente el sistema de ecuaciones que se acostumbra llamar “ecuaciones normales”. En forma matricial las ecuaciones normales quedan expresadas de la siguiente manera.

$$\begin{pmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 & \dots & \sum X_k \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 & \dots & \sum X_1 X_k \\ \sum X_2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 & \dots & \sum X_2 X_k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum X_k & \sum X_1 X_k & \sum X_2 X_k & \dots & \sum X_k^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \\ \vdots \\ \sum X_k Y \end{pmatrix}$$

En forma reducida: $(X'X)\beta = X'Y$ ecuación (7)

Cuya solución es: $\hat{B} = (X'X)^{-1} X'Y$ ecuación (8)

El procedimiento matricial para obtener el sistema de ecuaciones normales es:

$$Y = X\beta + E$$

$$E = Y - X\beta \Rightarrow Q = E'E = (Y - X\beta)'(Y - X\beta)$$

$$Q = Y'Y - \beta'X'Y - Y'X\beta + \beta'X'X\beta$$

$$= Y'Y - 2Y'X\beta + \beta'X'X\beta$$

$$\therefore \partial Q / \partial \beta = 0 - 2X'Y + 2X'X\beta = 0 \quad \text{ecuación (9)}$$

$$\Rightarrow X'X\beta = X'Y$$

Ecuaciones Normales

4.3.1 Propiedades de los estimadores.

Propiedad 1.- (Insesgamiento). Un estimador es insesgado cuando el valor esperado del estadístico es igual al valor del parámetro. El valor esperado o esperanza del estadístico es la media de la distribución muestral del estadístico.

$$E(\hat{B}) = \beta \text{ Esto es } E(\hat{B}_i) = \beta_i \quad i = 0, 1, \dots, k \quad \text{ecuación (10)}$$

Propiedad 2.- $\text{Var}(\hat{B}) = (X'X)^{-1} \sigma^2 =$

$$C = \begin{pmatrix} \sigma_{\hat{\beta}_0}^2 & \sigma_{\hat{\beta}_0 \hat{\beta}_1} & \cdots & \sigma_{\hat{\beta}_0 \hat{\beta}_k} \\ & \sigma_{\hat{\beta}_1}^2 & \cdots & \sigma_{\hat{\beta}_1 \hat{\beta}_k} \\ & & \ddots & \\ & & & \sigma_{\hat{\beta}_k}^2 \end{pmatrix}$$

Propiedad 3.- Si $Y \sim N(\mu_y / X_1, \dots, X_n, \sigma^2)$

$$\Rightarrow \hat{B}_i \sim N(\beta_i, \sigma_{\hat{B}_i}^2)$$

Propiedad 4.- La correlación entre Y y \hat{Y}

$$r_{Y, \hat{Y}} = \frac{\sum (Y - \hat{Y})(\hat{Y} - \bar{Y})}{\left[\sum (Y - \hat{Y})^2 \sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \text{ es máxima} \quad \text{ecuación (11)}$$

En el sentido de que para cualquier otra Y^* se tiene que

$$r_{Y, \hat{Y}} \geq r_{Y, Y^*}$$

Estimador de σ^2 y de la matriz de Varianza – Covarianza. Un estimador de σ^2 el cual es insesgado sí y solo sí el modelo de RLM propuesto es correcto esta dado por.

$$s^2 = CME = \frac{SCE}{gl} = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - (k + 1)} =$$

$$= \frac{(\hat{Y} - Y)'(\hat{Y} - Y)}{n - (k + 1)} = \frac{Y' [I - X(X'X)^{-1}X'] Y}{n - (k + 1)} \quad \text{ecuación (12)}$$

4.3.2 Intervalos de confianza para los coeficientes de regresión.

Bajo la suposición de que Y tiene una distribución normal se presentan los siguientes dos casos:

- a) Intervalo de confianza para cada uno de los coeficientes de regresión de tamaño $1 - \alpha$

$$p \left[\hat{\beta}_i - t_{\frac{\alpha}{2}, n - (k + 1)} \sigma_{\hat{\beta}_i} \leq \beta_i \leq \hat{\beta}_i + t_{\frac{\alpha}{2}, n - (k + 1)} \sigma_{\hat{\beta}_i} \right] = 1 - \alpha \quad \text{ecuación (13)}$$

- b) Intervalo de Confianza para una combinación lineal de los β_i de la forma $\underline{\ell}'\beta$ donde $\underline{\ell}'$ es un vector conocido.

$$\text{Se tiene que } \text{Var}(\underline{\ell}'\beta) = \underline{\ell}'(X'X)^{-1}\ell S^2 = \underline{\ell}'C\underline{\ell}$$

y un Intervalo de Confianza de tamaño $1 - \alpha$ para $\underline{\ell}'\beta$ está dado por:

$$p \left[\underline{\ell}'\hat{\beta} - t_{\frac{\alpha}{2}, n - (k + 1)} \sqrt{\underline{\ell}'C\underline{\ell}} \leq \underline{\ell}'\beta \leq \underline{\ell}'\hat{\beta} + t_{\frac{\alpha}{2}, n - (k + 1)} \sqrt{\underline{\ell}'C\underline{\ell}} \right] = 1 - \alpha$$

ecuación (14)

4.4 Correlaciones.

Múltiple, parcial y múltiple parcial. Para un modelo de Regresión Lineal Simple (RLS) $Y = \beta_0 + \beta_1 X + E$, el coeficiente de correlación r tiene las siguientes características:

- 1.- El coeficiente de determinación r^2 mide la fuerza de la relación lineal entre las variables Y y X .

2.- $r^2 = \frac{SC_T - SC_E}{SC_T}$ es la reducción en la suma de cuadrados total que se

obtiene por haber usado X para predecir Y .

3.- r es una estimación del coeficiente de correlación poblacional ρ , el cual describe la correlación entre X y Y .

$$\rho = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X)} \sqrt{Var(Y)}}$$

4.- r puede usarse como índice general de la asociación lineal entre las variables aleatorias X , Y .

4.4.1 La matriz de correlación.

Cuando se considera un conjunto de más de una variable independiente, la correlación r entre todos los pares de variables se presentan en forma de una matriz que recibe el nombre de matriz de correlación.

Por ejemplo, si se considera 3 variables independientes X_1, X_2, X_3 y una variable dependiente Y la matriz de correlación tiene la siguiente forma:

$$r_{Y/X} = \begin{bmatrix} 1 & r_{Y_1} & r_{Y_2} & r_{Y_3} \\ & 1 & r_{12} & r_{13} \\ & & 1 & r_{23} \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

Donde r_{y_i} es el coeficiente de correlación entre Y y X_i , r_{1m} es el coeficiente de correlación entre X_1 y X_m .

4.4.2 Coeficientes de correlación múltiple.

Dado que las variables independientes se encuentran correlacionadas entre si no es posible adicionar los coeficientes de correlación r_{y_i} (esto es, sumar $\sum_{i=1}^n r_{y_i}$) para obtener el porcentaje total de la fuerza de la relación lineal existente entre Y y las X_1, X_2, \dots, X_i .

El coeficiente de correlación múltiple denotado por $R_{Y/X_1, X_2, \dots, X_k}$ mide la asociación lineal total existente entre una variable dependiente Y y varias variables independientes.

Su forma de determinarla es la siguiente:

$$R_{Y/X_1, X_2, \dots, X_k} = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})(\hat{Y}_i - \bar{Y})}{\left[\sum (Y_i - \bar{Y})^2 (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \right]^{1/2}} = r_{Y, \hat{Y}} \quad \text{ecuación (15)}$$

Y el coeficiente de determinación múltiple:

$$R^2_{Y/X_1, X_2, \dots, X_k} = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2 - \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{SC(X_1, \dots, X_k)}{SC_T} \quad \text{ecuación (16)}$$

Donde:

$$Y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i} + \hat{\beta}_2 X_{2i} + \dots + \hat{\beta}_k X_{ki} \quad \text{ecuación (17)}$$

4.4.3 Coeficientes de correlación parcial.

El coeficiente de correlación parcial mide la fuerza de la relación lineal que existe entre dos variables después de controlar el efecto de las otras variables.

Así por ejemplo $r_{YX/Z_1, Z_2, \dots, Z_p}$ mide la correlación entre X y Y manteniendo Z_1, \dots, Z_p constantes.

Las expresiones matemáticas para el cálculo de estos coeficientes de correlación se encuentran perfectamente determinadas. Por ejemplo:

$$R^2_{YX_1/X_2} = \frac{SC(X_1 / X_2)}{SC_E(X_2)} \quad (\text{Coeficiente de Correlación Parcial múltiple 1}^{\text{er}} \text{ orden})$$

Y la estadística para la prueba $H_o : \rho_{YX_1/X_2} = 0$ es una F parcial: $F(X_1 / X_2)$

4.4.4 Coeficientes de correlación múltiple-parcial.

El coeficiente de correlación múltiple-parcial se usa para describir la relación total que existe entre una variable dependiente y dos o más independientes controlando el efecto de otras variables.

Para el cálculo del cuadrado de este estimador se puede emplear la siguiente fórmula:

$$r^2_{Y_{(X_1, X_2, \dots, X_k) / Z_1, Z_2, \dots, Z_p}} = \frac{SCE(Z_1, Z_2, \dots, Z_p) - SCE(X_1, X_2, \dots, X_p)}{SCE(X_1, X_2, \dots, X_p)}$$

$$= \frac{SCE(X_1, X_2, \dots, X_p / Z_1, Z_2, \dots, Z_p)}{SCE(Z_1, Z_2, \dots, Z_p)} \quad \text{ecuación (18)}$$

Para probar $H_o : \rho_{Y_{(X_1, X_2, \dots, X_k) / Z_1, Z_2, \dots, Z_p}} = 0$

La estadística de prueba es:

$$F_c = \frac{SC_{(X_1, X_2, \dots, X_k / Z_1, Z_2, \dots, Z_p)} / k}{SCE_{(Z_1, Z_2, \dots, Z_p)} / (n - p - k - 1)} \quad \text{ecuación (19)}$$

Se rechaza H_o si: $F_c \geq F^k_{n-p-k, (1-\alpha)}$

Esta hipótesis es equivalente a probar que los coeficientes de regresión de las variables X_1, X_2, \dots, X_k son iguales a cero.

4.5 Multicolinealidad.

El término multicolinealidad fue creado por Rognar Frisch, en 1943. En un modelo de regresión de K variables explicatorias X_1, X_2, \dots, X_k , se dice que existe una relación lineal exacta (multicolinealidad perfecta) si se cumple que:

$$\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_k X_k = 0 \quad \text{ecuación (20)}$$

con al menos una λ_i diferente de cero.

Y se dice que existe una multicolinealidad no perfecta si las variables X_i con $i = 1, 2, \dots, n$ se encuentran intercorrelacionadas de la siguiente manera:

$$\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_k X_k + v = 0 \quad \text{ecuación (21)}$$

Donde v es un término estadístico de error y λ_i es diferente de cero para alguna $i = 1, 2, \dots, n$.

En el caso que exista multicolinealidad perfecta, los coeficientes de regresión de las variables X_i son indeterminadas y sus errores estándar infinitos.

Nótese que: $\det(X'X) = 0$, y el sistema: $X'X\beta = X'Y$ no tiene solución determinada.

Si la multicolinealidad es menos que perfecta, los coeficientes de regresión poseen grandes errores estándar, lo que significa que los coeficientes no se pueden estimar con gran precisión, y aunque los estimadores obtenidos por el método de mínimos cuadrados sigan siendo eficientes (mínima varianza), su varianza es grande, por lo que en la práctica resulta de poca utilidad trabajar con estos estimadores.

Consecuencias:

1. Aunque los estimadores obtenidos por el método M.C.O., sean eficientes, sus errores estándar tienden a ser mayores a medida que aumenta el grado de colinealidad.
2. Los intervalos de confianza para los parámetros poblacionales tienden a ser grandes.
3. La probabilidad de aceptar una hipótesis falsa (error tipo II) aumenta.
4. Los estimadores y sus errores estándar se vuelven muy sensibles incluso con pequeñísimos cambios en las cifras.

Observaciones generales.

-Si la R^2 es alta y las correlaciones de orden cero son altas y a la vez ninguno o pocos de los coeficientes de regresión parcial son individualmente significativos, pueden ser síntomas de la existencia de multicolinealidad.

-Para fines de predicción, la multicolinealidad no es un problema tan serio dado que mientras mayor sea R^2 , mejor será la predicción, siempre y cuando la colinealidad existente entre las variables en una muestra dada se mantenga en el futuro.

-En el caso de multicolinealidad, no existen reglas generales para su solución, y dependiendo del problema en particular que se esté tratando, serán las medidas remediables que se deban tomar. Algunas de ellas podrían ser; trabajar con información a priori, donde ésta puede provenir de la teoría (económica o del campo que se trate), o bien, de trabajos empíricos en donde el problema de la colinealidad es menos serio.

4.6 Cadenas de Markov

4.6.1 Introducción

Los modelos de procesos de Markov son útiles para estudiar la evolución de sistemas a lo largo de ensayos repetidos los que, a menudo, son periodos sucesivos desde el estado del sistema en cualquier periodo particular no puede

determinarse con certeza. Por ello, para describir la manera en que el sistema cambia de un periodo al siguiente se emplean probabilidades de transición. Por tanto, estamos interesados en la probabilidad de que el sistema esté en un estado particular en un periodo dado. (Anderson, Sweeney, Williams, 2004).

Tales procesos de Markov se conocen como cadenas de Markov con probabilidades de transición estacionarias.

Las cadenas de Markov tienen la propiedad particular de que las probabilidades que describen la forma en que el proceso evolucionará en el futuro dependen sólo del estado actual en que se encuentra el proceso y, por lo tanto, son independientes de los eventos ocurridos en el pasado. Muchos procesos se ajustan a esta descripción, por lo que las cadenas de Markov constituyen una clase de modelo probabilístico de gran importancia (Hillier, Lieberman, 2007).

4.6.2 Supuestos de las Cadenas de Markov

Es necesario hacer algunos supuestos sobre la distribución conjunta de X_0, X_1, \dots para obtener resultados analíticos. Un supuesto que conduce al manejo analítico es que el proceso estocástico es una cadena de Markov, que tiene la siguiente propiedad esencial:

Se dice que un proceso estocástico $\{X_t\}$ tiene la propiedad markoviana si $P\{X_{t+1} = j | X_0 = k_0, X_1 = k_1, \dots, X_{t-1} = k_{t-1}, X_t = i\} = P\{X_{t+1} = j | X_t = i\}$, para $t = 0, 1, \dots$ y toda sucesión $i, j, k_0, k_1, \dots, k_{t-1}$. (Hillier, 2004)

Es decir, esta propiedad markoviana establece que la probabilidad condicional de cualquier “evento” futuro dados cualquier “evento” pasado y el estado actual $X_t = i$, es independiente de los eventos pasados y sólo depende del estado actual del proceso.

Un proceso estocástico $\{X_t\}$ ($t = 0, 1, \dots$) es una cadena de Markov si presenta la propiedad markoviana.

Las probabilidades condicionales $P\{X_{t+1} = j | X_t = i\}$ de una cadena de Markov se llaman probabilidades de transición (de un paso). Si para cada i y j , $P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} = P\{X_1 = j | X_0 = i\}$, para toda $t = 1, 2, \dots$, entonces se dice que las probabilidades de transición (de un paso) son estacionarias. Así, tener probabilidades de transición estacionarias implica que las probabilidades de transición no cambian con el tiempo. La existencia de probabilidades de transición estacionarias también implica que, para cada i, j, n ($n = 0, 1, 2, \dots$), $P\{X_{t+n} = j | X_t = i\} = P\{X_n = j | X_0 = i\}$ para toda $t = 1, 2, \dots$. Estas probabilidades condicionales se llaman probabilidades de transición de n pasos.

Para simplificar la notación de las probabilidades de transición estacionarias, sea

$$p_{ij} = P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} \quad \text{ecuación (22)}$$

$$p_{ij}^{(n)} = P\{X_{t+n} = j | X_t = i\} \quad \text{ecuación (23)}$$

Así, las probabilidades de transición de n pasos $p_{ij}^{(n)}$ son simplemente la probabilidad condicional de que el sistema se encuentre en el estado j exactamente después de n pasos (unidades de tiempo), dado que comenzó en el estado i en cualquier tiempo t . Cuando $n = 1$, observe que $p_{ij}^{(1)} = p_{ij}$.

Como las $p_{ij}^{(n)}$ son probabilidades condicionales, deben ser no negativas y, como el proceso debe hacer una transición a algún estado, deben satisfacer las propiedades

$$p_{ij}^{(n)} \geq 0 \quad \text{para toda } i \text{ y } j; n = 0, 1, 2, \dots,$$

y

$$\sum_{j=0}^M p_{ij}^{(n)} = 1 \quad \text{para toda } i; n = 0, 1, 2, \dots,$$

Una notación conveniente para representar las probabilidades, es la matriz de transición de n pasos

$$P^{(n)} = \begin{array}{c} \text{Estado} \quad 0 \quad 1 \quad \dots \quad M \\ \left[\begin{array}{cccc} P_{00}^{(n)} & P_{01}^{(n)} & \dots & P_{0M}^{(n)} \\ P_{10}^{(n)} & P_{11}^{(n)} & \dots & P_{1M}^{(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{M0}^{(n)} & P_{M1}^{(n)} & \dots & P_{MM}^{(n)} \end{array} \right] \end{array}$$

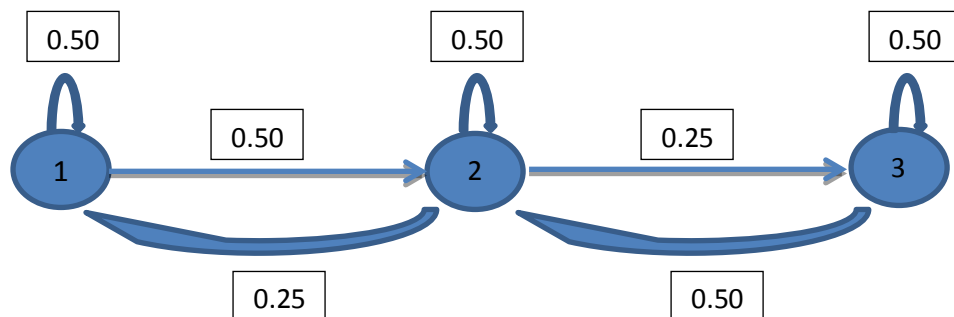
Observe que la probabilidad de transición en un renglón y columna dados es de la transición del estado en ese renglón al estado en la columna. Cuando $n=1$, el superíndice n no se escribe y se hace referencia a ésta como una matriz de transición.

