

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**“TRES ESCENARIOS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL PAPALOAPAN EN EL ESTADO  
DE VERACRUZ: UN EJERCICIO DE PROGRAMACIÓN LINEAL Y TEORIA DE JUEGOS”**

**TRABAJO TERMINAL**

Que para obtener el diploma de

**ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Presenta

**CÉSAR VÁZQUEZ GONZÁLEZ**

Aprobado por

**Dr. José Luis Fermán Almada**

**Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal**

**Dra. María Concepción Arredondo García**

**Ensenada B.C. a 28 de Julio de 2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al director del presente estudio el Dr. José Luis Fermán Almada, por su enorme colaboración y asesorías durante el año cursado en la especialidad.

Por su paciencia y buena atención, Dra. María Concepción Arredondo García.

Drásticos y muy tomados en cuenta fueron los consejos, Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal.

A toda la gente bonita y trabajadora de nuestro país que paga sus impuestos, gracias a ellos pude realizar mis estudios de especialidad becado por el CONACYT.

A mis compañeras y amigas (Karla, Karen y Brenda) sin su participación la realización del SIG no hubiera sido posible.

Al ingeniero Jorge Coria Cabrera y a los biólogos Jaime Tinoco y José Luis Rebolledo, sin su cooperación con la información el presente estudio no hubiera sido posible.

Para mamá... con amor.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
1. AGUA Y SU VALOR EN EL MERCADO .....	9
1.1. Valor de uso .....	9
1.2. Valor de cambio .....	9
1.3. Precio de equilibrio: de lo económico a lo sustentable .....	10
1.4. El mercado monopólico .....	11
1.4.1. Comportamiento de un monopolio natural .....	12
1.4.2. Monopolio: precios, costos, ingresos, beneficios y bienestar social .....	14
1.4.3. Discriminación de precios en el monopolio natural .....	16
2. AGUA, DESARROLLO HUMANO Y SUSTENTABILIDAD .....	20
2.1. Desarrollo Humano .....	20
2.2. Índice de Desarrollo Humano .....	21
2.3. Del desarrollo humano al desarrollo sustentable .....	22
2.4. Recurso hídrico y sustentabilidad .....	23
2.5. Agua: vulnerabilidad y sustentabilidad .....	24
3. RENTABILIDAD Y UTILIDAD EN LA OFERTA Y DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO: DE LA MAXIMIZACIÓN DEL BENEFICIO AL BIENESTAR SOCIAL .....	26
3.1. Utilidad esperada: estructuras de Von Neuman y Morgenstern .....	26
3.2. La función de utilidad .....	28
3.3. Usuario del recurso hídrico y riesgo .....	29
3.4. Del riesgo financiero al riesgo de la sustentabilidad .....	30
3.4.1. El riesgo en las concesiones hídricas .....	31
3.5. De sistema hídrico a cartera de inversión .....	32
3.6. El modelo de Marcowitz: diversificar el riesgo financiero-ambiental .....	33
4. LA MATRIZ DE INSUMO PRODUCTO .....	36
4.1. Matriz de Leontief: aplicación en la distribución del agua .....	36
4.2. Los Coeficientes Técnicos de Leontief .....	37
4.3. La matriz identidad, adjunta y la inversa de Leontief .....	38
5. TEORÍA DE JUEGOS Y LA GESTIÓN AMBIENTAL .....	40
5.1. Representación de los juegos en forma normal: uso y manejo del agua .....	40
5.2. Definición del equilibrio de Nash y su aplicación en la gestión del agua .....	41
5.3. Teorema de Coase y la tragedia de los comunes: de la gestión del agua .....	42
6. MARCO REFERENCIAL DE LA CUENCA DEL PAPALOAPAN .....	44
6.1. Descripción Geográfica de la Cuenca del Papaloapan .....	44
6.1.1. Subregión del Alto Papaloapan .....	44
6.1.2. Subregión del Medio Papaloapan .....	45
6.1.3. Subregión del Bajo Papaloapan .....	46
6.2. Situación del recurso hídrico en el Papaloapan .....	46
6.2.1. Cuenca del Papaloapan: agua superficial .....	47
6.2.2. Cuenca del Papaloapan: agua subterránea .....	47
6.3. De la infraestructura hidráulica .....	48

6.3.1.	Agua potable y alcantarillado .....	49
6.3.2.	Tratamiento y descargas de agua .....	50
6.4.	Aprovechamiento en el sector agrícola .....	51
6.5.	Aprovechamiento en el sector industrial .....	51
6.6.	Aprovechamiento y uso público.....	52
6.7.	Descripción socioeconómica de la Cuenca del Papaloapan .....	53
6.7.1.	Índice de Marginación en la Cuenca del Papaloapan.....	53
7.	SIMULACIÓN DEL MODELO: ESCENARIO TENDENCIAL, ÓPTIMO Y ESTRATÉGICO.....	55
7.1.	Escenario tendencial.....	55
7.1.1.	Escenario tendencial: coeficientes técnicos de Leontief .....	56
7.1.2.	Escenario tendencial: obtención de la matriz (I-A).....	56
7.1.3.	Escenario tendencial: matriz adjunta (I-A) y la inversa .....	57
7.2.	Escenario tendencial versus escenario óptimo: equilibrio de Nash .....	59
7.3.	Escenario Estratégico: hacia la sustentabilidad .....	61
8.	ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD EN LA CUENCA DEL PAPALOAPAN .....	63
8.1.	Construcción y resultados del subíndice de presión.....	63
8.1.1.	Indicador de extracción de agua.....	63
8.1.2.	Indicador de pérdida de agua .....	64
8.1.3.	Indicador de descarga de agua .....	65
8.1.4.	Sumatoria del subíndice presión .....	66
8.1.5.	Resultados del subíndice de presión.....	67
8.2.	Construcción y resultados del subíndice de estado .....	69
8.2.1.	Sumatoria y resultados del subíndice de estado.....	70
8.3.	Construcción y resultados del subíndice de equidad.....	71
8.3.1.	Índice de marginación: indicador en el subíndice equidad.....	71
8.3.2.	Índice de vulnerabilidad: indicador en el subíndice de equidad .....	72
8.3.3.	Sumatoria y resultados del subíndice de equidad .....	73
8.4.	Índice de Sustentabilidad: sumatoria, resultados y conclusión.....	75
8.4.1.	Resultados y conclusión del índice de sustentabilidad.....	75
	CONCLUSIÓN GENERAL Y RECOMENDACIONES .....	79
	ANEXOS .....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	96

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Monopolio Natural .....	13
Gráfica 2. Los beneficios del monopolista y el bienestar social .....	15
Gráfica 3. Monopolio de precio único y con discriminación de precios .....	18
Gráfica 4. Frontera Eficiente de inversión .....	35
Gráfica 5. Modelo de Sistema Básico para la Cuenca del Papaloapan .....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes económicos de un monopolio .....	14
Tabla 2. Balance de Aguas Superficiales .....	47
Tabla 3. Cantidad de municipios por estado y nivel de marginación.....	54
Tabla 4. Matriz de trabajo .....	55
Tabla 5. Matriz de Coeficientes Técnicos .....	56
Tabla 6. Matriz (I-A) .....	56
Tabla 7. Matriz Adjunta (I-A).....	57
Tabla 8. Matriz (I-A) <sup>-1</sup> .....	57
Tabla 9. Incremento dado un cambio “Y <sub>i</sub> ” en la demanda .....	58
Tabla 10. Escenario Tendencial y Escenario Óptimo en el equilibrio de Nash.....	60
Tabla 11. Escenario Estratégico y orden de elección .....	61
Tabla 12. Anexo 1. A. Cantidades de extracción de agua .....	83
Tabla 13. Anexo 1. B. Indicador relativo de extracción de agua .....	83
Tabla 14. Anexo 1. C. Indicador de extracción de agua normalizado .....	83
Tabla 15. Anexo 2. A. Cantidad de pérdida de Agua Pro-Rateo .....	84
Tabla 16. Anexo 2. B. Indicador relativo de pérdida de agua .....	84
Tabla 17. Anexo 2. C. Indicador de pérdida de agua normalizado .....	84
Tabla 18. Anexo 3. A. Cantidad de descarga de agua Pro-Rateo .....	85
Tabla 19. Anexo 3. B. Indicador relativo de descarga de agua.....	85
Tabla 20. Anexo 3. C. Indicador de descarga de agua normalizado .....	85
Tabla 21. Anexo 4. A. Sumatoria del Subíndice de Presión.....	86
Tabla 22. Anexo 4. B. Subíndice de Presión Normalizado .....	86
Tabla 23. Anexo 4. C. Subíndice de Presión por Clases .....	86
Tabla 24. Anexo 5. A. Componentes del subíndice Estado.....	87
Tabla 25. Anexo 5. B. Subíndice de Estado .....	87
Tabla 26. Anexo 6. A. Indicadores de Equidad .....	88
Tabla 27. Anexo 6. B. Subíndice de Equidad .....	88
Tabla 28. Anexo 7. A. Sumatoria del Índice de Sustentabilidad actual .....	89
Tabla 29. Anexo 7. B. Índice de Sustentabilidad actual Normalizado.....	89
Tabla 30. Anexo 7. C. Índice de Sustentabilidad actual por Clases.....	89