También se supondrá que se conocen las probabilidades iniciales $P\{X_0 = i\}$ para toda i .

Por ejemplo, para el caso de la cuenca, supongamos que tenemos 3 estados con respecto al agua:

- (1) Abundante,
- (2) Normal, y
- (3) Sequía.

Las probabilidades son las siguientes:



Es decir, la probabilidad de que se pase del estado (1) al estado (2) es de 0.50 y la probabilidad de que se quede en el mismo estado, también es de 0.50. La probabilidad de que del estado (2) se regrese al estado (1) es de 0.25, de que permanezca en el mismo estado es de 0.50 y la probabilidad de que pase al estado (3) es de 0.25. La probabilidad de que del estado (3) se regrese al estado (2) es de 0.50 y de que permanezca en el mismo estado, es de 0.50.

Entonces, nuestra matriz de transición queda como sigue:

$$A = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0.25 & 0.50 & 0.25 \\ 0 & 0.50 & 0.50 \end{bmatrix}$$

Queremos saber cuantos pasos (años) se necesitan para pasar del estado (1) al estado (3) M_{13} y cuantos para pasar del estado (2) al estado (3) M_{23} .

Se establece el estado de probabilidad, quedando:

$$\begin{aligned} M_{13} &= 1 + P_{11}M_{13} + P_{12}M_{23} \\ M_{23} &= 1 + P_{21}M_{13} + P_{22}M_{23} \end{aligned}$$

Despejando

$$\begin{aligned} P_{11}M_{13} - M_{13} + P_{12}M_{23} &= -1 \\ (1 - P_{11})M_{13} + P_{12}M_{23} &= -1 \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

y

$$\begin{aligned} P_{21}M_{13} + P_{22}M_{23} - M_{23} &= -1 \\ P_{21}M_{13} + (P_{22} - 1)M_{23} &= -1 \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

Es decir, nos queda el sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} (1 - P_{11})M_{13} + P_{12}M_{23} &= -1 \\ P_{21}M_{13} + (P_{22} - 1)M_{23} &= -1 \end{aligned}$$

Sustituimos las probabilidades correspondientes, para que nuestro sistema de ecuaciones nos quede como:

$$\begin{aligned}(1-0.5)M_{13} + 0.5M_{23} &= -1 \\ -0.5M_{13} + 0.5M_{23} &= -1 \\ & \text{y} \\ 0.25M_{13} + (0.5-1)M_{23} &= -1 \\ 0.25M_{13} - 0.5M_{23} &= -1\end{aligned}$$

Resolvemos el sistema resultante y obtenemos:

$$M_{13} = 8$$

$$M_{23} = 6$$

Por lo tanto, para pasar del estado (1) abundante al (3) sequía, si continúan las condiciones actuales, se necesitan 8 años. Para pasar del estado (2) normal al estado (3) sequía se necesitan 6 años.

5 MODELO ESTOCÁSTICO PARA LA CUENCA DEL RÍO COPALITA.

5.1 Introducción

El software utilizado para el desarrollo del modelo estocástico en la Cuenca del Río Copalita es el Stochastic Analysis Modeling and Simulation (SAMS 2009), desarrollado por Colorado State University y el U.S. Bureau of Reclamation. El software es gratuito, el cual se puede descargar del sitio web: <http://www.sams.colostate.edu/>.

Algunas de las ventajas del uso de este software son:

- 1) facilidad para construir modelos estocásticos mensuales y anuales;
- 2) con estadística paramétrica y no paramétrica; así como,
- 3) transformación de datos a funciones con distribución normal.

El software SAMS, utiliza una interface gráfica que importa series de tiempo de archivos .DAT y archivos de Excel.

En el modelo estocástico para la Cuenca del Río Copalita se utilizan principalmente cuatro menús. El menú de análisis de datos “Data Analysis”, es en donde se analizan los datos de entrada y se realiza la transformación de los datos de entrada a funciones de probabilidad normal (Figura 5.1 y 5.2). (Ver anexo 3). El segundo menú es el de selección del modelo estocástico “Model Fitting”. En este menú se selecciona el paso de tiempo para el modelo estocástico (mensual o anual), así como el tipo de modelo (Univariado, multivariado, descomposición espacial o temporal). El tercer menú se refiere a los parámetros del modelo estocástico utilizado “Fitted Model”. En este menú se muestran los parámetros utilizados para el modelo estocástico utilizado. Finalmente, el cuarto menú utilizado, “Generate Series” es el menú que se utiliza para generar las series de escurrimientos sintéticos basados en el modelo estocástico seleccionado y en las transformaciones hechas a los datos de entrada.

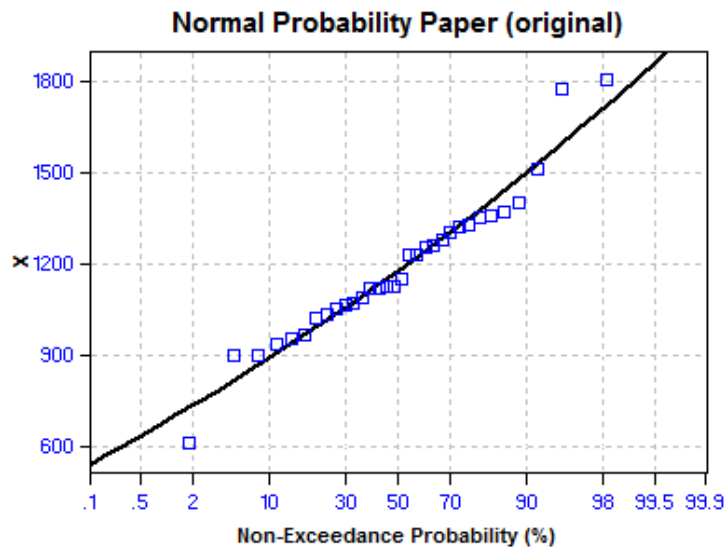


Figura 5.1 Serie de datos anuales originales. Estación San Miguel

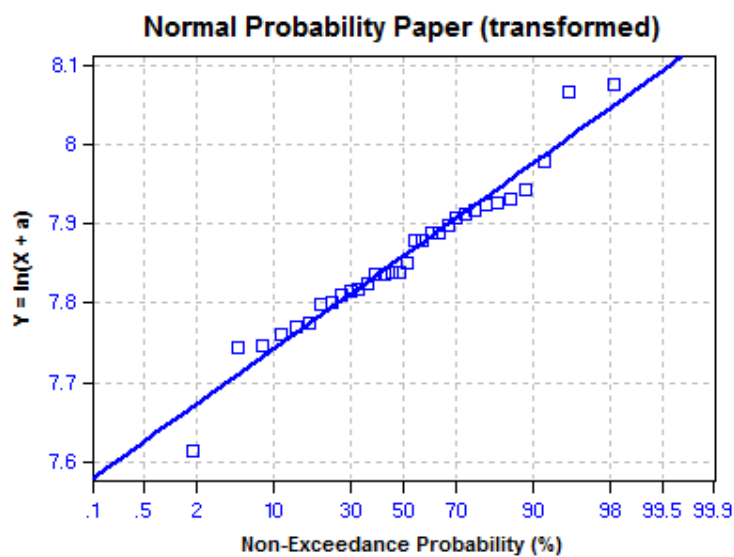


Figura 5.2 Serie de datos anuales transformados. Estacion San Miguel

5.2 Metodología y consideraciones

Durante la construcción del modelo estocástico SAMS de la Cuenca del Río Copalita se utilizó la siguiente metodología:

1. Se cargaron los escurrimientos restituidos de las estaciones San Miguel, Pluma Hidalgo, San Francisco Ozolotepec y La Hamaca, ubicadas en el Rio Copalita.
2. Se realizó la transformación de los datos anuales y mensuales a funciones probabilísticas de distribución normal (Gausiana o de campana),
3. Se probaron diferentes modelos estocásticos. En cada modelo estocástico se analizaron y compararon:
 - a) Los coeficientes de desempeño Akaike (AIC) y Schwarz (SIC). El criterio de información Akaike o criterio AIC, es un criterio usado para elegir entre modelos alternos de pronóstico. Los valores calculados del criterio AIC no tienen interpretación tangible y sólo sirven de referencia como puntos de comparación entre los diferentes modelos usados. Cuanto menores sean los valores del criterio, se entiende como más conveniente el modelo usado. Por otra parte, el criterio de información Schwarz nos dice; mientras más pequeño sea su valor mejor será el modelo.
 - b) Los valores estadísticos básicos (media anual, mensual, desviación estándar, asimetría estadística, etc.) y,
 - c) De sequía (longitud y magnitud de déficits y excedentes) de la series sintéticas generadas con respecto a la serie histórica cargada.
4. Se comparó cada modelo estocástico. Con base en esta comparación se seleccionó el modelo que presento una mejor representación estadística y probabilística de los datos históricos.
5. Se generaron 1,000 series de escurrimientos estocásticos con un periodo de 32 años cada una.

Consideraciones:

- A pesar de contar con los escurrimientos históricos para 6 Subcuencas (Santa Anita, Río la venta, San Cristóbal, San Jerónimo, Río Yuviaga y San Miguel), solo se consideraron los escurrimientos restituidos en las estaciones climatológicas San Miguel Suchixtepec, Pluma Hidalgo, San Francisco Ozotepec y en la estación hidrométrica La Hamaca, ya que de estos sitios se hizo la re-distribución espacial de los escurrimientos sintéticos basados en el porcentaje de área de cada subcuenca (Ver Tabla 5.1).
- Se utilizaron 32 años para la generación de escurrimientos estocásticos ya que esta es la longitud de la serie histórica de datos.

Tabla 5.1 Áreas por Subcuenca

Sub-cuenca	Area	
	(km2)	(%)
Yuviaga	308	22%
San Jeronimo	73	5%
Sna Cristobal	336	24%
La Venta	265	19%
Santa Ana	169	12%
San Miguel	229	17%
Total	1380	100%

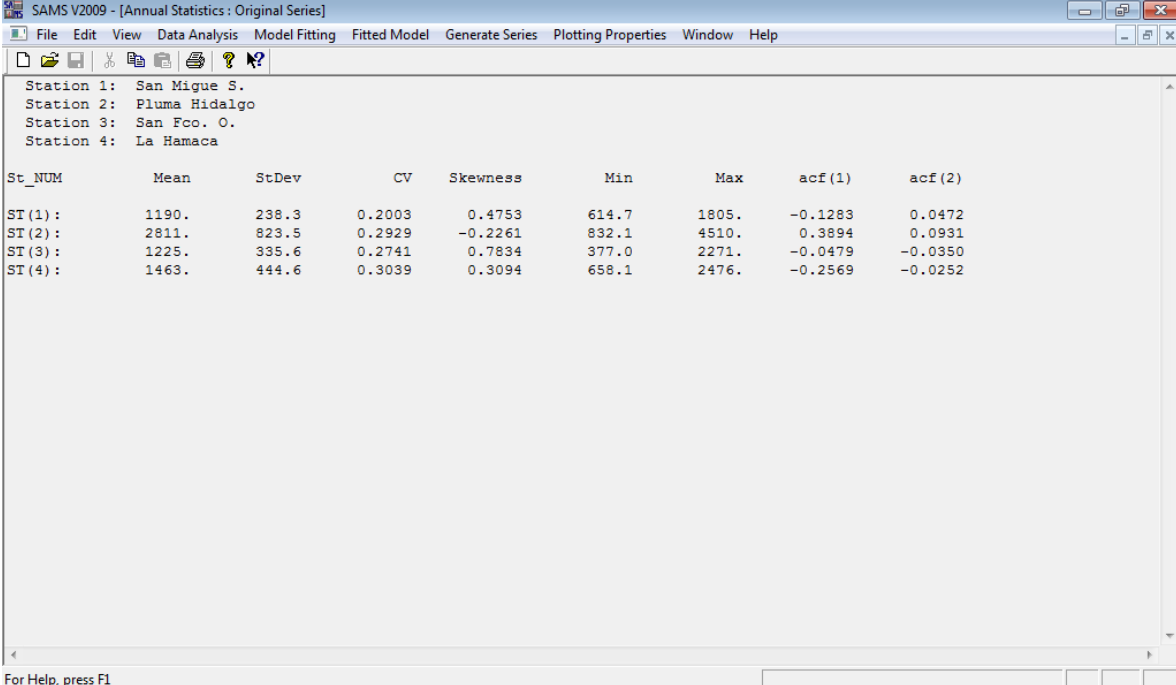
5.2.1 Datos de entrada

Los escurrimientos medidos y restituidos para las estaciones: San Miguel, Pluma Hidalgo, San Francisco Ozolotepec y La Hamaca fueron cargados en el modelo estocástico. Las unidades de los datos de entrada son millones de metros cúbicos por mes ($1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{mes}$).

5.2.2 Transformación de datos

Los datos de entrada fueron transformados a una función de distribución normal (también conocida como distribución de campana o Gaussiana). Primero, se realizó la transformación de los escurrimientos anuales y después se realizó la transformación para cada mes.

La figura 5.3 muestra los valores estadísticos representativos anuales de la serie de tiempo de las cuatro estaciones con los escurrimientos restituidos originales.



Station 1: San Migue S.
 Station 2: Pluma Hidalgo
 Station 3: San Fco. O.
 Station 4: La Hamaca

St_NUM	Mean	StDev	CV	Skewness	Min	Max	acf(1)	acf(2)
ST(1):	1190.	238.3	0.2003	0.4753	614.7	1805.	-0.1283	0.0472
ST(2):	2811.	823.5	0.2929	-0.2261	832.1	4510.	0.3894	0.0931
ST(3):	1225.	335.6	0.2741	0.7834	377.0	2271.	-0.0479	-0.0350
ST(4):	1463.	444.6	0.3039	0.3094	658.1	2476.	-0.2569	-0.0252

For Help, press F1

Figura 5.3 Estadísticas anuales. Series originales

En la Figura 5.4 se muestran los valores estadísticos representativos mensuales de las series de tiempo con los escurrimientos restituidos originales.

Season	Mean	StDev	CV	Skewness	Min	Max	acf (1)	acf (2)
1_(1):	9.631	14.09	1.4632	2.1127	0.0000	62.90	0.2012	-0.2485
1_(2):	17.22	32.83	1.9061	4.2077	0.0000	185.2	0.1984	-0.0190
1_(3):	16.97	25.87	1.5247	2.2573	0.0000	115.0	-0.1733	-0.0821
1_(4):	36.48	32.41	0.8885	0.5391	0.0000	100.0	0.0467	-0.2177
1_(5):	107.0	65.17	0.6090	0.6038	0.0000	279.3	-0.3516	0.0362
1_(6):	238.6	76.37	0.3202	0.1889	85.00	435.5	0.1358	0.1208
1_(7):	184.5	81.15	0.4399	-0.2570	0.0000	365.5	0.0114	-0.0959
1_(8):	230.9	118.4	0.5129	1.4493	0.0000	623.3	-0.2494	0.0862
1_(9):	218.3	85.87	0.3933	-0.6143	0.0000	354.5	-0.2725	0.3069
1_(10):	109.5	77.98	0.7118	1.6217	0.0000	410.1	0.0335	-0.0382
1_(11):	14.04	14.47	1.0303	1.2546	0.0000	52.60	0.1379	-0.0660
1_(12):	6.450	13.45	2.0855	3.1411	0.0000	61.70	-0.0539	0.0551
2_(1):	32.80	69.94	2.1325	3.6231	0.0000	362.3	-0.0349	-0.1511
2_(2):	37.37	45.02	1.2048	1.2885	0.0000	175.6	-0.0685	0.0365
2_(3):	52.45	108.2	2.0635	4.2729	0.0000	611.0	-0.1418	-0.1199
2_(4):	72.26	94.70	1.3106	1.5881	-1.300	383.5	0.2009	-0.3313
2_(5):	250.2	138.5	0.5536	0.1807	11.90	508.0	-0.0380	-0.1328
2_(6):	534.0	212.3	0.3976	-0.2915	89.40	942.5	0.1948	0.2967
2_(7):	407.7	175.0	0.4293	0.2435	79.00	810.4	0.1650	0.0081
2_(8):	469.8	238.5	0.5076	1.2849	51.50	1233.	0.1340	-0.1617
2_(9):	525.5	192.7	0.3666	-0.3654	73.50	880.8	0.1855	0.2086
2_(10):	292.9	160.1	0.5467	0.5546	11.00	736.2	-0.0777	-0.0763

Figura 5.4 Estadísticas mensuales de las cuatro estaciones

Para la determinación del modelo estocástico se consideró la auto-correlación anual y mensual. La Figura 5.5 muestra la auto-correlación anual. En esta figura se puede apreciar que no existe una correlación significativa entre el escurrimiento del año anterior (año 0) y el año siguiente (año 1). Sin embargo, la auto-correlación mensual (Figura 5.6) sugiere que si hay correlación entre el escurrimiento mensual. Estos resultados significan que para esta serie de datos es mejor utilizar un modelo estocástico de paso de tiempo mensual, y debido a que solo se están utilizando cuatro estaciones, el tipo "Univariado" es el adecuado.