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Utilidad esperada.....	28
Ecuación 2. Valor esperado y utilidad de una lotería.....	29
Ecuación 3. Rendimiento de un título en términos porcentuales .....	31
Ecuación 4. Rendimiento esperado de un título .....	32
Ecuación 5. Frontera de inversión.....	34
Ecuación 6. Sistema matricial de Leontief .....	37
Ecuación 7. Cálculo de Coeficientes Técnicos .....	37
Ecuación 8. Matriz de Coeficientes Técnicos de Leontief .....	37
Ecuación 9. Matriz (I-A).....	38
Ecuación 10. Matriz adjunta (I-A) .....	38
Ecuación 11. Matriz Inversa de Leontief o Insumo Producto .....	39
Ecuación 12. Ecuación general de la Inversa de Leontief .....	39
Ecuación 13. Representación de un juego .....	41
Ecuación 14. Utilidad correspondiente a la estrategia.....	41
Ecuación 15. Maximización de la utilidad.....	41
Ecuación 16. Composición del Vector $Y_i$ .....	58
Ecuación 17. Fórmula del nivel relativo de extracción de agua .....	63
Ecuación 18. Relación estimada para determinar la cantidad estimada de pérdida de agua .....	64
Ecuación 19. Cantidad relativa de pérdida de agua.....	64
Ecuación 20. Relación estimada de descarga de agua.....	65
Ecuación 21. Cantidad relativa de descarga de agua por subregión y sector .....	65
Ecuación 22. Sumatoria del subíndice presión .....	66
Ecuación 23. Normalización de Ritveld .....	66
Ecuación 24. Subíndice de estado por región .....	70
Ecuación 25. Promedio de marginación por subregión.....	72
Ecuación 26. Normalización para indicador de marginación .....	72
Ecuación 27. Ponderación del índice de vulnerabilidad social .....	73
Ecuación 28. Sumatoria del subíndice de equidad .....	73
Ecuación 29. Sumatoria del índice de sustentabilidad .....	75

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el agua como recurso natural y económico es el más importante para la subsistencia del ser humano. Sumándose las diversas actividades que se realizan mediante su uso, aprovechamiento y manejo, desde básica en el consumo diario de las personas, pasando por el uso doméstico y hasta la generación de energía eléctrica; como en la agricultura y demás ramas de la economía. No existe un sólo sector de la economía que pueda prescindir de este recurso, por esto es importante investigar el comportamiento de dicho recurso natural, sobre todo cuando el problema no es la escasez sino la abundancia y los problemas que ellos ocasionan. Aunado a las deficiencias que existen en la distribución de dicho recurso.

Como objetivo general del presente estudio, un modelo alternativo para la diversificación del riesgo socioeconómico y de sustentabilidad ambiental que contribuya en la determinación de tres diferentes escenarios de la cuenca hidrográfica del Río Papaloapan ubicada en los estados de Veracruz, Oaxaca y Puebla. De esto se sigue una serie de objetivos específicos como: plantear el marco conceptual específico como apoyo a la investigación, generar el modelo de programación lineal, exponer los tres diferentes escenarios de la cuenca hidrográfica del Río Papaloapan en los Estados de Veracruz, Oaxaca y Puebla, construir un índice de sustentabilidad y un sistema de información geográfica que exponga dicho índice.

En las últimas dos décadas los estudios referentes al manejo y uso eficiente del agua, han sido parte de la literatura que corresponde al tratado de los problemas que aquejan el medio ambiente. La cuenca del Río Papaloapan, se ubica como la segunda cuenca hidrográfica del país en cuanto a su caudal, su longitud y extensión de aproximadamente 900 km; así como los Estados que a atraviesa desde que se considera una cuenca hasta su desembocadura en las costas del Golfo de México. (CSVA, 2006) Dadas estas características y su naturaleza e importancia en diversas actividades económicas, y la relevancia de los diferentes ecosistemas que se conforman dentro de éste gran sistema; surge la construcción de una perspectiva distinta que contenga características interdisciplinarias para generar un instrumento que sirva como medio en la toma de decisiones en el manejo y aprovechamiento de los recursos acuíferos del sistema antes mencionado.

En el presente trabajo se construyen tres escenarios para explicar la situación de la población y su calidad de vida, respecto al manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos toda vez que, la problemática principal en la mayor parte de las poblaciones que se sitúan alrededor de este sistema hidrológico es la abundancia del agua como recurso natural, bien de uso y de cambio para el desarrollo de actividades y la subsistencia misma de los individuos. A partir de la generación

de una matriz de insumo-producto mejor conocida como matriz inversa de Leontief, se identifica el escenario tendencial es decir, un escenario adverso donde las condiciones de riesgo ambiental y vulnerabilidad social persisten en los municipios aledaños a la cuenca.

Un segundo escenario, la parte optimista hacia donde se desea llegar; se plantea a través de la teoría de juegos, tomando como base la estrategia de Maxi-Min de John Von Neumann y Oskar Morgenstern (Von Neumann, Et. Al., 1953), así como las estructuras de preferencias de un consumidor y su correlación con el concepto de riesgo financiero que se lleva al terreno del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales. Se obtiene la cantidad de eficiencia y equidad social para aplicarse como escenario ideal. Como contraparte de este apartado se sitúa el “equilibrio de Nash” (Gibbons, 1993), siendo éste una estrategia a seguir por los diversos sectores de la economía en el momento de aprovechar el agua en la cuenca del Río Papaloapan.

El tercer escenario, se refiere a las estrategias a seguir para la incorporación de indicadores de sustentabilidad ambiental; se obtiene a partir de la demostración del comportamiento de los agentes económicos de la Cuenca del Papaloapan, en el teorema de Marcowitz (López Ramírez, 2008). Aun cuando dicho teorema fue originalmente aplicado a la diversificación del riesgo financiero, a partir de los resultados obtenidos del escenario tendencial y optimista, se traza el camino hacia el escenario estratégico y la búsqueda de la sustentabilidad ambiental; en términos sociales, económicos y del medio natural. Por último se plantean consideraciones y recomendaciones para establecer los mecanismos que conlleven a la cooperación del sector agrícola, industrial y de uso doméstico. Ello a través del contexto monopólico que el Estado ejerce en el manejo, administración y uso del recurso hídrico.

# 1. AGUA Y SU VALOR EN EL MERCADO

Para entender la problemática que alberga la situación del recurso hídrico para la subsistencia de la vida y el desarrollo de las actividades del ser humano, se debe tener una idea general y clara de lo que significa la determinación de su precio, así como su valor en el mercado. Esto no se puede lograr, si no se tienen las bases de la teoría económica que determinan dicho precio, así como el comportamiento de su valor en el mercado. La “teoría neoclásica”<sup>1</sup> de la economía servirá para explicar el comportamiento del precio, su determinación y el valor en el mercado; mediante la cual se expone el mercado monopolístico pues en éste se encuentran los bienes hídricos en México. La explicación de los distintos tipos de valor, amén de comprender a *grosso modo* la constitución de éstos, aún cuando no es el objetivo de este estudio realizar un análisis exhaustivo de ello; es importante y necesario explicar sus diferentes concepciones.

## 1.1. Valor de uso

Así pues, el agua está en todo y en lo que somos, no podía escapar del modelo de desarrollo dominante y menos del modelo de producción capitalista y sus evoluciones. Esto último refiriéndose a las diversas etapas según las distintas escuelas económicas.<sup>2</sup> De acuerdo a Karl Marx, “*el valor de uso se define por la utilidad o capacidad que posea una cosa, mercancía, o sustancia para satisfacer una necesidad humana y/o de la sociedad*” (Marx, 1887). En otras palabras, sus propiedades físicas, químicas, su misma naturaleza en sí, y lo que haya adquirido a lo largo del tiempo por la intervención humana, es un valor de uso determinado. Esto es, el agua contiene un valor intrínseco como tal, debido a la vitalidad que representa para el desarrollo de cualquier tipo de actividad humano y la vida misma.