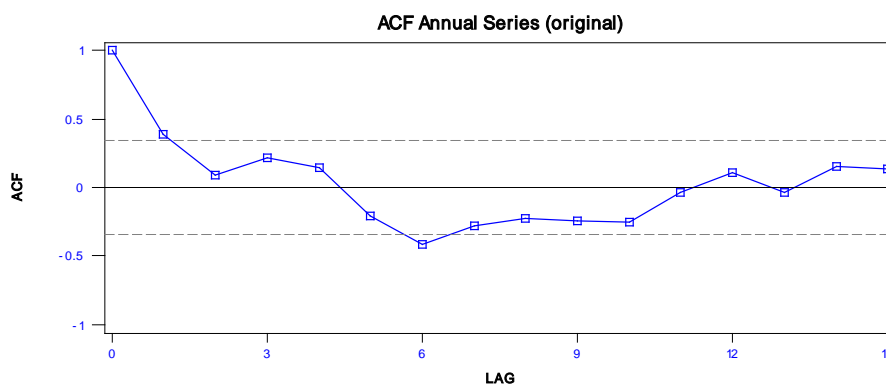


Figura 5.5 Autocorrelación anual. Estación Pluma Hidalgo

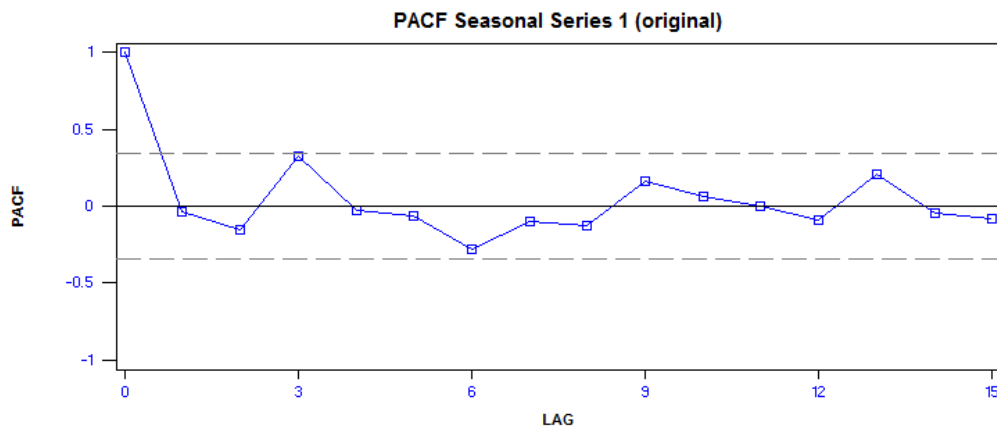


Figura 5.6. Autocorrelación mensual. Estación Pluma Hidalgo

La figura 5.7 muestra los diferentes modelos Mensuales Univariados (Seas Univariate) disponibles en el Software SAMS. Los primeros dos modelos utilizan estadística paramétrica (PARMA (p,q) y PMC-PARMA) y los demás modelos utilizan estadística no-paramétrica. Debido a que los valores han sido transformados a probabilidades normales y a que se tiene relativamente una buena cantidad de datos (32 años de registros por estación) se decidió utilizar los modelos paramétricos.

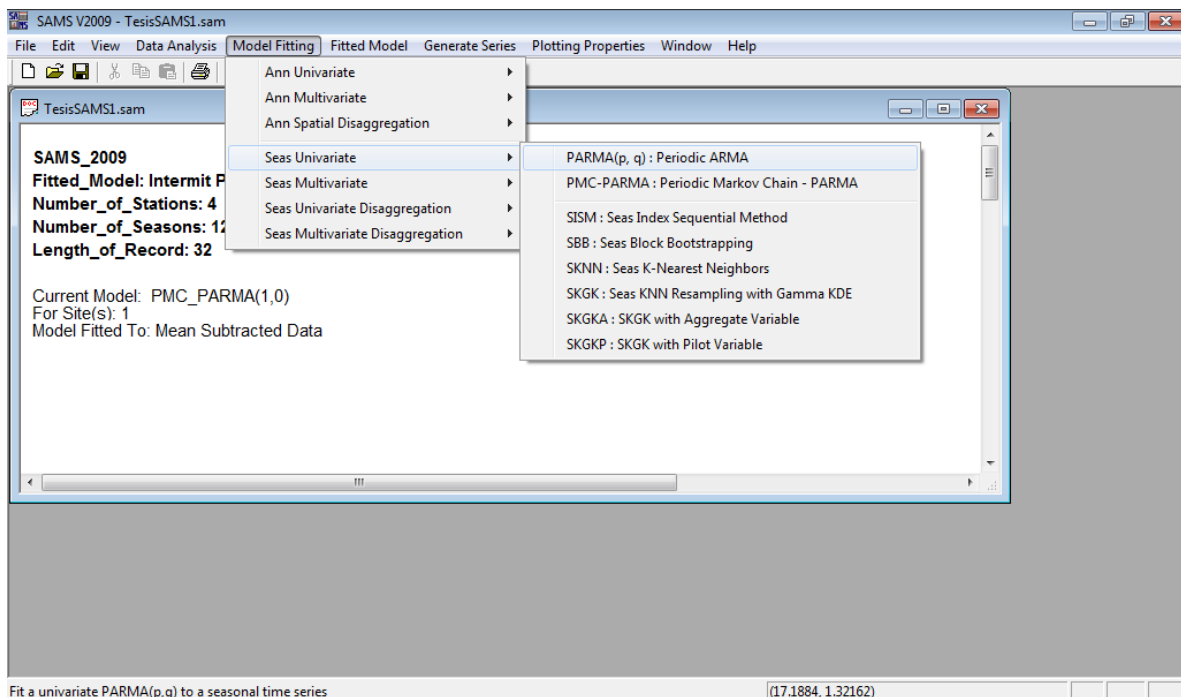


Figura 5.7 Modelos Mensuales Univariados disponibles en SAMS

De los dos modelos paramétricos disponibles (PARMA (p,q) y PMC-PARMA), el modelo PARMA (p,q) es un modelo estocástico sencillo ampliamente utilizado en hidrología. Este modelo es mensual (P-Periodic), Auto-Regresivo (AR-Auto-regressive), es decir que considera un término para evaluar la correlación con el periodo anterior, y a su vez considera un término de promedio móvil (MA-Moving Average). Debido a su simplicidad y flexibilidad, se seleccionó el modelo estocástico PARMA (p,q) para la cuenca del Rio Copalita. Durante el proceso de construcción del modelo se utilizó el método de estimación de los mínimos cuadrados (Ver Figura 5.8).

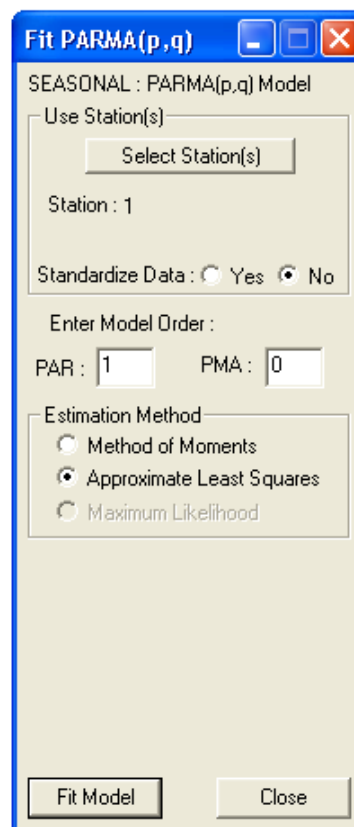


Figura 5.8 Declaración del modelo estocástico PARMA(1,0).

5.3 Calibración del Modelo

En esta sección se describen los procedimientos utilizados para la calibración del modelo estocástico. Para la calibración del modelo se evaluaron y compararon diferentes combinaciones de Auto-Regresión “p” y Promedio

Móvil “q”. La tabla 5.2 muestra los valores del criterio de desempeño Akaike (AIC), en la estación San Miguel Suchixtepec, que es uno de los criterios sugeridos cuando los datos de entrada no son tan abundantes. En esta tabla se aprecia que para los meses con mayor escurrimiento (de Julio a Noviembre), los valores absolutos del AIC para la combinación (1,0) son mayores que para las demás combinaciones. Debido a que en estos meses es cuando se presenta la mayor cantidad de escurrimiento, el modelo PARMA (1,0) es el modelo estocástico que se selecciona para los escurrimientos restituidos de las estaciones: San Miguel Suchixtepec, Pluma Hidalgo, San Francisco Ozolotepec y La Hamaca en la cuenca del Rio Copalita. (Ver anexo 4)

Tabla 5.2 Criterio de desempeño AIC para diferentes combinaciones de valores p y q , para la estación San Miguel Suchixtepec

Mes	PARMA						
	(1,0) AIC	(2,0) AIC	(1,1) AIC	(2,1) AIC	(3,0) AIC	(0,1) AIC	(0,2) AIC
1	59.95	204.311	204.233	200.532	200.787	203.778	201.907
2	65.33	66.831	66.756	69.307	69.366	64.577	66.63
3	76.06	77.555	75.271	79.729	77.875	75.784	76.749
4	7.02	8.766	6.117	8.472	8.375	8.031	9.619
5	-49.57	-47.406	-47.606	-44.776	-44.885	-49.541	-47.342
6	35.37	37.198	36.792	39.139	39.739	35.386	37.637
7	416.77	416.933	418.465	415.964	418.632	416.305	417.024
8	-65.10	-62.751	-62.696	-60.466	-60.956	-64.977	-62.757
9	557.73	556.573	556.435	555.494	557.506	556.983	556.265
10	-7.57	-8.002	-5.69	-6.13	-5.645	-7.626	-7.8
11	34.62	37.011	35.269	39.085	38.978	34.613	36.296
12	92.75	92.917	95.143	95.519	95.524	94.032	93.586

5.4 Evaluación del Modelo

La figura 5.9 muestra las tres consideraciones asumidas durante la generación de los escurrimientos sintéticos:

- 1) La generación de datos a partir del último registro histórico,
- 2) Que los valores mínimos tienen que ser mayor que cero, y
- 3) Que los escurrimientos máximos no pueden ser mayores a dos veces los valores históricos.

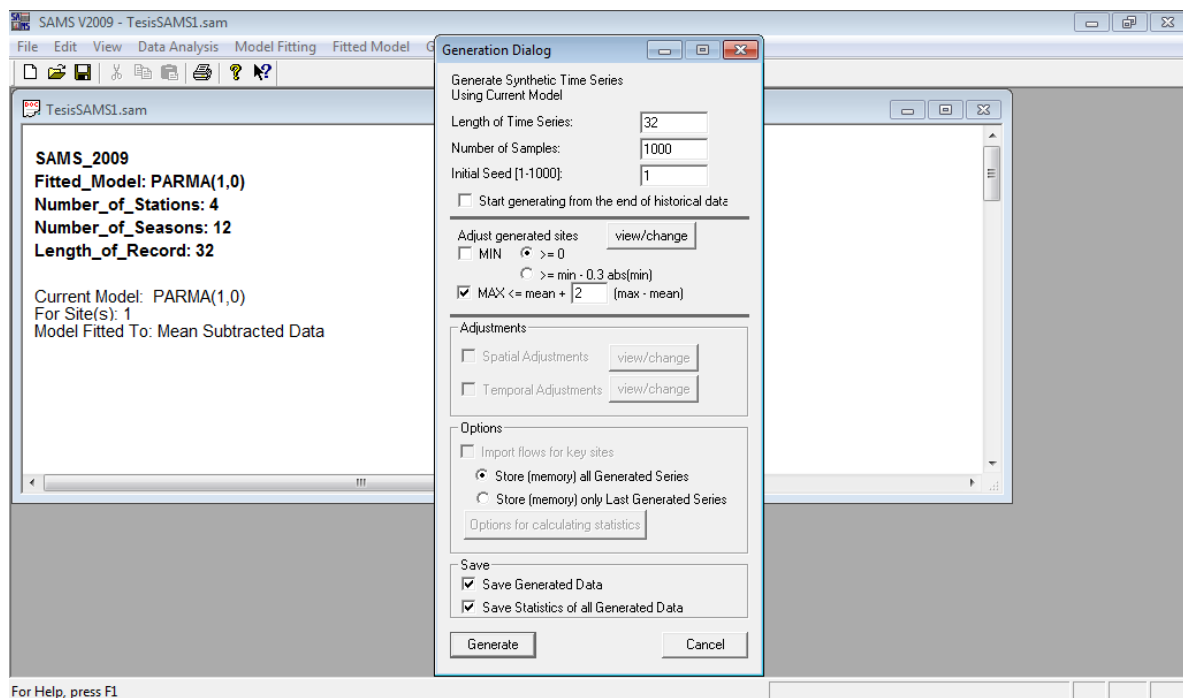


Figura 5.9 Generación de Escurrimientos Restituidos Sintéticos, estación La Hamaca.

La figura 5.10 muestra la comparación entre los escurrimientos históricos y los sintéticos de la media (Mean), desviación estándar (Stdev), asimetría estadística (Skew), mínimos (Min), Máximos (Max) y Auto-correlación (Lag-1 cor) para cada mes. Nos podemos dar cuenta que los resultados en todos los casos son bastante similares a los valores históricos. De igual forma, la figura 5.11 muestra las estadísticas anuales de los escurrimientos sintéticos e históricos. La figura 5.12 muestra las estadísticas de sequía para ambos juegos de datos, y nos muestran que son bastante similares.

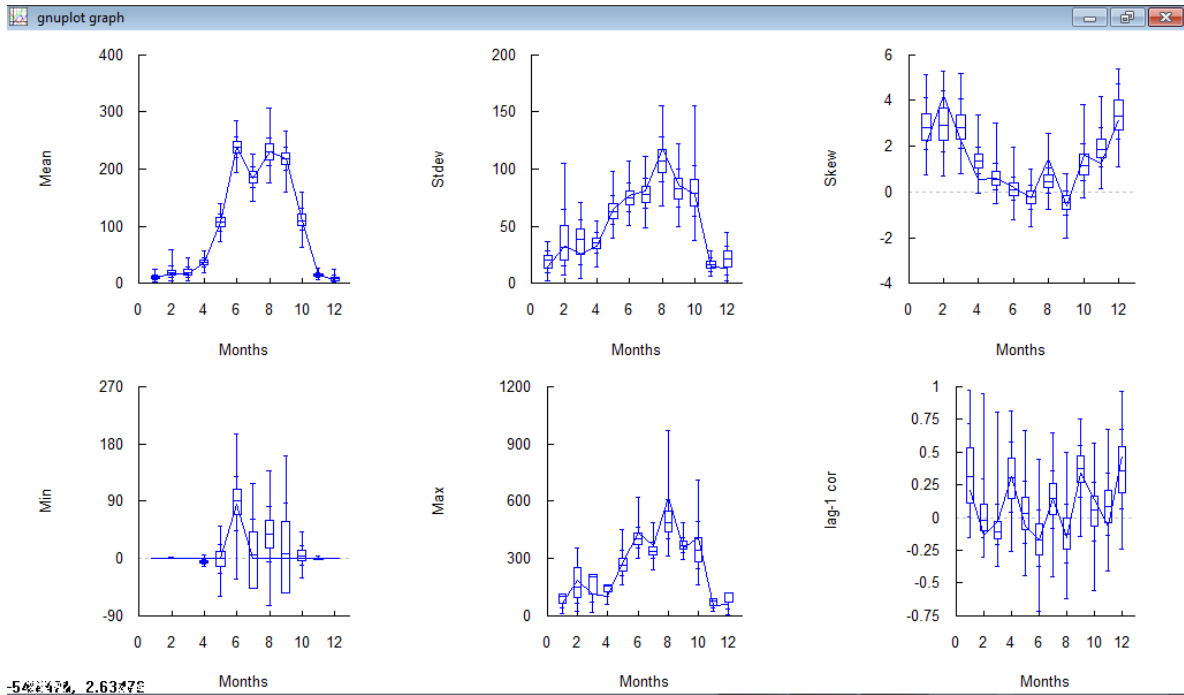


Figura 5.10 Comparación estadística de escurrimientos mensuales sintéticos e históricos.

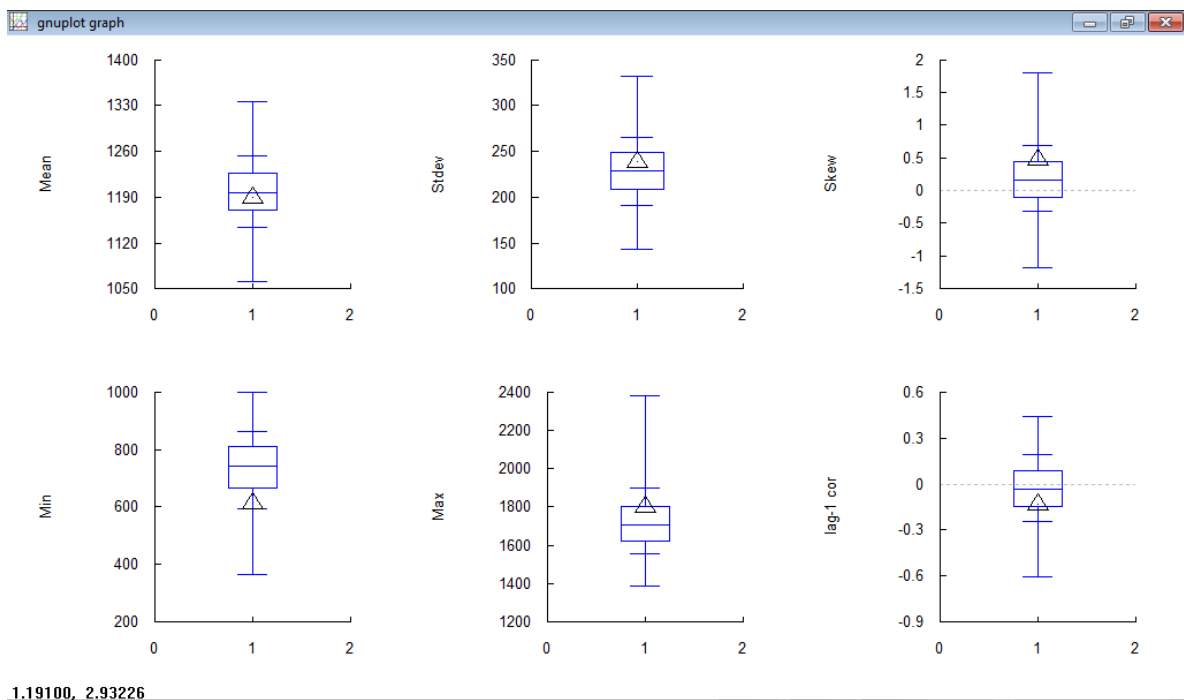


Figura 5.11 Comparación estadística de escurrimientos anuales sintéticos e históricos.