## 1.2. Valor de cambio

Se observa en forma sintética el valor de uso del recurso hídrico o una aproximación a su definición, empero nos apremia plantear como contraparte su valor de cambio. De acuerdo a la teoría económica y el desenvolvimiento de la dinámica del sistema económico actual; éste se traduce como “*la dependencia del valor de acuerdo a su escasez y la cantidad de trabajo que se precise para obtenerlo*” (Ricardo, 1959). En el caso del recurso hídrico, este se obtiene independientemente de la acción humana, aunque la acción humana interfiera con la calidad y la disponibilidad de dicho recurso.

---

<sup>1</sup>Doctrina económica que estudia el comportamiento entre los agentes económicos y sus relaciones microeconómicas, es decir, relación entre productores, distribuidores y consumidores. Así como la teoría del consumidor y el productor.

<sup>2</sup>[aguaplaneta.blogspot.com](http://aguaplaneta.blogspot.com).

Los seres humanos intermediamos en dicho ciclo, según posturas (Carabias, Et. Al., 2005) afirman que la cantidad de agua hace millones de años no ha variado a la actualidad, ha cambiado su disponibilidad y calidad empero, por el uso e intervención de las personas, por su dinámica social, económica y política; las condiciones, su captación así como la calidad han variado, esto es, sigue habiendo la misma cantidad de agua, pero las condiciones de ésta y su estado de disponibilidad se encuentra muy diferente. Ello vuelve complejo la gestión de dicho recurso, dado el ciclo natural del agua debido a la variada presentación de la misma; entre agua dulce, salada, subterránea, superficial, etc.

### **1.3. Precio de equilibrio: de lo económico a lo sustentable**

Hasta ahora, se ha tratado tanto del valor de uso como el de cambio, sin embargo ambos deben ser considerados para la asignación en el precio del recurso tratado, esto supone una contradicción a los supuestos sociales y canónicos que exigen; la llamada bioética es decir, la valoración del agua como un recurso propiamente natural y no de lucro. Implica entonces suponer que el agua no forma parte del sistema económico y sus actividades, más allá de tomar parte en las actividades diarias del ser humano; son y se encuentran tipificadas como una valoración potencial y de existencia.

Se retoma el valor de cambio, de uso y el valor de no contar con dicho recurso en un futuro, o bien, de una manera más sofisticada y rígida desde el punto de vista económico; lo que Marx llamó “trabajo socialmente necesario”, es decir, “*la cantidad de trabajo necesario en condiciones medias de productividad en una determinada sociedad y en una determinada época*” (Marx, 1887). Siempre y cuando se tenga la base para establecer dicho precio, sería socialmente inviable debido a los costos altos que representaría para la población de menores ingreso, por tal motivo, aún cuando este precio refleje los costos reales de su obtención, es complejo suponer una imposición de tal suerte que, a este precio se le conoce como “Precio óptimo ideal”.

Se expuso el precio óptimo ideal como inviable en términos de aceptación social, por los criterios de sustentabilidad que se deben respetar, en otras palabras, no se puede tener sustentabilidad si se carece de la equidad social; estos dos conceptos nuevos más adelante se retoman y explican brevemente para su adecuado entendimiento. Entonces, “precio óptimo de sustentabilidad” será en el escenario optimista y enteramente deseado. Sin embargo, se obtiene el escenario estratégico, lo que significa que se contará con un “precio de equilibrio a futuro”, este

dato sirve para mitigar los problemas de inequidad social y por tanto de sustentabilidad, aún cuando en términos económicos no sea un “óptimo”.<sup>3</sup>

#### 1.4. El mercado monopolístico

En el análisis microeconómico, el mercado monopolístico ocupa un lugar privilegiado a la hora de explicar y determinar sus causas, efectos, diferentes formas de comportamiento y la relación; productores y los consumidores. Así el monopolio se le define como *“una empresa productora de un cierto bien, tiene un situación de privilegio legal o fallo del mercado, en la cual, para una industria que posee un producto, un bien o un recurso o un servicio determinado y diferenciado, existe un productor monopolista (monopolista) oferente que posee un gran poder de mercado y es el único de la industria que lo posee”*(Parkin, 2001).

La definición anterior de la situación monopolística es ampliamente discutida, aunque ya se mencionó con anterioridad que el objetivo de esta investigación no es entrar en un juego y discusión acerca de las diferentes referencias; se explica la interpretación que se utilizará a lo largo del presente trabajo, por otro se exponen las ventajas y desventajas frente al esquema de competencia perfecta y la definición que se plantea en el párrafo anterior. Se entiende entonces por una situación de monopolio cuando *“existe un solo vendedor y muchos compradores de un producto, bien o servicio, estos deben ser diferenciados, existe plenitud en la información tanto del oferente como de los consumidores y la entrada al mercado por parte de otro vendedor está bloqueada”*<sup>4</sup> (Mankiw, 2002).

Ambas definiciones guardan demasiada similitud, mientras una indica la existencia de un fallo en el mercado y privilegios legales, la segunda exalta los preceptos enteramente económicos y sociales empero; sin mencionar con exactitud la existencia de dichos privilegios otorgados o bien, que haya un fallo en el mercado. Es importante tal aclaración porque se determina que en el caso del agua, se toma como un monopolio natural o puro, el cual cuenta con ambas características, excepto surgir por una falla del mercado y además, se establece como necesario y estratégico en esa forma para el funcionamiento rentable en términos económicos, equitativo en lo social y óptimo de acuerdo al impacto de este modelo en el medio ambiente.

---

<sup>3</sup> De acuerdo a la teoría económica, el óptimo representa un concepto dialéctico donde se dice que está en equilibrio; pero el equilibrio no siempre es un óptimo. Es decir, equilibrio se traduce como una condición necesaria pero no suficiente para ser un óptimo.

<sup>4</sup> Producto diferenciado significa que no existen bienes sustitutos cercanos, como en el caso del agua para actividades de subsistencia. La información completa, es decir, tanto el oferente como los compradores conocen a plenitud el mercado.

El servicio de agua representa la provisión de un bien público, de importancia estratégica para el desarrollo de la nación por tal motivo en México... *“los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento son un ejemplo clásico de monopolio natural local. En virtud de sus características técnicas intrínsecas, un monopolio natural es una actividad en la que los costos totales de producción son menores cuando dicha producción está a cargo de un único proveedor del servicio que cuando se divide entre dos o más proveedores. Al dividirse, el ingreso del prestador no es rentable y el hecho de que el servicio en una región geográfica determinada, esté en manos de un único proveedor, resulta más eficiente”* (Springall, 2005: 190).

Por el momento se entiende como monopolio, la situación donde existe un sólo oferente, quién impone los precios del bien que oferta de acuerdo a sus costos de producción, la información existente en el mercado y aplica por su puesto una “discriminación de precios”<sup>5</sup>. Dicha discriminación se da en función del nivel socioeconómico de la población, la escasez de dicho recurso en la región (elevados costos de extracción, almacenamiento y abastecimiento), los sectores de la economía a los cuales se provee; es decir, diferentes tarifas sean agricultores, ganaderos, del sector industrial, o del sector de bienes y servicios.

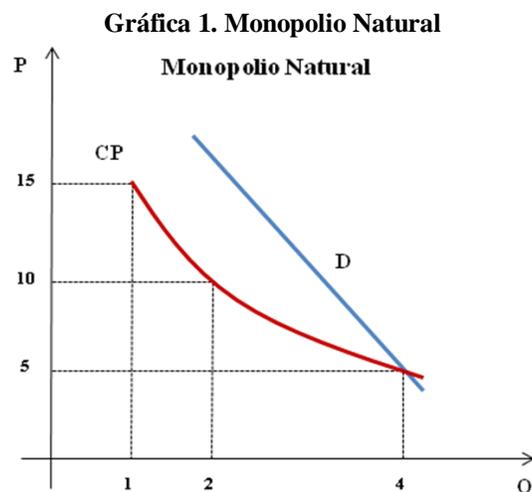
La diferenciación del precio surge como mecanismo de ajuste y equilibrio para incidir en la demanda. Queda claro que a diferencia de un mercado competitivo la oferta no es relevante, toda vez que existe un sólo productor y este decide lo que se produce y el precio de ajuste, de acuerdo a las condiciones económicas de los compradores como es el caso de la discriminación de precios en el mercado del agua.