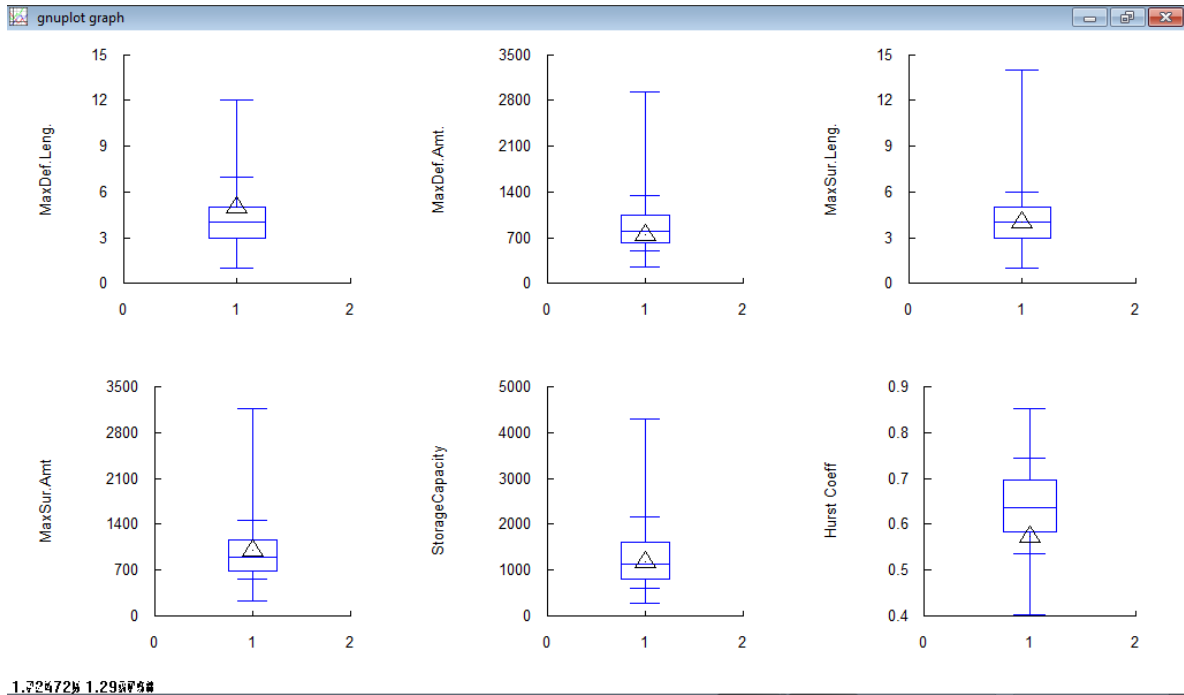


Figura 5.12 Comparación estadística de sequia anuales, escurrimientos sintéticos e históricos.

5.5 Escurrimientos Sintéticos para la Cuenca del Rio Copalita

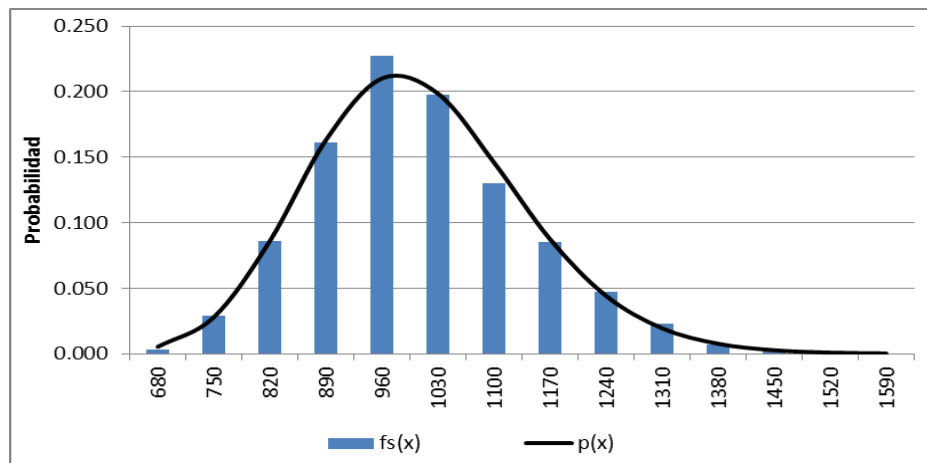
Un total de 1,000 series con escurrimientos sintéticos, cada una para un periodo de 32 años, han sido generadas estocásticamente. Estas series representan diferentes realizaciones de escurrimientos durante este periodo.

Existen dos formas de utilizar esta información:

- 1) Hacer un análisis estadísticos de estas 1,000 series, seleccionar cierto número de series (14 o 15) que representen diferentes condiciones hidrológicas y utilizar esta selección de series para evaluarlas en el modelo de planeación; o
- 2) Utilizar las 1,000 series en el modelo de planeación, y después hacer el análisis de los 1,000 modelos de planeación evaluados. En esta investigación se seleccionó utilizar el primer método, ya que es más rápido y practico analizar a priori las 1,000 series de escurrimientos sintéticos y solo utilizar un número selecto de series en el modelo de planeación.

La figura 5.13 y la tabla 5.3 muestran el análisis estadístico hecho a los escurrimientos medios anuales de las 1,000 series sintéticas. En este análisis

se aprecia que los escurrimientos generados siguen una distribución log-normal con valores de $\delta=0.343$, $\zeta=0.333$, y $\lambda=6.239$.



5.13 Distribución de probabilidad del escurrimiento restituído medio anual de las 1,000 series generadas

Tabla 5.3 Secuencia representativas seleccionadas para su uso en el modelo de planeación

Intervalo		Escurrecimiento			
Inferior	Superior	p(x)	F(x)	(1 X 10 ⁶ m ³)	Seq
<	680	0.5%	0.5%	654	915
680	750	2.8%	3.4%	722	937
750	820	8.6%	11.9%	790	319
820	890	16.3%	28.2%	857	577
890	960	21.1%	49.3%	925	879
960	1030	19.8%	69.1%	994	296
1030	1100	14.6%	83.7%	1062	789
1100	1170	8.8%	92.5%	1131	506
1170	1240	4.4%	96.9%	1198	536
1240	1310	1.9%	98.9%	1266	635
1310	1380	0.7%	99.5%	1323	855
1380	1450	0.3%	99.8%	1397	633
1450	1520	0.1%	100.0%	1473	650
1520	1590	0.0%	100.0%	1473	650

100.0%

Las figuras 5.14 y 5.15 muestran las series de escurrimientos sintéticos calculados para condiciones hidrológicas de sequía severa.

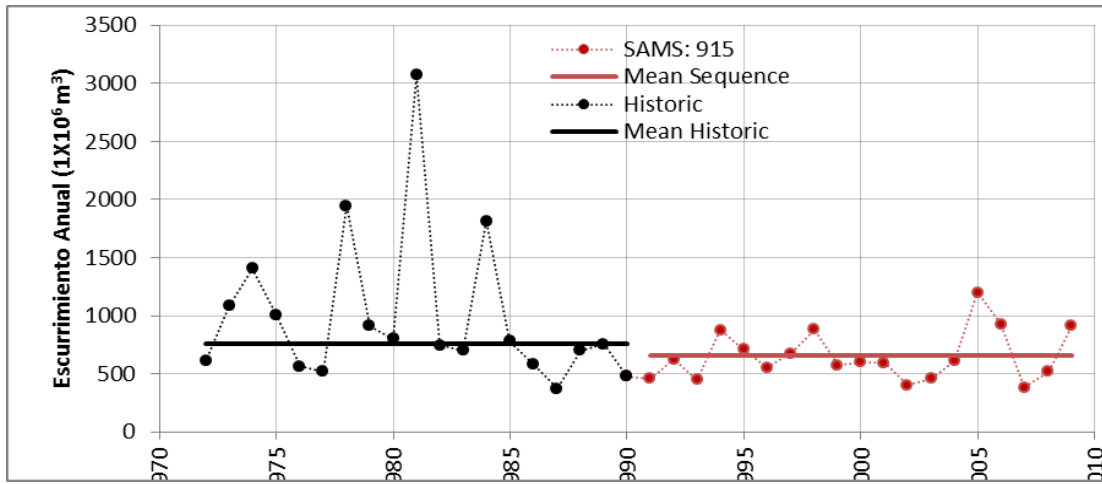


Figura 5.14 Ecurrimientos sintéticos restituidos; Sec. #915, Media= $654 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, $F(\bar{Q} < \bar{x}) = 0.005$

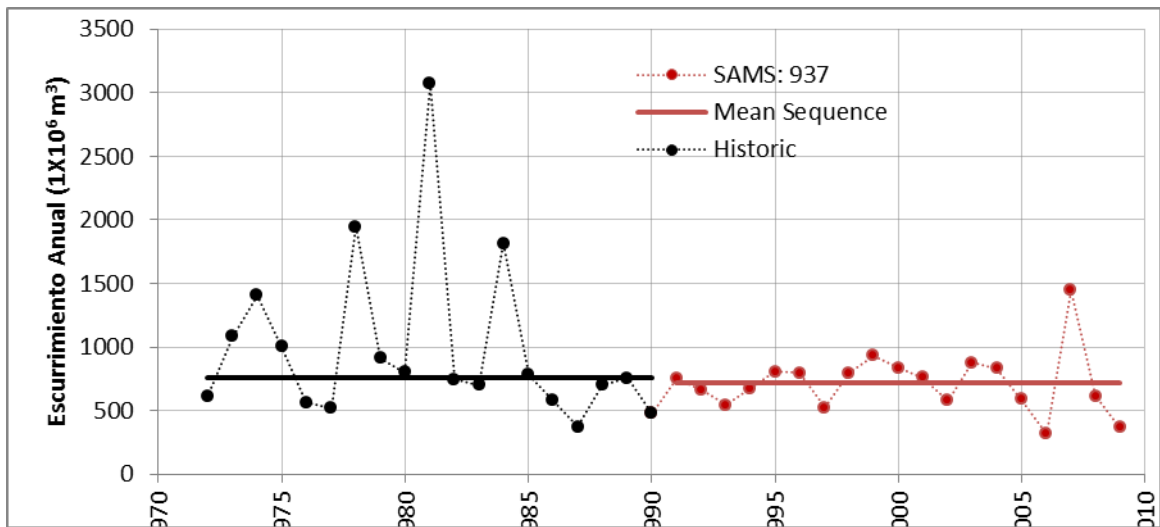


Figura 5.15 Ecurrimientos sintéticos restituidos; Sec. #937, Media= $722 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, $F(\bar{Q} < \bar{x}) = 0.034$

La figura 5.16 muestra una serie de escurrimientos sintéticos calculados para condiciones hidrológicas de sequía moderada.

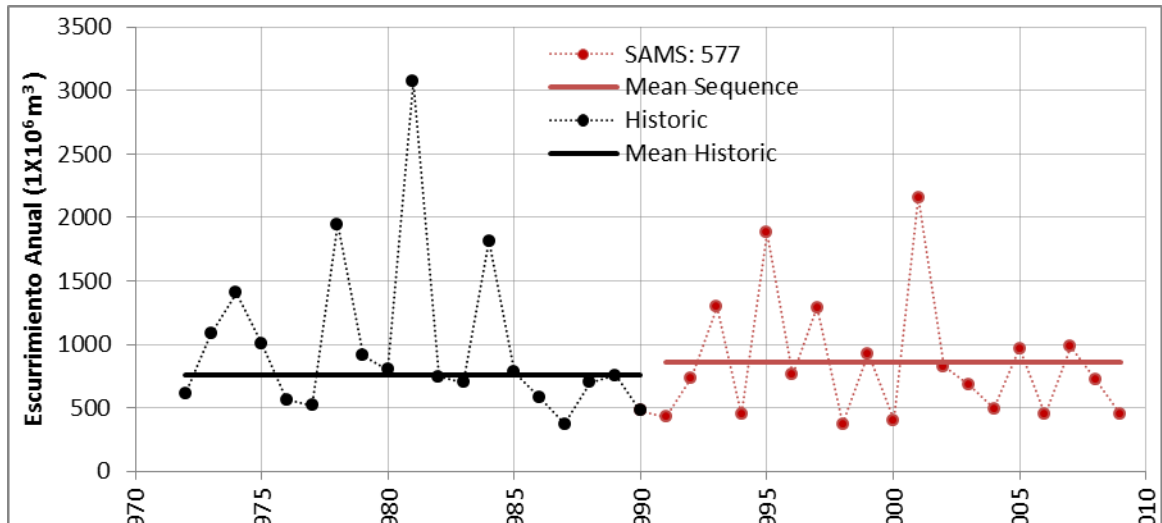


Figura 5.16 Escurrimientos sintéticos restituidos; Sec. #577, Media= $857 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, $F(\bar{Q} < \bar{x}) = 0.282$

La figura 5.17 muestra la serie de escurrimientos sintéticos calculados para condiciones hidrológicas de abundancia de agua moderada.

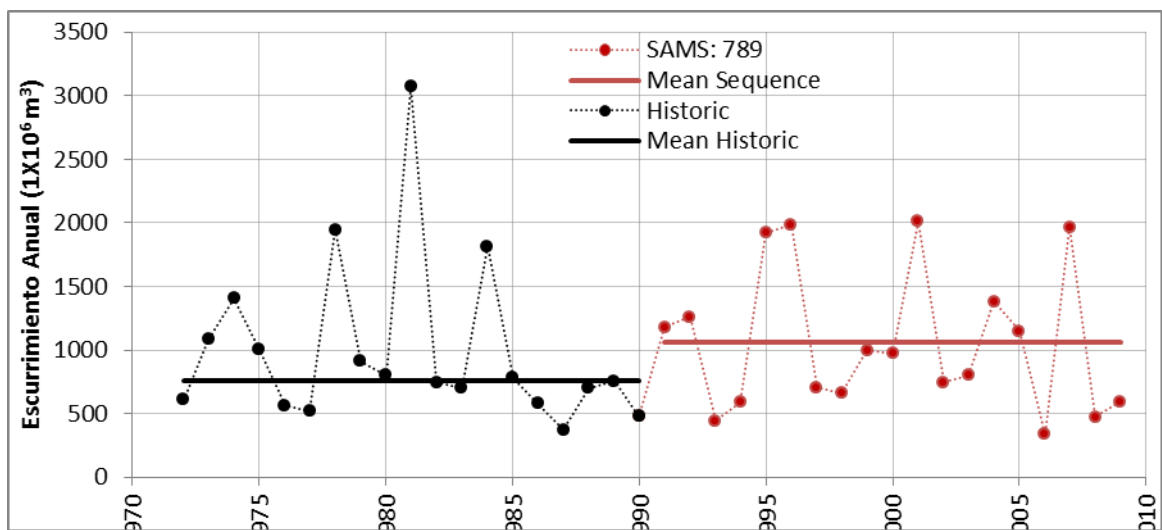


Figura 5.17 Escurrimientos sintéticos restituidos; Sec. #789, Media= $1062 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, $F(\bar{Q} < \bar{x}) = 0.837$

5.6 Evaluación de los escurrimientos sintéticos en la cuenca del Río Copalita

5.6.1 Modelo de gestión WEAP para la Cuenca del Río Copalita

Las 10 series de escurrimientos sintéticos fueron cargadas en el modelo de planeación WEAP para la cuenca del Río Copalita (Ver Figura 5.18).

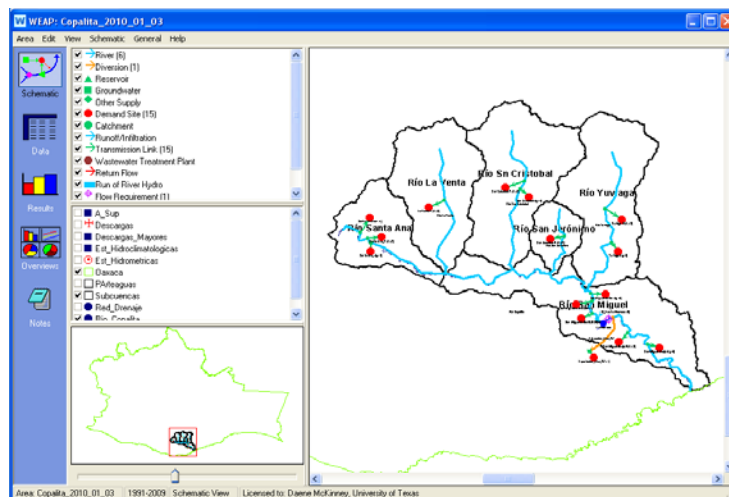


Figura 5.18 Modelo de Planeación para la cuenca del Río Copalita

Cada una de las series de escurrimientos sintéticos fue cargada mediante el uso de un archivo "csv"; estos 10 archivos van desde *Escurremientos_Sinteticos_1.csv*, hasta *Escurremientos_Sinteticos_10.csv* (Ver Figura 5.19).

Fecha	1	2	3	4	5	6
1972 1	2.43	0.57	2.64	2.05	1.35	1.79
1972 2	2.01	0.47	2.19	1.73	1.12	1.48
1972 3	1.6	0.38	1.75	1.38	0.9	1.18
1972 4	1.46	0.34	1.59	1.25	0.82	1.07
1972 5	2.71	0.64	2.95	2.33	1.5	2
1972 6	7.7	1.82	8.38	6.63	4.23	5.7
1972 7	5.86	1.38	6.38	5.05	3.22	4.34
1972 8	6	1.41	6.53	5.16	3.3	4.44
1972 9	7.78	1.83	8.46	6.69	4.27	5.76
1972 10	5.81	1.37	6.32	5	3.19	4.3
1972 11	5.41	1.38	5.89	4.66	2.98	4
1972 12	3.33	0.78	3.62	2.86	1.84	2.46
1973 1	2.24	0.53	2.44	1.93	1.25	1.65
1973 2	1.73	0.41	1.88	1.49	0.97	1.27
1973 3	1.32	0.31	1.44	1.13	0.74	0.97
1973 4	1.43	0.34	1.56	1.23	0.81	1.05
1973 5	1.26	0.3	1.37	1.06	0.7	0.92
1973 6	6.67	1.57	7.25	5.74	3.67	4.93

Figura 5.19 Modelo de Planeación para la cuenca del Rio Copalita

Los escurrimientos sintéticos fueron cargados en la rama de Esc_Estocasticos dentro de Key Assumptions. (ver figura 5.20)

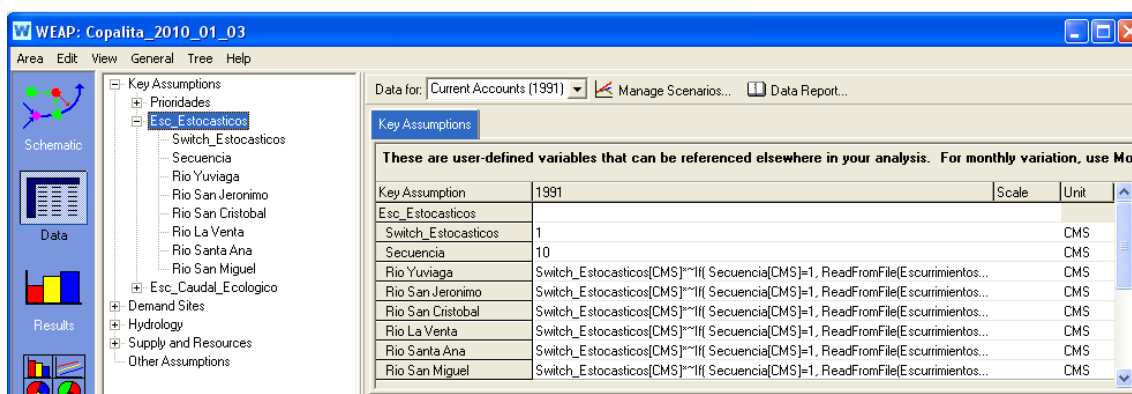


Figura 5.20 Modelo de Planeación para la cuenca del Rio Copalita

La variable *Secuencia* determina cuál de las 10 secuencias está siendo utilizada en el modelo. Las variables asignadas a los escurrimientos estocásticos para cada río tienen un condicionante que permite llamar los datos del archivo de acuerdo a la secuencia que se requiera.

Los escurrimientos sintéticos pueden activarse o desactivarse mediante el interruptor “Switch_Sinteticos” que se encuentra localizado dentro de la misma rama (0 – Apagado, 1 - Encendido).

Los escurrimientos sintéticos han sido cargados para cada río tributario y a lo largo del Rio Copalita en la rama de *Supply and Resources/River/Rio X:Headflow*. El uso del interruptor *Switch_Estocasticos* permite activar o desactivar los escurrimientos sintéticos.

5.6.2 Escenario de Caudales Ecológicos

Para este escenario se construyó una rama dentro de Key Assumptions en la cual se cargaron los datos. De la misma forma que para los

escurrimientos sintéticos, los caudales ecológicos cuentan con un interruptor “Switch_Q_Eco” que permite activar o desactivar su uso en el modelo. (ver figura 5.21).

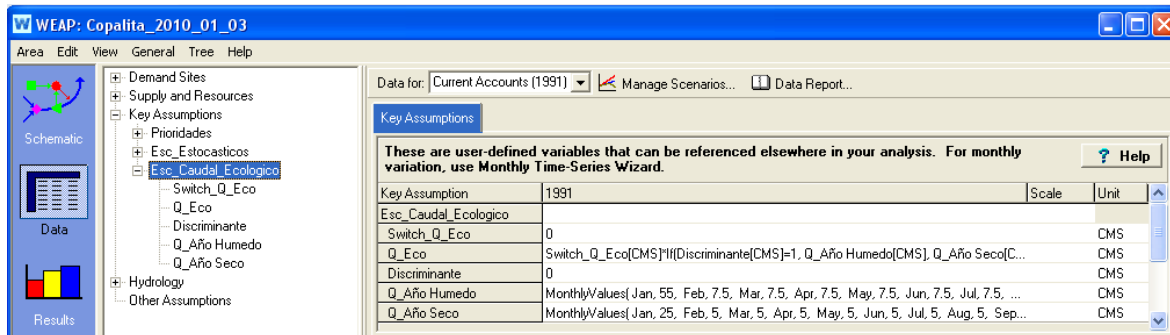


Figura 5.21 Interruptor para utilizar los escurrimientos sintéticos

Dos tipos de requerimientos ambientales fueron cargados en el modelo (Tabla 5.4), caudales ecológicos para años secos (Ver Figura 5.22) y para años húmedos (Ver Figura 5.23). Estos datos fueron obtenidos del estudio de *Propuesta para caudales ecológicos Cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco* realizado por el WWF.

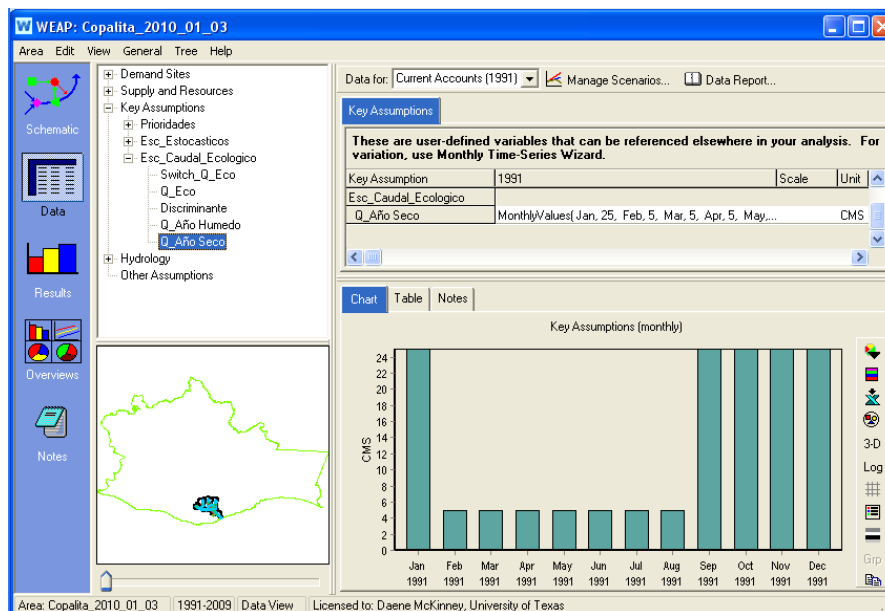


Figura 5.22 Requerimiento ambiental durante años Secos

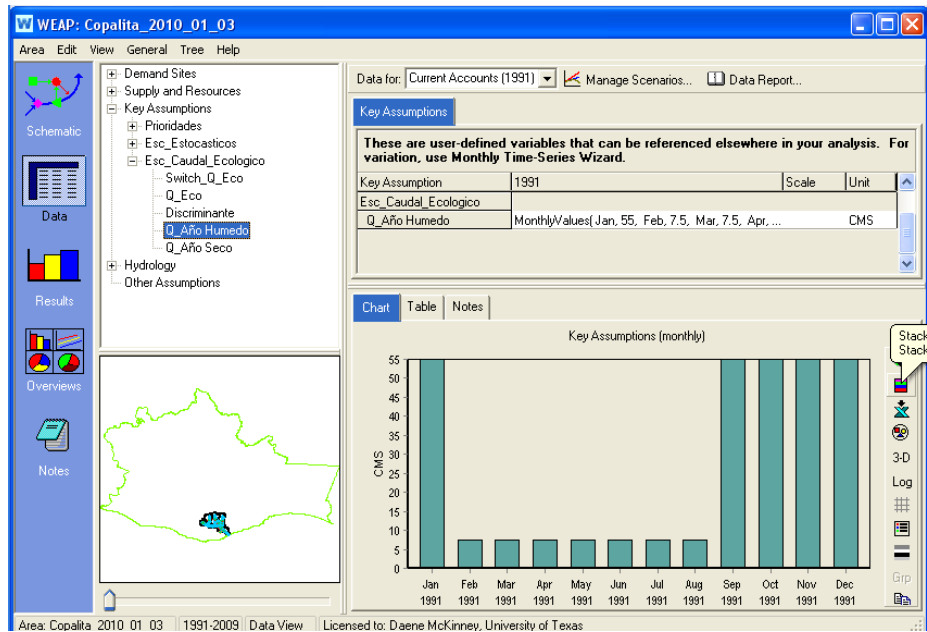


Figura 5.23 Requerimiento ambiental durante años Húmedos

Tabla 5.4 Caudales ecológicos para años secos y húmedos, fuente WWF

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Seco (m^3/s)	25	5	5	5	5	5	5	5	25	25	25	25
Humedo (m^3/s)	55	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	55	55	55	55

5.6.3 Resultados.

Cuatro criterios de desempeño han sido utilizados para analizar los requerimientos ambientales en la cuenca del Río Copalita: Confiabilidad (Tiempo y Volumen), Vulnerabilidad y Resiliencia. La confiabilidad (Tiempo) se refiere al porcentaje de tiempo que los caudales ecológicos fueron abastecidos satisfactoriamente. La confiabilidad (Volumen) se refiere al porcentaje de volumen que se abasteció con respecto al volumen total requerido. La vulnerabilidad expresa que tan severos fueron los déficits cuando no se pudo abastecer los requerimientos ambientales, es decir, expresa el déficit promedio (en porcentaje). La resiliencia expresa la probabilidad de que una vez que el sistema está en déficit, en el siguiente periodo se recupere; este criterio expresa la rapidez de recuperación del sistema.

La Figura 5.24 muestra los valores de confiabilidad (tiempo y volumen) para requerimientos ambientales durante años secos. Los valores para el escenario histórico muestran una confiabilidad probabilística y volumétrica de 74% y 83%, respectivamente. El uso de escurrimientos estocásticos permite apreciar que la confiabilidad probabilística (tiempo) puede variar de 76% a 71%, con un valor promedio de 73%; y la confiabilidad volumétrica puede variar de 84% a 80%, con un valor promedio de 81%.

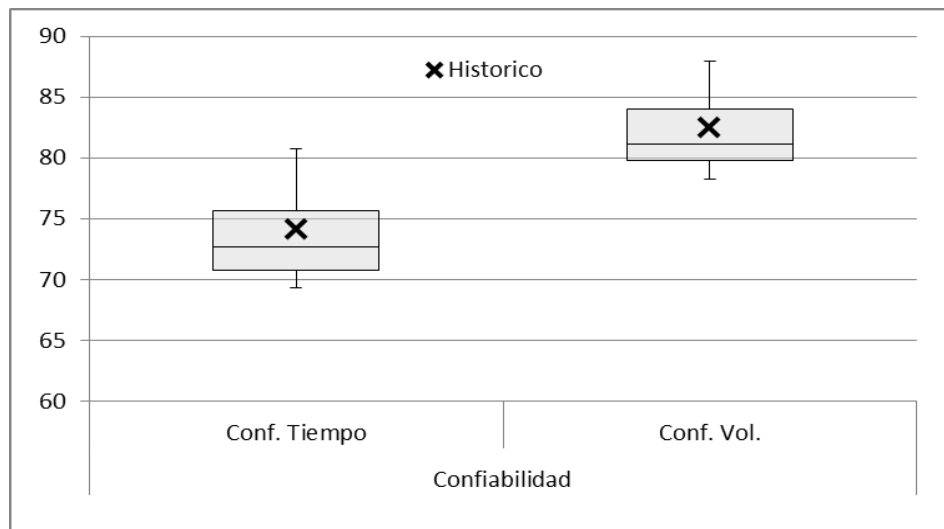


Figura 5.24 Confiabilidad probabilística (tiempo) y volumétrica para requerimientos ambientales de años secos.

La Figura 5.25 muestra los valores de confiabilidad (tiempo y volumen) para requerimientos ambientales durante años húmedos. Los valores para el escenario histórico muestran una confiabilidad probabilística y volumétrica de 50% y 59%, respectivamente. El uso de escurrimientos estocásticos permite apreciar que la confiabilidad probabilística (tiempo) puede variar de 52% a 47%, con un valor promedio de 49%; y la confiabilidad volumétrica puede variar de de 61% a 56%, con un valor promedio de 59%.

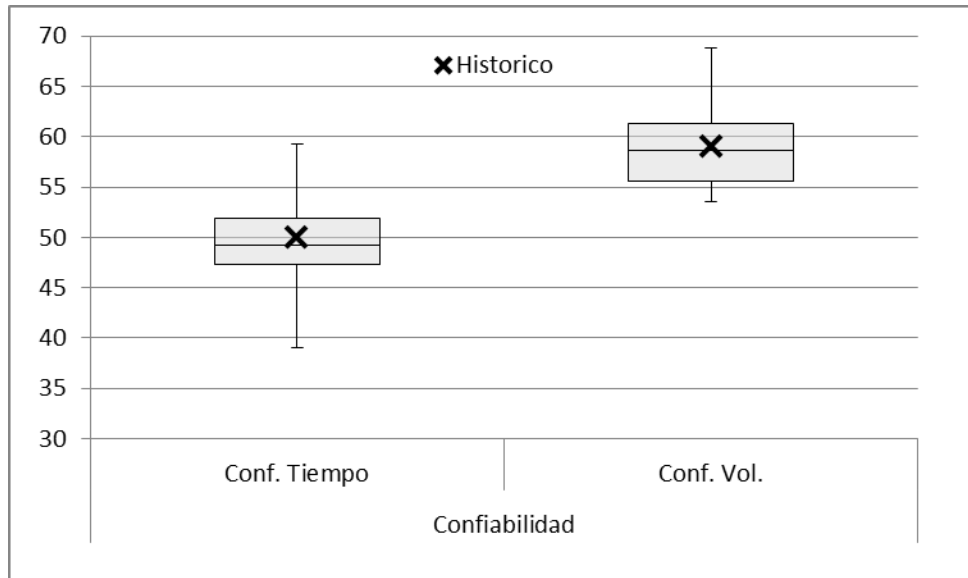


Figura 5.25 Confiabilidad probabilística (tiempo) y volumétrica para requerimientos ambientales de años Húmedos.

En ambos casos se aprecia que los valores históricos están por encima de los valores promedio esperados.

La Figura 5.26 muestra los valores de vulnerabilidad para requerimientos ambientales durante años secos. Los valores para el escenario histórico muestran una vulnerabilidad del 17%, es decir, cuando no existe un déficit en los requerimientos ambientales, este es en promedio del 17% del volumen requerido. Mediante el uso de escurrimientos estocásticos se estima que la vulnerabilidad puede variar de 20% a 16%, con un valor promedio de 18%.

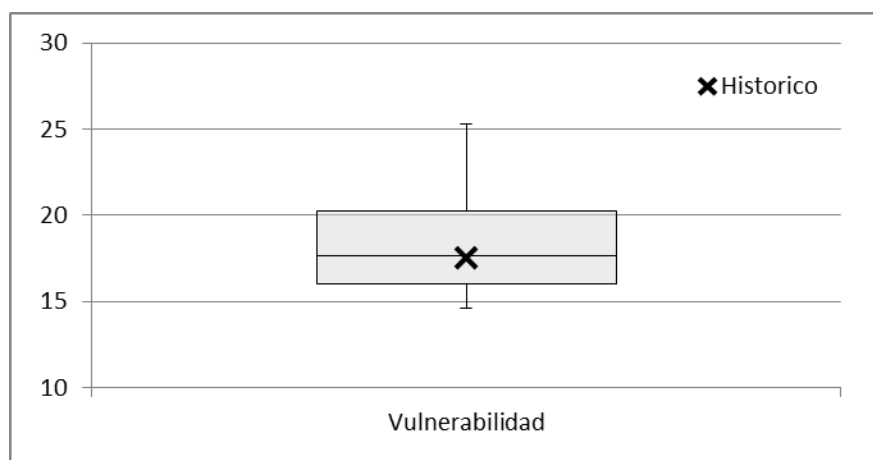


Figura 5.26 Vulnerabilidad de requerimientos ambientales de años secos.

La Figura 5.27 muestra los valores de vulnerabilidad para requerimientos ambientales durante años húmedos. Los valores para el escenario histórico muestran una vulnerabilidad del 41%. Mediante el uso de escurrimientos estocásticos se estima que la vulnerabilidad puede variar de 44% a 39%, con un valor promedio de 40%.

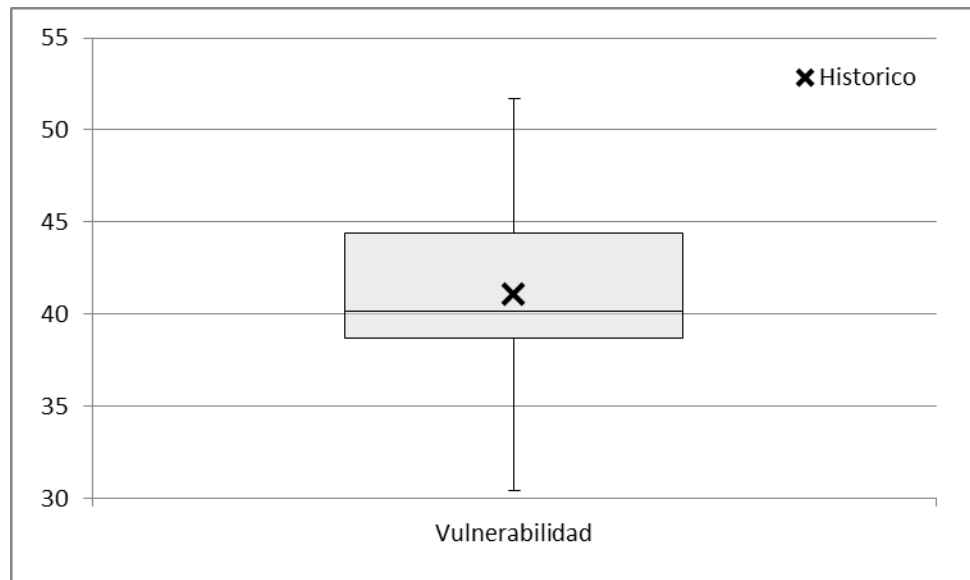


Figura 5.27 Vulnerabilidad de requerimientos ambientales de años húmedos.

La Figura 5.28 muestra los valores de resiliencia para requerimientos ambientales durante años secos. Los valores para el escenario histórico muestran una resiliencia del 41%, es decir, una vez que se ha presentado un déficit en los requerimientos ambientales, existe una probabilidad de 42% que el sistema se recupere; 2 de cada 5 veces el sistema se recupera. Mediante el uso de escurrimientos estocásticos se estima que la resiliencia puede variar de 45% a 42%, con un valor promedio de 43%.



Figura 5.28 Resiliencia de requerimientos ambientales de años secos.

La Figura 5.29 muestra los valores de resiliencia para requerimientos ambientales durante años húmedos. Los valores para el escenario histórico muestran una resiliencia del 25%, es decir, una vez que se ha presentado un déficit en los requerimientos ambientales, existe una probabilidad del 25% que el sistema se recupere; aproximadamente 1 de cada 4 veces el sistema se recupera. Mediante el uso de escurrimientos estocásticos se estima que la resiliencia puede variar de 31% a 23%, con un valor promedio de 28%.

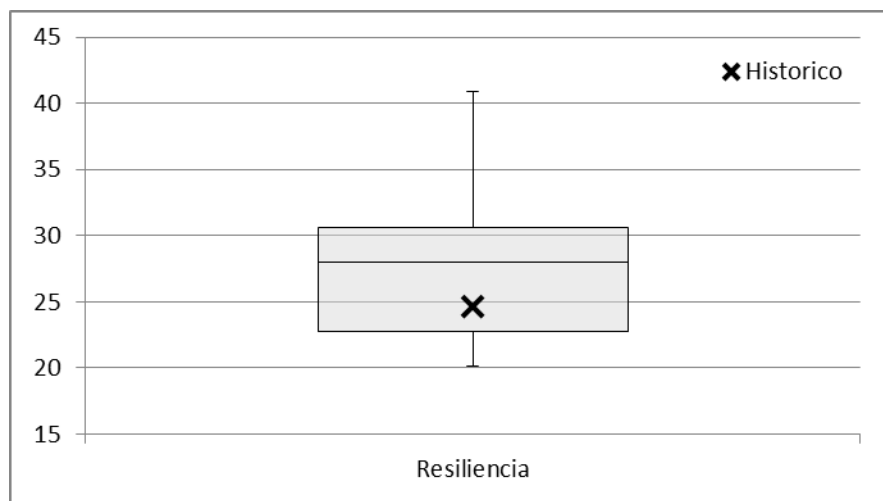


Figura 5.29 Resiliencia de requerimientos ambientales de años húmedos.