#### **1.4.1. Comportamiento de un monopolio natural**

En el monopolio natural para determinar los precios, así como para realizar la llamada discriminación de precios; con base en distintas características, como puede ser el nivel socioeconómico de los compradores; o bien la diferencia de precio por la cantidad vendida a cada uno de los demandantes. Parte de los beneficios y el objetivo del llamado monopolio natural es apropiarse del excedente del consumidor vía la discriminación de precios. A continuación se expone un gráfica para dar un acercamiento al sistema del monopolio natural.

---

<sup>5</sup>Es la práctica de vender diferentes unidades de un bien o servicio a precios diferentes. Véase, Michael Parkin, *Microeconomía Versión para Latinoamérica*, 6ta. Edición.



La Gráfica 1 muestra el comportamiento y justificación de la existencia del monopolio natural; como se explica en el texto.  $P$  significa el precio al que se vende dicha unidad producida,  $Q$  la cantidad de agua que se vende por el productor, en una situación hipotética. Los precios están determinados en 1 peso por metro cúbico, y la cantidad de agua en millones de metros cúbicos.  $CP$  significa los costos de producir la cantidad de agua y  $D$  la curva de la demanda, es decir, la cantidad que requieren los consumidores (Parkin, 2001).

El punto de equilibrio es decir, donde la demanda de los consumidores y la  $CP$  (curva de costes de producción) se interceptan; en este punto una empresa cuyos costos son de 5000 pesos puede distribuir la cantidad de 4000 millones de metros cúbicos de agua. y se cubre así la demanda que en ese momento se exige. En otro sentido, dos empresas a un precio de 10000 pesos, producirán sólo la cantidad de dos millones de metros cúbicos, sin poder cubrir la demanda del mercado, por último cuatro empresas lo harán a un costo de 15000 pesos y sólo producirán un millón de metros cúbicos de agua.

La explicación anterior resulta relevante porque es el punto medular de una situación monopólica natural, siendo la eficiencia de su rentabilidad una ventaja en términos económicos; a tener el servicio público del agua concesionado a los actores privados. De acuerdo a la dispersión de las localidades en todo el territorio nacional, muchas de éstas se encuentran desagregadas a lo largo y ancho de todo el país. Esto dificulta la provisión de dicho servicio, ahora bien, ¿resultaría eficiente en términos de un intercambio favorable para ambas partes, que este servicio sea distribuido por concesionarios privados? Al menos en nuestro país, la respuesta es no.

Es impensable en términos de rentabilidad para una empresa, construir infraestructura hidráulica y de personal para llevar el recurso hídrico a las comunidades que se encuentran más dispersas, mismas que en la mayoría de los casos cuentan con menos de 5000 habitantes. Sin tomar en cuenta, que viven de cuatro a cinco personas por hogar, y el cobro por dicho servicio es por predio, es decir, pueden existir varios hogares dentro de un predio y el cobro se registra a una toma de agua. Así, la inversión que se necesita y la operación a lo largo del tiempo de la misma,

impide la recuperación de la inversión en un horizonte de tiempo corto o peor aún, en el largo plazo.

Entonces, en términos de eficiencia como se muestra en la gráfica y como sucede en la realidad socioeconómica de nuestro país, el monopolio natural ciertamente debe funcionar de forma eficiente, aún cuando en la práctica no se realiza de esa manera; y mostrándose una problemática en términos sociales, donde la equidad en la distribución del recurso y asignación del precio refleje el bienestar social. Aún cuando pareciera que la competencia perfecta<sup>6</sup> se muestra como una opción rentable económicamente y equitativa socialmente. Lo cierto es que, la recuperación de la inversión obligaría a incrementar de forma excesiva los precios causando estragos en los ingresos que perciben las personas de los últimos “deciles”<sup>7</sup>.