5.6.4 Análisis de resultados

A continuación se describe la construcción de un modelo estocástico para generar escurrimientos sintéticos, los cuales permiten hacer un análisis de incertidumbre para la gestión del agua en la Cuenca del Río Copalita. De este informe se concluye que:

- Fue posible construir un modelo estocástico para generar escurrimientos sintéticos para la Cuenca del Río Copalita.
- Se utilizaron como datos de entrada los escurrimientos restituidos históricos calculados para las estaciones San Miguel Suchixtepec, Pluma Hidalgo, San Francisco Ozolotepec y la estación hidrométrica de La Hamaca, para el periodo hidrológico de análisis de 1962-1993.
- Para la selección del modelo estocástico se comparó los resultados del criterios de desempeño de Akaike y Schwarz, así como los valores de estadística básica (media, desviación estándar, asimetría estadística) y estadística de sequías (longitud y magnitud de déficits y volúmenes excedentes). El modelo que presento mejor desempeño es el PARMA (1,0).
- Se generaron 1,000 series de escurrimientos sintéticos, cada serie de un periodo de 32 años.
- Se seleccionaron 10 series que representan una amplia gama de condiciones hidrológicas; sequía extrema, sequía moderada, condiciones normales, condiciones de abundancia moderada y extrema. Estas 10 series fueron obtenidas mediante un análisis estadístico de la media anual para cada una de las 1000 series.
- Se cargaron estas 10 series con escurrimientos sintéticos al modelo de gestión WEAP para la Cuenca del Río Copalita.
- Se construyó un escenario de caudales ecológicos para hacer un análisis de incertidumbre de los requerimientos ambientales.
- Se utilizaron los criterios de desempeño de confiabilidad (tiempo y volumen), vulnerabilidad y resiliencia para evaluar el abastecimiento de requerimientos ambientales en la estación hidrométrica de La Hamaca.

- Se compararon dos escenarios, el escenario histórico y el escenario que considera las 10 series de escurrimientos sintéticos.
- Los resultados del análisis de incertidumbre muestran que la confiabilidad histórica está por encima de la calculada con los escurrimientos sintéticos. Esto significa que se espera que en un futuro no se abastezca los requerimientos ambientales tan frecuentemente. Para la vulnerabilidad, los valores históricos y estocásticos son similares, es decir, se espera que el déficit promedio sea igual que el ocurrido en el periodo 1962-1993. Para la resiliencia, los valores históricos son inferiores a los valores estocásticos, es decir, se espera que el sistema se recupere más rápidamente que lo ocurrido en el periodo 1962-1993.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Ante la falta de información hidrológica, pues la información con que se contaba (13 estaciones) era muy deficiente. Algunas estaciones sólo contaban con 4 y 7 años de registro, como es el caso de las estaciones Santa Ma. Huatulco, El Tepanal y Jalatengo. Otras contaban entre 9 y 15 años, San Isidro Chacalapa y San José del Pacífico. Por poner dos ejemplos. Así que si queríamos realizar un análisis hidrológico de la cuenca, teníamos que recurrir a un modelo estocástico. Al hacer el análisis de los resultados nos podemos dar cuenta que es correcta la utilización de este tipo de modelos, ya que al comparar los escurrimientos históricos y los sintéticos de la media (Mean), desviación estándar (Stdev), asimetría estadística (Skew), mínimos (Min), Máximos (Max) y Auto-correlación (Lag-1 cor) para cada mes. Nos podemos dar cuenta que los resultados en todos los casos son bastante similares a los valores históricos. De igual forma las estadísticas anuales de los escurrimientos sintéticos e históricos. Entonces, ante la falta de información vemos que un modelo estocástico nos puede ser de gran utilidad, así como los modelos de regresión múltiple y de cadenas de Markov. Así por ejemplo, nos damos cuenta que si no se desarrolla un plan a mediano plazo para captar agua (una presa por ejemplo) en un periodo de 6 a 8 años, la cuenca puede tener problemas de desabasto.

Aunque un modelo estocástico nos puede servir para hacer análisis hidrológico, también es importante considerar en la Cuenca del Río Copalita, y en particular en cada una de las subcuencas que la integran, la instalación de estaciones hidrométricas ubicadas estratégicamente en puntos clave de la cuenca, para determinar con mayor precisión los escurrimientos diarios, mensuales y anuales de los gastos de cada cauce, de manera que permita obtener los balances hidrológicos disponibles para atender las actividades productivas y tomar decisiones sobre la factibilidad de construir almacenamientos en sitios adecuados, para poder disponer de volúmenes de agua para riego y abastecimiento a las poblaciones, así como, mantener el aporte de agua al complejo turístico de Huatulco.

Se recomienda utilizar este modelo con reserva, ya que los escurrimientos restituidos fueron calculados con valores constantes proporcionados por los volúmenes de concesión declarados en el REPDA y no con volúmenes de extracción históricos. Además, no se consideraron pérdidas por conducción en ninguno de los ríos, por lo que es necesario tomar esto en consideración. A pesar de lo anterior, el procedimiento descrito en este proyecto muestra cómo es posible construir un modelo estocástico para generar escurrimientos sintéticos y utilizarlos para realizar un análisis de incertidumbre en la gestión del agua en la cuenca del Rio Copalita. En esta investigación solo se analizaron los resultados para los requerimientos ambientales, sin embargo, es necesario realizar el análisis de abastecimiento para los demás usuarios del agua en la cuenca.

Bibliografía y Anexos.

- Branson-Litvack. (1979). *Macroeconomía*. Ed. Itarla,
- Campos Aranda, D. F. (1992). *Procesos del ciclo hidrológico*. México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- *Caracterización y diagnóstico de la cuenca hidrológica del río Copalita, para sustentar el manejo integrado de sus recursos*. SEMARNAT, CONAGUA. Diciembre/2006. ESIA-IPN.
- *Conceptualización del proyecto emblemático de La Cuenca del Río Copalita*. SEMARNAT, CONAGUA. Mayo/2009. ESIA-IPN.
- Cotler, H. comp. (2004). *El manejo integral de cuencas en México, estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. México. INE/SEMARNAT.
- Cruz Bello, G. (n.d.). *La cuenca como unidad de planeación ambiental*. Obtenida de www.ine.gob.mx.
- Dagum, Camilo y Estela. *Introducción a la Econometría*. Ed. Siglo XXI, 1980.
- Dourojeanni, Axel; Jouravlev, Andrei, y Chávez Guillermo. *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. CEPAL. Santiago de Chile. Agosto de 2002.
- Draper-Smith. *Applied Regression Analysis*. Wiley, 1966.
- Escalante Sandoval, Carlos A.; Reyes Chávez, Lilia. *Análisis de sequías. Vol. I y II*. UNAM. 2005.
- Escalante Sandoval, Carlos A.; Reyes Chávez, Lilia. *Técnicas estadísticas en hidrología*. UNAM. 2005.
- FAO. *Situación de los bosques del mundo*. www.fao.org.
- Geoffrey, P.E. Clarkson. *La teoría de la demanda de los consumidores*. Herrero Hermanos, S.S., 1969.
- Gujarati, Damodar. *Econometría Básica*. Ed. Mac Graw Hill, 1981.
- INE. *Dirección en manejo integrado de cuencas hídricas*. www.ine.gob.mx/dgoece/conceptos.
- J.R. Hicks. *Revisión de la Teoría de la Demanda*. Fondo de Cultura Económica, 1958.
- J.S. Kramer. *Econometría Empírica*. Fondo de Cultura Económica, 1973.
- Lange, Oscar. *Introducción a la Econometría*. Fondo de Cultura Económica, 1978.

- Maddala. *Econometría*. Ed. Mac Graw Hill, 1985.
- Michael D. Intriligator. *Econometric Models. Techniques, Application*. Prentice Hall, 1978.
- Ruiz Urbano, Ma. Del Rocío. *Programa de automatización de los métodos estadísticos en hidrología*. UNAM. 2002.
- Stanley Young. *La Administración como un proceso de toma de decisiones*. Serie Wickenson, 1973.
- Stochastic Analysis Modeling and Simulation 2009. Colorado State University. <http://www.sams.colostate.edu/>.
- T. Haan, Charles. *Statistical Method in Hydrology*. The Iowa State University Press. 1977.
- Water Evaluation and Planning System. WEAP. Stockolm Environment Institute.

GLOSARIO

AFORO

Aforar una corriente significa determinar a través de mediciones el gasto que pasa por una sección dada.

CICLO HIDROLÓGICO

El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos. Del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar.

CUENCA

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

ESCURRIMIENTO

Se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

EVAPORACIÓN

Es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones y en el suelo, en las capas cercanas a su superficie, a estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera. Se produce básicamente por el aumento de energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercana a la superficie de un suelo húmedo o una masa de agua, producido por la radiación solar, el viento y las diferencias en presión de vapor.

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Es la combinación de evaporación y transpiración.

GASTO

Volumen de escurrimiento por unidad de tiempo.

INFILTRACIÓN

Movimiento del agua a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

PARTEAGUAS

Es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.

PRECIPITACIÓN

Se entiende por precipitación todo aquello que cae del cielo a la superficie de la tierra, ya sea en forma de lluvia, granizo, agua nieve, nieve, etc. Este fenómeno se da por la condensación del vapor de agua con tal rapidez en la atmósfera, alcanzando tal peso que no puede seguir flotando como las nubes, la niebla o la neblina y se precipita de las diversas formas ya mencionadas.

TRANSPIRACIÓN

Es el agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas. Esta agua es tomada por las plantas, naturalmente, del suelo.

ANEXOS

CUENCA COPALITA, OAXACA

MATRIZ DE FACTORES DE LA PROBLEMÁTICA DEL AGUA

1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17	
SUBCUENCA	MUNICIPIOS	TAMAÑO DE LA POBLACION	SUPERFICIE MUNICIPAL	DENSIDAD DEMOGRAFICA	ESCURR. ANUAL	DISPONIBILIDAD HIDRICA	INFRAESTRUCTURA			DISPONIBILIDAD TEMPORAL		DISTRIBUCION ESPACIAL		GASTO MÁXIMO PROBABLE (m³/s)																			
		No. De Hab.	km²	Hab/km²	miles de m³	m³/hab	SUFICIENTE	INSUFICIENTE	INEXISTENTE	EN ESTIAJE	EN LLUVIAS	CUENCA	SUBCUENCA	MUNICIPAL	Tr :10	Tr :25	Tr :50	Tr :100															
											miles de m²	miles de m²	m³/km²/año	m³/km²/año		m³/s	m³/s	m³/s	m³/s														
RIO SANTA AMITA	1) San Agustín Loxicha	22	40.21	0.55	8561.2	390055.9				3694.0	66522.0	582932.5	414620.6	213417.8																			
	2) Candelaria Loxicha	544	16.50	32.96	7944.5	14603.9				en los meses de Ene- Abr y	en los meses de May - Sep.	Cuenca Copalita	Subcuenca Santa Anita	481381.5																			
	3) San Mateo Río Hondo	1141	47.95	23.79	22037.6	19288.0								459936.6																			
	4) San Pedro el Alto	3397	44.26	76.53	16590.2	4899.0				Oct - Dic.	Representa el 94.8% del total			373910.5																			
	5) San Miguel Suchixtepec	539	14.63	36.83	7973.1	14655.4								517639.1																			
	6) Pluma Hidalgo	55	5.79	9.47	7599.4	137944.4									1305706.1	1224.0	1507.0	1695.0	1883.0														
RIO LA VENTA	1) San Marcial Ozolotepec	979	47.43	20.65	50104.8	51163.7				2154.1	177195.3	582932.5	676177.8	1056366.6																			
	2) San Pedro el Alto	1452	26.59	54.60	12216.3	8415.1				en los meses de Ene- Abr y	en los meses de May - Oct.	Cuenca Copalita	Subcuenca Rio La Venta	459493.7																			
	3) San Miguel Suchixtepec	2155	58.45	36.87	36756.4	17054.8				No. - Dic.	Representa el 98.8% del total			628882.0																			
	4) San Mateo Río Hondo	1141	66.23	17.23	41397.1	36281.4								625077.4																			
	5) San Sebastian Río Hondo	1989	29.30	67.87	17116.3	8606.4				Representa el 1.2% del total				584147.3																			
	6) Santa Ma. Ozolotepec	603	37.25	16.20	21758.2	36056.4								584167.8	1918.0	2361.0	2656.0	2952.0															
SAN CRISTOBAL	1) San Mateo Piñas	677	31.21	21.71	41396.1	61110.3				2846.2	197074.2	582932.5	635111.5	1326536.0																			
	2) San Marcial Ozolotepec	280	21.00	13.32	19870.6	71017.0				en los meses de Ene- Abr y	en los meses de May - Oct.	Cuenca Copalita	Subcuenca San Cristobal	946277.3																			
	3) Santa Ma. Ozolotepec	3420	114.22	29.94	62692.6	18333.6								548862.7																			
	4) Santiago Xanica	141	6.12	23.12	2565.9	18139.0				Nov. - Dic.	Representa el 98.6% del total			419363.2																			
	5) San Juan Ozolotepec	834	92.00	9.06	47954.8	57520.4								521221.8																			
	6) Santo Domingo Ozolotepec	962	50.23	19.15	25440.2	26445.2				Representa el 1.4% del total				596523.0																			
	7) San Sebastian Río Hondo	497	5.16	96.31	2547.9	5124.4								493512.4																			
	8) San Juan Mixtepec	80	13.44	3.72	6303.5	126069.9								469099.0	2426.0	2985.0	3359.0	3731.0															
SAN JERONIMO	1) Santiago Xanica	849	43.34	19.55	21829.9	29721.6				551.1	36591.2	582932.5	37142.3	503724.5																			
	2) San Juan Ozolotepec	556	29.33	18.85	15312.1	37549.6				1.50%	98.50%	Cuenca Copalita	Cuenca San Jerónimo	52121.6	831.0	1154.0	1316.0	1477.0															
	3) San Pedro Mixtepec	120	49.39	2.43	31294.9	26497.1				1960.2	187268.8	582932.5	18927	643732.8																			
RIO YUVIAGA	1) San Juan Ozolotepec	4867	126.76	12.85	69313.1	49365.1				en los meses de Ene- Abr y	en los meses de May - Oct.	Cuenca Copalita	Subcuenca Yuviaga	634325.9																			
	2) San Fco. Ozolotepec	1835	33.20	55.27	22410.7	12212.9								674973.0																			
	4) Santiago Xanica	1132	72.42	15.62	42728.5	37759.3				Nov. - Dic.	Representa el 99% del total			589977.6																			
	5) San Miguel de Puerto	173	23.68	7.29	9969.9	57729.5				Representa el 1.0% del total				420946.3	2230.0	2744.0	3087.0	3430.0															
RIO SAN MIGUEL	1) Sta. Ma. Huatulco	267	36.58	7.30	16596.5	62159.4				9695.1	207951.8	582932.5	217646.9	453654.6																			
	2) San Miguel de Puerto	3281	235.26	13.95	70021.9	21339.7				en los meses de Ene- Abr y	en los meses de May - Oct.	Cuenca Copalita	Subcuenca Rio San miguel	297642.0																			
	3) San Mateo Piñas	1581	78.66	20.09	94692.0	59908.9								1203753.0																			
	4) Santiago Xanica	707	17.71	39.92	8303.6	11740.6				Nov. - Dic.	Representa el 95.6% del total			468732.4																			
	5) Pluma Hidalgo	82	9.64	8.53	13726.9	166993.6				Representa el 4.4% del total				1424184.5																			
	6) San Marcial Ozolotepec	140	5.80	24.12	5453.6	38982.2								940387.0	1589.0	2013.0	2225.0	2543.0															
TOTALES		33258	1532.75		893489.8																												

NOTAS :
 La matriz de factores de la problemática del agua, es un intento de mostrar el conjunto de la problemática del agua, relacionada con población, infraestructura, distribución espacial del agua, índice de marginación, etc., comparativo a nivel municipal, subcuencas y cuenca, de manera que se pueda evaluar, individualmente o en conjunto cada área de la cuenca y subcuencas.

- OBJETIVOS.
- Priorizar acciones correctivas en la cuenca.
 - Planear acciones en las zonas, acordes con el gasto de inversión estatal.
 - Optimización de los principales recursos disponibles en la cuenca : agua-suelo-agricultura-forestería
 - Obtener la matriz de acciones prioritarias

CONTENIDO DE LA MATRIZ DE FACTORES DE LA PROBLEMÁTICA DEL AGUA

Subcuenca :identifica el área de estudio
 Municipio : Puntualiza el nivel de análisis
 El No. De habitantes por municipio, es un parámetro útil para definir la demanda total y para determinar el grado de presión sobre el recurso hídrico (lts/km² como demanda, volumen total demandado).
 La densidad demográfica es un factor que permite comparar, la disponibilidad hídrica contra la densidad demográfica
 El Índice de marginación puede ser un freno para la optimización en la explotación de los recursos existentes. O bien, el Índice de marginación es una presión sobre los recursos forestales.
 Disponibilidad hídrica: es el recurso disponible para la sustentación humana, agricultura, etc. La disponibilidad hídrica puede facilitar ciertas actividades. La disponibilidad hídrica no es uniforme.
 Infraestructura, suficiente, insuficiente, inexistente : Indica las necesidades para el aprovechamiento óptimo de los recursos relacionados con el agua, así como la necesidad de la inversión productiva.
 Disponibilidad temporal : Muestra la aparente incongruencia, entre la disponibilidad anual y la mensual, indicando la necesidad de infraestructura.
 Distribución espacial del recurso hídrico: equivale a mostrar la "densidad del agua" a nivel regional, subcuenca y municipal.

Las matrices mencionadas se resolverán con el producto de estudios anteriores , complementados con los elaborados en el presente. En el caso de la hidrología la complementación correspondiente a este estudio será mínima. La mayor parte del trabajo hidrológico se centrará en la interpretación de los resultados obtenidos en estudios hidrológicos anteriores.

ANEXO 2

Estación La Hamaca

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962												
1963												
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
1972					20.0	527.0	30.0	9.0	20.0		57.0	11.4
1973	0.0	2.5		10.4	26.3	54.6	219.4	39.0	421.5	504.0	15.0	0.0
1974	0.0	-1.0	48.0	0.0	227.0	784.0			532.5	38.2	0.0	0.0
1975		39.7	0.0	0.0	149.9	142.3	78.8	349.1	573.4	214.6	61.0	
1976	0.0	10.3	9.5	47.6	68.2	187.6	43.0	150.3	190.5	145.8	33.2	19.5
1977	0.0	0.0	0.0	0.0	149.1	157.3	33.0		221.8	123.6	55.1	0.0
1978	34.5		21.8	0.0	231.6	309.1	239.3	331.1	364.5	138.2	0.0	57.2
1979	2.7	0.0	6.8	53.4	137.0	117.8	246.1	649.4	481.8	141.9	3.1	0.0
1980	0.0	18.4	2.7	206.3	36.0	152.8	248.4	252.6	133.5	136.2	6.9	6.6
1981	0.0	3.2	0.0	18.5	68.7	688.6	127.0	938.8	320.2	233.1	77.4	0.0
1982	0.0	2.8	19.2	128.7	232.0	434.1	53.7	53.0	259.5	66.3	20.3	0.0
1983	2.7	41.3	45.0	0.0	6.2	255.7	180.2	370.4	261.3	61.8	39.5	8.1
1984	4.9	6.5	0.0	0.0	222.6	229.8	520.8	253.6	686.1		1.5	0.0
1985	0.0	0.0	38.4			196.8	210.5	478.3	331.1			
1986												
1987	0.0	0.0	67.7	0.0	0.0	320.8	209.2	165.2	151.3	50.3	0.0	13.2
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	16.6	462.8	112.6	189.5	137.4	185.4	35.0	0.0
1989												
1990												
1991	0.0	0.0			49.5	296.0	194.5	242.5	243.0		0.0	0.0
1992		0.0	0.0			13.5	113.7	44.7	420.9	31.3	0.0	0.0
1993	9.3	14.4	0.0	0.0	47.5	831.5	413.5	402.6				

Estación San Miguel Suchixtepec

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	4.6	1.1	1.3	58.7	57.2	199.9	111.7	281.0	214.9	122.8	11.5	6.8
1963	2.5	18.0	14.4	10.5	114.5	143.5	255.2	231.5	257.2	46.3	33.5	2.0
1964	11.0	9.5	3.0	0.0	184.3	349.6	195.7	98.8	314.7	25.8	52.6	61.7
1965	27.1	38.7	10.5	26.6	66.9	282.1	337.3	262.2	324.8	410.1	13.0	6.0
1966	3.4	26.6	60.6	85.9	82.2	200.5	197.5	262.5	170.7	173.1	8.0	11.8
1967	1.7	0.1	24.0	71.0	38.6	305.2	202.9	226.4	309.9	179.8	2.0	7.6
1968	22.2	14.3	2.5	33.2	279.3	212.0	163.1	173.8	93.2	43.6	6.6	9.4
1969	62.9	1.0	0.0	0.0	0.0	196.8	0.0	536.6	331.7	99.4	13.8	11.1
1970	7.7	16.2	0.7	5.6	106.5	234.1	243.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	0.3	6.5	2.4	26.4	29.9	435.5	169.2	219.5	338.9	90.6	4.0	0.1
1972	1.0	0.0	20.4	84.7	75.3	326.1	163.6	116.0	193.9	76.9	52.0	12.4
1973	5.0	7.0	1.0	93.6	44.0	300.8	191.6	249.1	148.7	83.0	17.1	13.0
1974	32.0	0.0	52.0	27.0	182.0	315.0	292.0	233.0	354.0	9.0	14.0	0.0
1975	32.0	11.0	0.0	0.0	177.0	204.0	365.5	227.1	274.0	103.0	6.0	4.0
1976	4.0	5.0	0.0	0.0	71.2	227.5	147.5	127.2	195.5	145.5	35.0	0.0
1977	0.0	0.0	21.0	0.0	122.0	158.1	104.4	175.0	241.7	200.0	17.5	49.5
1978	1.0	4.0	32.0	73.3	208.0	286.0	152.2	249.4	239.8	96.5	18.0	0.0
1979	10.2	22.0	2.8	40.0	141.0	146.0	150.9	430.0	261.0	48.0	7.0	0.0
1980	13.5	9.8	3.0	18.0	80.0	85.0	223.0	238.0	175.9	90.0	1.0	0.0
1981	0.0	15.0	79.0	64.0	99.0	285.9	215.9	623.3	206.3	180.9	2.5	2.0
1982	1.0	56.9	4.8	56.1	228.1	101.5	134.9	145.9	178.0	150.3	9.0	0.0
1983	1.2	185.2	17.8	0.0	10.7	152.7	133.8	134.4	242.5	88.9	2.9	0.0
1984	0.0	11.2	6.6	12.0	170.1	195.2	206.5	344.7	354.5	50.8	0.0	0.0
1985	0.0	10.6	0.0	100.0	76.1	200.2	0.0	198.9	178.8	127.6	12.1	0.0
1986	0.0	6.1	0.0	23.7	162.6	284.8	278.6	179.6	229.1	56.0	8.5	0.0
1987	2.2	0.0	33.9	96.8	73.3	243.5	236.2	150.6	187.6	0.0	0.0	0.0
1988	11.7	7.5	0.1	12.7	23.0	333.5	170.3	238.4	186.6	138.7	0.0	0.0
1989	0.0	0.5	6.0	47.5	132.7	287.7	35.0	239.2	0.0	113.8	34.2	2.5
1990	3.0	30.3	15.1	43.1	105.6	217.0	163.4	249.3	193.9	99.7	7.0	0.5
1991	5.5	4.0	0.0	0.0	125.5	243.0	176.2	109.5	144.1	191.2	30.4	4.0
1992	36.5	1.0	115.0	44.5	106.7	172.1	234.5	224.2	190.2	72.7	30.1	2.0
1993	5.0	32.0	13.0	12.5	51.2	308.9	250.3	212.4	253.6	191.5	0.0	0.0

Estación San Mateo Río Hondo

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962												
1963												
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
1972												
1973												
1974												
1975												
1976												
1977												
1978												
1979												
1980	0.00	0.00	0.00	22.00	102.90	82.40	185.40	254.80	0.00	61.00	3.00	0.00
1981	0.00	0.00	26.50	64.00	84.50	389.00	298.80	355.30	143.20	115.50	16.50	16.00
1982	0.00	23.00	13.30	23.00	171.10	230.60	99.40	113.30	204.10	128.20	8.00	0.00
1983	6.50	151.50	76.50	0.00	13.30	204.10	205.00	10.10	228.60	59.70	12.60	10.20
1984	2.70	8.80	1.50	14.00	209.10	252.80	229.80	262.00	313.10	28.60	0.00	9.50
1985	0.00	14.60	0.00	73.40	97.20	119.80	104.40	208.40	180.50	33.80	26.00	4.20
1986	0.00	0.00	0.00	73.20	175.40	317.60	328.60	204.50	196.10	47.40	16.40	0.00
1987												
1988	0.00	4.00	0.00	15.00	22.80	304.80	159.50	256.50	175.60	82.50	0.00	0.00
1989	0.00	0.00	1.50	8.30	147.10	401.30	140.60	157.30	216.50	88.50	12.50	0.00
1990												
1991	5.50	0.00	0.00	0.00	127.40	185.50	154.60	0.00	0.00	184.50	16.20	0.00
1992	33.20	17.50	76.60	32.20	33.40	110.50	188.20	277.20	200.20	94.00	33.60	0.00
1993	5.50	21.50	12.00	6.50	28.80	391.60	362.20	156.50	191.30	96.50	29.20	9.00

Estación San José del Pacífico

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962												
1963												
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
1972												
1973												
1974												
1975												
1976												
1977												
1978												
1979	0.0	0.0	0.0	96.8	208.5	575.0	446.0	296.0	157.8	0.0	0.0	0.0
1980	21.0	0.0	0.0	41.0	80.0	110.0	358.0	360.5	140.8	12.8	0.0	0.0
1981	0.0	0.0	70.0	86.2	61.6	412.5	293.8	162.7	57.2	0.0	0.0	0.0
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	536.0	542.0	484.0	433.0	513.8	94.0	0.0	10.0
1983	8.0	0.0	172.0	0.0	8.0	56.0	168.0	332.0	326.5	34.0	0.0	0.0
1984	0.0	0.0	0.0	0.0	265.0	231.0	191.5	74.5	247.5	6.0	0.0	0.0
1985	0.0	0.0	0.0	81.0	182.0	688.0	258.0	664.0	115.7	171.0	96.0	0.0
1986	0.0	0.0	0.0	40.0	250.0	403.0	150.0	365.0	417.0	5.0	0.0	0.0
1987												
1988	0.0	148.0	6.0	0.0	44.0	547.0	712.0	967.0	971.0	0.0	0.0	0.0
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	896.3	1223.0	784.0	847.0	562.0	0.0	0.0	0.0
1990												
1991	0.0	146.0	183.0	0.0	334.0	1132.0	861.0	989.0	916.0	314.0	8.0	0.0
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	186.0	1029.0	1303.2	816.0	921.0	361.0	180.0	0.0
1993	0.0	168.0	0.0	64.0	262.0	0.0	0.0	940.0	598.0	178.0	0.0	0.0

Estación Pluma Hidalgo

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1962	0.7	0.7	0.7	1.0								
1963	7.6	38.0	0.0	23.0	197.6	426.4	689.0	308.0	524.5	322.1	120.0	63.5
1964	36.0	3.5	0.0	0.0	373.5	757.5	409.5	375.5	744.5	460.0	64.5	33.5
1965	17.0	0.0	2.0	42.0	219.5	704.0	297.5	399.5	667.0	344.0	170.0	0.0
1966	7.5	0.0	60.5	257.5	492.0	557.5	292.5	741.0	783.5	362.0	36.5	146.5
1967	60.0	0.0	30.0	101.5	118.5	942.5	577.5	428.6	566.0	428.5	20.0	20.0
1968	362.3	175.6	0.0	0.0	426.5	519.0	258.0	201.0	554.5	56.0	0.0	0.0
1969	0.0	0.0	611.0	40.0	426.0	736.9	402.9	1233.1	737.5	267.7	54.6	0.0
1970	0.0	0.0	0.0	0.0	107.1	534.1	788.6	967.0	869.0	209.4	320.5	301.0
1971	196.0	103.0	0.0	2.6								
1972	0.0	15.0	35.0	383.5	455.0	725.0	511.0					28.0
1973	10.0	85.2	0.0	260.0	412.2	480.1	328.8	528.2	534.2	736.2	110.5	8.2
1974	0.0	0.0	115.5	44.0	391.4	518.9	105.0	224.6	595.9	130.0	0.0	0.0
1975	0.0	20.5	0.0	0.0	84.6	89.4	79.0	51.5	73.5			42.0
1976	0.0	0.0	0.0	0.0							3.6	0.0
1977						253.1	135.2	288.6	213.8	199.2	70.3	0.0
1978	0.0	70.5	86.4	102.7	214.7	153.7	357.7	366.3	298.9	99.3	130.0	93.1
1979	0.0	0.0	93.0	93.0	95.0	125.0	104.0	187.0	138.0	90.0		
1980			7.3	73.4	83.1	272.8	532.1	655.0	598.0	338.2	279.0	105.5
1981	69.0	90.5	0.5	140.5	252.5	780.4	516.1	960.5	636.0	570.6	122.0	33.0
1982	18.0	130.5	29.5	76.0	508.0	303.6	311.0	267.0	663.0	254.5	26.5	21.0
1983	1.0	55.0	43.0	0.0	30.0	632.0	619.0	576.5	351.0	260.0	150.5	6.4
1984	62.6	104.3	123.0	20.0	387.3	706.0	810.4	433.7	880.8	262.2	65.0	0.0
1985	7.2	39.0		159.0	378.4	328.2	487.1	640.6	653.6	578.5	44.9	27.1
1986	37.6	31.0	1.0	154.7	300.8	522.7	262.1	478.0	485.9	138.7	19.7	93.0
1987	12.2	19.7	106.1	75.2	171.9	567.5	386.7	335.0	260.3	223.0	84.6	78.6
1988	47.8	44.0	27.4	27.0	11.9	455.5	354.7	553.0	729.7	334.2	68.1	5.0
1989	28.5	6.4	16.0	7.0	191.6	528.0	391.4	409.8	495.2	489.0	60.1	269.0
1990	3.0	85.8	125.1	225.4	253.7	781.8	536.3	468.1	360.1	422.4	123.2	16.0
1991	0.0	9.0	6.0	0.0	304.5	588.1	381.6	512.0	416.2	11.0	0.0	7.6
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	128.1	453.1	444.2	414.0	402.3			
1993	0.0	0.0	51.4	4.6	90.5	822.5	426.0	283.0	489.0	44.0	134.0	0.0

Model Parameters

Current_Model: PARMA(1,0)

For Site(s): 1

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.19424	2.77603	59.953	59.005
2	1.84128	2.47184	65.33	64.382
3	1.55379	3.51168	76.064	75.116
4	3.7301	0.477176	7.029	6.081
5	5.47578	0.068149	-49.577	-50.525
6	2.38E-05	0.99901	35.377	34.429
7	917.458	148344	416.775	415.827
8	6.25772	0.042544	-65.103	-66.051
9	8293.25	1.38E+07	557.737	556.789
10	4.9187	0.253594	-7.579	-8.527
11	2.36008	0.958568	34.624	33.676
12	-0.680622	7.9437	92.751	91.803

Model Parameters

Current_Model: PARMA(1,0)

For Site(s): 2

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.34437	6.59843	92.979	92.03
2	2.85425	2.09538	49.127	48.179
3	2.36384	4.32514	83.202	82.254
4	3.42073	2.25254	56.471	55.523
5	6.81442	0.022757	-88.603	-89.551
6	-0.00023223	0.9938	35.773	34.825
7	7.44435	0.0103763	-117.699	-118.647
8	6.54136	0.0953482	-50.195	-51.143
9	7373.77	1.07E+07	541.47	540.522
10	6.55179	0.0496784	-62.477	-63.425
11	-0.00031939	1.0001	34.593	33.645
12	3.13001	2.03397	54.908	53.96

Model Parameters

Current_Model: PARMA(1,0)

For Site(s): 3

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.59221	1.49582	49.202	48.254
2	1.97217	1.6861	52.446	51.498
3	2.16222	2.43743	64.305	63.357
4	3.63052	0.936204	33.671	32.723
5	5.4263	0.081879	-43.699	-44.647
6	6.07297	0.085406	-42.322	-43.27
7	-0.000854	0.984338	33.709	32.761
8	5.79215	0.122766	-32.691	-33.64
9	7.65215	0.002134	-170.04	-170.99
10	4.98799	0.23044	-11.751	-12.699
11	2.70089	1.01045	35.654	34.705
12	1.38079	2.24217	58.293	57.345

Model Parameters

Current_Model: PARMA(1,0)

For Site(s): 4

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	0.341977	0.501937	13.888	12.94
2	1.88722	0.701698	24.658	23.71
3	2.94642	0.409924	7.744	6.796
4	3.20435	0.888556	32.499	31.551
5	5.28732	0.149746	-24.436	-25.384
6	6.50264	0.079525	-44.618	-45.566
7	5.60634	0.10673	-35.467	-36.415
8	6.38052	0.095139	-41.177	-42.125
9	6922.93	1.03E+07	548.754	547.806
10	5.03644	0.208395	-14.064	-15.012
11	0.0021222	0.981303	31.471	30.523
12	2.43119	0.313204	-0.741	-1.689

Model Parameters

Current_Model: PARMA(2,0)

For Site(s): 1

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	9.63125	198.61	204.311	204.385
2	1.84128	2.47184	66.831	66.906
3	1.55379	3.51168	77.555	77.63
4	3.7301	0.477176	8.766	8.841
5	5.47578	0.068149	-47.406	-47.332
6	2.38E-05	0.99901	37.198	37.272
7	917.458	148344	416.933	417.007
8	6.25772	0.042544	-62.751	-62.676
9	8293.25	1.38E+07	556.573	556.648
10	4.9187	0.253594	-8.002	-7.927
11	2.36008	0.958568	37.011	37.086
12	-0.680622	7.9437	92.917	92.992

Model Parameters

Current_Model: PARMA(2,0)

For Site(s): 2

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.34437	6.59843	94.964	95.038
2	2.85425	2.09538	51.569	51.643
3	2.36384	4.32514	84.668	84.743
4	3.42073	2.25254	57.386	57.461
5	6.81442	0.022757	-86.175	-86.101
6	-0.000232	0.9938	38.212	38.287
7	7.44435	0.0103763	-116.594	-116.52
8	6.54136	0.0953482	-48.574	-48.499
9	7373.77	1.07E+07	542.037	542.111
10	6.55179	0.0496784	-62.06	-61.986
11	-0.000319	1.0001	36.901	36.975
12	3.13001	2.03397	56.733	56.807

Model Parameters

Current_Model: PARMA(2,0)

For Site(s): 3

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.59221	1.49582	51.644	51.718
2	1.97217	1.6861	54.427	54.501
3	2.16222	2.43743	55.96	56.034
4	3.63052	0.9362	34.252	34.326
5	5.4263	0.08188	-42.661	-42.587
6	6.07297	0.08541	-40.122	-40.048
7	-0.00085	0.98434	35.957	36.031
8	5.79215	0.12277	-35.202	-35.128
9	7.65215	0.00213	-169.299	-169.23
10	4.98799	0.23044	-11.165	-11.091
11	2.70089	1.01045	37.436	37.511
12	1.38079	2.24217	49.85	49.924

Model Parameters

Current_Model: PARMA(2,0)

For Site(s): 4

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	0.341977	0.501937	13.62	13.695
2	1.88722	0.701698	20.324	20.398
3	2.94642	0.409924	8.878	8.953
4	3.20435	0.888556	34.675	34.749
5	5.28732	0.149746	-22.477	-22.403
6	6.50264	0.079525	-42.717	-42.642
7	5.60634	0.10673	-33.118	-33.044
8	6.38052	0.095139	-39.115	-39.041
9	6922.93	1.03E+07	548.11	548.184
10	5.03644	0.208395	-13.318	-13.244
11	0.0021222	0.981303	31.876	31.95
12	2.43119	0.313204	1.611	1.685

Model Parameters

Current_Model: PARMA(3,0)

For Site(s): 1

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	9.63125	198.61	200.787	201.703
2	1.84128	2.47184	69.366	70.281
3	1.55379	3.51168	77.875	78.79
4	3.7301	0.477176	8.375	9.29
5	5.47578	0.068149	-44.885	-43.969
6	2.38E-05	0.99901	39.739	40.655
7	917.458	148344	418.632	419.547
8	6.25772	0.042544	-60.956	-60.04
9	8293.25	1.38E+07	557.506	558.422
10	4.9187	0.253594	-5.645	-4.729
11	2.36008	0.958568	38.978	39.894
12	-0.680622	7.9437	95.524	96.44

Model Parameters

Current_Model: PARMA(3,0)

For Site(s): 2

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.34437	6.59843	96.28	97.196
2	2.85425	2.09538	54.192	55.107
3	2.36384	4.32514	86.944	87.86
4	3.42073	2.25254	59.564	60.48
5	6.81442	0.022757	-83.863	-82.947
6	-0.00023	0.9938	40.826	41.742
7	7.44435	0.010376	-114.066	-113.15
8	6.54136	0.095348	-46.836	-45.92
9	7373.77	1.07E+07	543.755	544.671
10	6.55179	0.049678	-59.678	-58.762
11	-0.00032	1.0001	37.108	38.024
12	3.13001	2.03397	58.753	59.668

Model Parameters

Current_Model: PARMA(3,0)

For Site(s): 3

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.59221	1.49582	53.753	54.669
2	1.97217	1.6861	56.762	57.678
3	2.16222	2.43743	58.123	59.039
4	3.63052	0.936204	36.859	37.775
5	5.4263	0.0818794	-42.072	-41.157
6	6.07297	0.0854062	-40.489	-39.574
7	-0.000854	0.984338	35.199	36.115
8	5.79215	0.122766	-33.063	-32.147
9	7.65215	0.0021337	-169.759	-168.844
10	4.98799	0.23044	-9.076	-8.16
11	2.70089	1.01045	40.046	40.962
12	1.38079	2.24217	52.474	53.39

Model Parameters

Current_Model: PARMA(3,0)

For Site(s): 4

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	0.341977	0.501937	15.357	16.273
2	1.88722	0.701698	22.807	23.722
3	2.94642	0.409924	9.386	10.302
4	3.20435	0.888556	36.47	37.386
5	5.28732	0.149746	-20.119	-19.203
6	6.50264	0.0795254	-41.029	-40.114
7	5.60634	0.10673	-31.292	-30.376
8	6.38052	0.0951391	-37.567	-36.651
9	6922.93	1.03E+07	550.527	551.443
10	5.03644	0.208395	-10.749	-9.833
11	0.00212223	0.981303	33.826	34.742
12	2.43119	0.313204	1.581	2.497

Model Parameters

Current_Model: PARMA(1,1)

For Site(s): 1

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	9.63125	198.61	204.233	204.308
2	1.84128	2.47184	66.756	66.831
3	1.55379	3.51168	75.271	75.346
4	3.7301	0.477176	6.117	6.191
5	5.47578	0.068149	-47.606	-47.531
6	2.38E-05	0.99901	36.792	36.867
7	917.458	148344	418.465	418.539
8	6.25772	0.042544	-62.696	-62.621
9	8293.25	1.38E+07	556.435	556.509
10	4.9187	0.253594	-5.69	-5.616
11	2.36008	0.958568	35.269	35.343
12	-0.680622	7.9437	95.143	95.218

Model Parameters

Current_Model: PARMA(1,1)

For Site(s): 2

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.34437	6.59843	94.059	94.133
2	2.85425	2.09538	51.569	51.644
3	2.36384	4.32514	84.677	84.752
4	3.42073	2.25254	58.028	58.102
5	6.81442	0.022757	-86.164	-86.09
6	-0.00023223	0.9938	38.208	38.283
7	7.44435	0.0103763	-116.484	-116.409
8	6.54136	0.0953482	-47.922	-47.848
9	7373.77	1.07E+07	542.08	542.154
10	6.55179	0.0496784	-62.254	-62.18
11	-0.00031939	1.0001	35.822	35.896
12	3.13001	2.03397	57.105	57.18

Model Parameters

Current_Model: PARMA(1,1)

For Site(s): 3

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.59221	1.49582	51.175	51.249
2	1.97217	1.6861	53.065	53.139
3	2.16222	2.43743	66.222	66.296
4	3.63052	0.936204	33.973	34.048
5	5.4263	0.0818794	-41.468	-41.394
6	6.07297	0.0854062	-41.02	-40.945
7	-0.000854	0.984338	33.029	33.103
8	5.79215	0.122766	-30.758	-30.684
9	7.65215	0.0021337	-170.988	-170.914
10	4.98799	0.23044	-12.846	-12.771
11	2.70089	1.01045	37.742	37.816
12	1.38079	2.24217	55.408	55.482

Model Parameters

Current_Model: PARMA(1,1)

For Site(s): 4

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	0.341977	0.501937	16.897	16.972
2	1.88722	0.701698	22.955	23.03
3	2.94642	0.409924	10.248	10.322
4	3.20435	0.888556	34.602	34.677
5	5.28732	0.149746	-22.683	-22.609
6	6.50264	0.0795254	-42.177	-42.103
7	5.60634	0.10673	-33.22	-33.145
8	6.38052	0.0951391	-38.777	-38.703
9	6922.93	1.03E+07	548.068	548.142
10	5.03644	0.208395	-13.083	-13.008
11	0.00212223	0.981303	27.642	27.717
12	2.43119	0.313204	1.698	1.773

Model Parameters

Current_Model: PARMA(2,1)

For Site(s): 1

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	9.63125	198.61	200.532	201.447
2	1.84128	2.47184	69.307	70.223
3	1.55379	3.51168	79.729	80.645
4	3.7301	0.477176	8.472	9.388
5	5.47578	0.068149	-44.776	-43.86
6	2.38E-05	0.99901	39.139	40.054
7	917.458	148344	415.964	416.88
8	6.25772	0.042544	-60.466	-59.55
9	8293.25	1.38E+07	555.494	556.41
10	4.9187	0.253594	-6.13	-5.214
11	2.36008	0.958568	39.085	40.001
12	-0.680622	7.9437	95.519	96.434

Model Parameters

Current_Model: PARMA(2,1)

For Site(s): 2

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.34437	6.59843	97.805	98.721
2	2.85425	2.09538	53.89	54.806
3	2.36384	4.32514	87.287	88.202
4	3.42073	2.25254	59.729	60.645
5	6.81442	0.022757	-83.801	-82.885
6	-0.00023223	0.9938	40.835	41.751
7	7.44435	0.0103763	-114.116	-113.2
8	6.54136	0.0953482	-47.843	-46.927
9	7373.77	1.07E+07	538.497	539.413
10	6.55179	0.0496784	-59.752	-58.837
11	-0.00031939	1.0001	39.01	39.926
12	3.13001	2.03397	58.608	59.524

Model Parameters

Current_Model: PARMA(2,1)

For Site(s): 3

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.59221	1.49582	53.902	54.818
2	1.97217	1.6861	56.806	57.721
3	2.16222	2.43743	57.576	58.492
4	3.63052	0.936204	36.874	37.79
5	5.4263	0.081879	-42.321	-41.405
6	6.07297	0.085406	-46.305	-45.389
7	-0.000854	0.984338	35.907	36.823
8	5.79215	0.122766	-32.839	-31.923
9	7.65215	0.002134	-169.949	-169.034
10	4.98799	0.23044	-9.196	-8.28
11	2.70089	1.01045	39.764	40.679
12	1.38079	2.24217	52.169	53.084

Model Parameters

Current_Model: PARMA(2,1)

For Site(s): 4

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	0.341977	0.501937	16.194	17.11
2	1.88722	0.701698	22.938	23.854
3	2.94642	0.409924	9.597	10.513
4	3.20435	0.888556	36.054	36.97
5	5.28732	0.149746	-22.725	-21.809
6	6.50264	0.0795254	-43.405	-42.489
7	5.60634	0.10673	-31.542	-30.626
8	6.38052	0.0951391	-36.876	-35.96
9	6922.93	1.03E+07	550.55	551.466
10	5.03644	0.208395	-10.741	-9.825
11	0.00212223	0.981303	34.48	35.396
12	2.43119	0.313204	1.225	2.14

Model Parameters

Current_Model: PARMA(3,1)

For Site(s): 1

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	9.63125	198.61	203.489	205.044
2	1.84128	2.47184	71.828	73.383
3	1.55379	3.51168	78.809	80.364
4	3.7301	0.477176	9.871	11.426
5	5.47578	0.068149	-43.126	-41.571
6	2.38E-05	0.99901	42.555	44.11
7	917.458	148344	420.7	422.255
8	6.25772	0.042544	-59.537	-57.982
9	8293.25	1.38E+07	558.257	559.812
10	4.9187	0.253594	-2.869	-1.314
11	2.36008	0.958568	41.087	42.642
12	-0.680622	7.9437	96.795	98.35

Model Parameters

Current_Model: PARMA(3,1)

For Site(s): 2

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.34437	6.59843	98.396	99.952
2	2.85425	2.09538	54.932	56.488
3	2.36384	4.32514	89.775	91.33
4	3.42073	2.25254	59.644	61.199
5	6.81442	0.022757	-84.058	-82.502
6	-0.00023223	0.9938	24.696	26.251
7	7.44435	0.0103763	-119.506	-117.95
8	6.54136	0.0953482	-47.731	-46.176
9	7373.77	1.07E+07	545.751	547.306
10	6.55179	0.0496784	-56.855	-55.299
11	-0.00031939	1.0001	37.663	39.218
12	3.13001	2.03397	61.234	62.789

Model Parameters

Current_Model: PARMA(3,1)

For Site(s): 3

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.59221	1.49582	53.593	55.148
2	1.97217	1.6861	58.548	60.103
3	2.16222	2.43743	54.488	56.044
4	3.63052	0.936204	39.028	40.584
5	5.4263	0.0818794	-40.578	-39.023
6	6.07297	0.0854062	-42.321	-40.766
7	-0.00085	0.984338	37.185	38.74
8	5.79215	0.122766	-33.601	-32.046
9	7.65215	0.0021337	-175.34	-173.785
10	4.98799	0.23044	-9.792	-8.237
11	2.70089	1.01045	41.252	42.807
12	1.38079	2.24217	54.262	55.817

Model Parameters

Current_Model: PARMA(3,1)

For Site(s): 4

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	0.341977	0.501937	18.18	19.735
2	1.88722	0.701698	17.761	19.316
3	2.94642	0.409924	6.691	8.246
4	3.20435	0.888556	32.994	34.55
5	5.28732	0.149746	-20.264	-18.709
6	6.50264	0.0795254	-38.242	-36.687
7	5.60634	0.10673	-28.507	-26.952
8	6.38052	0.0951391	-34.77	-33.214
9	6922.93	1.03E+07	553.208	554.763
10	5.03644	0.208395	-8.114	-6.559
11	0.00212223	0.981303	36.157	37.713
12	2.43119	0.313204	4.126	5.681

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,1)

For Site(s): 1

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	9.63125	198.61	203.778	202.83
2	1.84128	2.47184	64.577	63.629
3	1.55379	3.51168	75.784	74.835
4	3.7301	0.477176	8.031	7.083
5	5.47578	0.068149	-49.541	-50.489
6	2.38E-05	0.99901	35.386	34.438
7	917.458	148344	416.305	415.357
8	6.25772	0.042544	-64.977	-65.925
9	8293.25	1.38E+07	556.983	556.035
10	4.9187	0.253594	-7.626	-8.574
11	2.36008	0.958568	34.613	33.665
12	-0.68062	7.9437	94.032	93.084

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,1)

For Site(s): 2

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.34437	6.59843	93.863	92.915
2	2.85425	2.09538	50.175	49.227
3	2.36384	4.32514	83.256	82.308
4	3.42073	2.25254	56.591	55.643
5	6.81442	0.022757	-88.097	-89.045
6	-0.00023	0.9938	35.817	34.869
7	7.44435	0.0103763	-118.437	-119.385
8	6.54136	0.0953482	-44.961	-45.909
9	7373.77	1.07E+07	546.291	545.343
10	6.55179	0.0496784	-60.593	-61.541
11	-0.00032	1.0001	34.414	33.466
12	3.13001	2.03397	56.019	55.071

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,1)

For Site(s): 3

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.59221	1.49582	49.243	48.295
2	1.97217	1.6861	52.421	51.473
3	2.16222	2.43743	64.812	63.864
4	3.63052	0.936204	33.543	32.595
5	5.4263	0.0818794	-43.667	-44.615
6	6.07297	0.0854062	-42.322	-43.27
7	-0.000854	0.984338	33.725	32.777
8	5.79215	0.122766	-31.368	-32.316
9	7.65215	0.0021337	-169.038	-169.986
10	4.98799	0.23044	-13.002	-13.95
11	2.70089	1.01045	36.047	35.099
12	1.38079	2.24217	56.329	55.381

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,1)

For Site(s): 4

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	0.341977	0.501937	13.792	12.844
2	1.88722	0.701698	24.14	23.192
3	2.94642	0.409924	7.542	6.594
4	3.20435	0.888556	32.446	31.498
5	5.28732	0.149746	-24.404	-25.352
6	6.50264	0.0795254	-44.628	-45.577
7	5.60634	0.10673	-35.475	-36.423
8	6.38052	0.0951391	-40.988	-41.936
9	6922.93	1.03E+07	550.648	549.7
10	5.03644	0.208395	-13.813	-14.761
11	0.00212223	0.981303	31.196	30.248
12	2.43119	0.313204	-0.777	-1.725

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,2)

For Site(s): 1

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	9.63125	198.61	201.907	201.982
2	1.84128	2.47184	66.63	66.704
3	1.55379	3.51168	76.749	76.824
4	3.7301	0.477176	9.619	9.693
5	5.47578	0.068149	-47.342	-47.267
6	2.38E-05	0.99901	37.637	37.712
7	917.458	148344	417.024	417.098
8	6.25772	0.042544	-62.757	-62.682
9	8293.25	1.38E+07	556.265	556.34
10	4.9187	0.253594	-7.8	-7.726
11	2.36008	0.958568	36.296	36.37
12	-0.680622	7.9437	93.586	93.66

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,2)

For Site(s): 2

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.34437	6.59843	95.459	95.533
2	2.85425	2.09538	51.72	51.794
3	2.36384	4.32514	85.11	85.185
4	3.42073	2.25254	57.796	57.87
5	6.81442	0.022757	-85.847	-85.773
6	-0.00023223	0.9938	38.193	38.267
7	7.44435	0.0103763	-116.462	-116.388
8	6.54136	0.0953482	-48.55	-48.476
9	7373.77	1.07E+07	546.612	546.686
10	6.55179	0.0496784	-59.78	-59.705
11	-0.00031939	1.0001	35.46	35.534
12	3.13001	2.03397	57.767	57.841

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,2)

For Site(s): 3

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.59221	1.49582	51.657	51.731
2	1.97217	1.6861	54.805	54.879
3	2.16222	2.43743	56.288	56.362
4	3.63052	0.9362	34.261	34.335
5	5.4263	0.08188	-45.987	-45.912
6	6.07297	0.08541	-39.965	-39.89
7	-0.000854	0.98434	36.231	36.305
8	5.79215	0.12277	-35.059	-34.984
9	7.65215	0.00213	-162.966	-162.892
10	4.98799	0.23044	-10.437	-10.362
11	2.70089	1.01045	36.194	36.268
12	1.38079	2.24217	49.313	49.388

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,2)

For Site(s): 4

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	0.341977	0.501937	12.871	12.945
2	1.88722	0.701698	21.388	21.462
3	2.94642	0.409924	8.732	8.806
4	3.20435	0.888556	34.25	34.324
5	5.28732	0.149746	-22.921	-22.847
6	6.50264	0.0795254	-42.586	-42.511
7	5.60634	0.10673	-33.006	-32.932
8	6.38052	0.0951391	-39.229	-39.155
9	6922.93	1.03E+07	547.937	548.011
10	5.03644	0.208395	-12.995	-12.921
11	0.002122	0.981303	35.052	35.127
12	2.43119	0.313204	1.63	1.705

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,3)

For Site(s): 1

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	9.63125	198.61	201.044	201.96
2	1.84128	2.47184	68.629	69.545
3	1.55379	3.51168	80.764	81.68
4	3.7301	0.477176	8.592	9.508
5	5.47578	0.068149	-44.872	-43.956
6	2.38E-05	0.99901	40.544	41.46
7	917.458	148344	418.268	419.183
8	6.25772	0.042544	-61.055	-60.139
9	8293.25	1.38E+07	559.73	560.646
10	4.9187	0.253594	-4.313	-3.397
11	2.36008	0.958568	39.583	40.499
12	-0.680622	7.9437	95.543	96.459

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,3)

For Site(s): 2

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.34437	6.59843	96.171	97.087
2	2.85425	2.09538	54.39	55.305
3	2.36384	4.32514	86.936	87.852
4	3.42073	2.25254	59.589	60.505
5	6.81442	0.022757	-83.793	-82.878
6	-0.00023223	0.9938	40.165	41.081
7	7.44435	0.0103763	-114.692	-113.776
8	6.54136	0.0953482	-45.938	-45.022
9	7373.77	1.07E+07	543.507	544.423
10	6.55179	0.0496784	-58.427	-57.512
11	-0.00031939	1.0001	37.962	38.877
12	3.13001	2.03397	59.415	60.331

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,3)

For Site(s): 3

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	1.59221	1.49582	54.046	54.962
2	1.97217	1.6861	56.549	57.465
3	2.16222	2.43743	58.464	59.38
4	3.63052	0.936204	36.641	37.556
5	5.4263	0.081879	-46.001	-45.085
6	6.07297	0.085406	-38.458	-37.542
7	-0.000854	0.984338	36.227	37.142
8	5.79215	0.122766	-33.389	-32.473
9	7.65215	0.002134	-168.377	-167.461
10	4.98799	0.23044	-9.767	-8.851
11	2.70089	1.01045	40.917	41.833
12	1.38079	2.24217	51.219	52.134

Model Parameters

Current_Model: PARMA(0,3)

For Site(s): 4

Model Fitted To: Mean Subtracted Data

MEAN_AND_VARIANCE:

Season	Mean	Variance	AICC	SIC
1	0.341977	0.501937	15.415	16.331
2	1.88722	0.701698	25.264	26.18
3	2.94642	0.409924	10.853	11.768
4	3.20435	0.888556	36.75	37.666
5	5.28732	0.149746	-20.825	-19.909
6	6.50264	0.0795254	-39.913	-38.997
7	5.60634	0.10673	-31.18	-30.264
8	6.38052	0.0951391	-37.352	-36.436
9	6922.93	1.03E+07	550.96	551.876
10	5.03644	0.208395	-10.354	-9.439
11	0.00212223	0.981303	32.699	33.615
12	2.43119	0.313204	0.721	1.636