### 1.4.2. Monopolio: precios, costos, ingresos, beneficios y bienestar social

Es importante explicar cómo funciona el mecanismo, entre la cantidad ofertada por el monopolio, el precio que asigna; ingresos, costos y beneficios que se derivan de esta. Como en la siguiente tabla se desglosan:

Tabla 1. Componentes económicos de un monopolio		
Símbolo	Variable	Fórmula
Q	Cantidad de Agua	
P	Precio del Agua	
IT	Ingresos total	$IT = (P*Q) \dots \$$
IMe	Ingreso medio	$IMe = (IT/Q) \dots \$$
IMg	Ingreso marginal	$IMg = (\Delta IT) \dots \$$
CF	Costos fijos	
CV	Costos variables	
CT	Costo total	$CT = (CV + CF) \dots \$$
CMe	Costo Medio	$CMe = (CT/Q) \dots \$$
CMg	Costo Marginal	$CMg = (\Delta CT/\Delta Q) \dots \$$
B	Beneficio	$B = IT - CT$
MaxB	Maximización del beneficio	$Img = Cmg \text{ Q de maximización}$

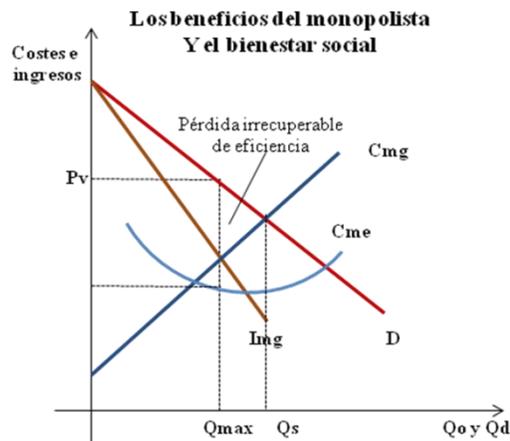
En la tabla 1 se exponen las variables por nombre y representatividad, así como las fórmulas mediante las cuales se obtiene cada uno de los datos que así lo requieran. Se sabe que la cantidad

<sup>6</sup> Situación en el mercado, donde las empresas establecidas no tienen ventajas sobre las nuevas, los vendedores y los compradores están bien informados sobre los precios. Es decir, una situación ideal del mercado competitivo entre las compañías.

<sup>7</sup> En economía se utiliza este término, en la literatura de la pobreza; dividiendo la población total por su nivel de ingreso en diez grupos, así los primeros grupos son los que representan mayor concentración del ingreso y los últimos grupos tienen menor concentración de ingreso.

de agua demandada es la cantidad de agua ofertada ( $Q_o=Q_d$ ), de acuerdo a los supuestos del modelo monopolístico; sin embargo para este caso en particular, existe un excedente de agua como se analiza en el desarrollo de la investigación. De ahí, uno de los supuestos a lo largo del modelo es la abundancia del recurso, manifestándose como la excesiva disponibilidad de agua contrario a situaciones que se presentan en el centro y norte del país donde la escasez es una predominante.

**Gráfica 2. Los beneficios del monopolista y el bienestar social**



*Gráfica 2. Se establece una serie de variables antes citadas y expuestas con su formula respectivamente. Analiza, el comportamiento de los ingresos marginales, los costos marginales, la cantidad y precio que maximiza el beneficio del monopolio, así como la cantidad y precio que determinan el estado de bienestar social (Parkin, 2001).*

El costo marginal para el monopolista representa el incremento en los costos respecto al aumento de una unidad producida del bien. En el caso de los ingresos marginales, se explican como el incremento en los ingresos que representa producir una unidad más del bien ofertado. De acuerdo a lo anterior, la curva de ingreso marginal tiene una pendiente negativa, pues en el monopolio a medida que aumenta una unidad en la producción los ingresos son menores respecto al aumento de los costos, debido a que mientras la oferta es menor el monopolista puede sostener un mayor precio dada la escasez del producto. Contrario a lo que sucede con la curva del coste marginal donde el comportamiento es opuesto a lo citado en la curva de ingreso marginal.

Seguido de la condición del máximo beneficio, en el monopolio a diferencia de la competencia perfecta; el punto donde el ingreso marginal y el coste marginal se interceptan indica la cantidad que maximiza el beneficio y el precio que maximiza las utilidades se indican arriba en la intercepción con la curva de la demanda. Esta última tiene una demanda negativa, en congruencia con los supuestos teóricos que indican una pendiente negativa en el caso de esta curva, pues a medida que los precios aumentan esta disminuye.

Luego entonces, la maximización del beneficio tanto en la cantidad como en el precio, representa la situación en la cual, el monopolista se apropia del excedente total esto es; el excedente que el consumidor no estaba inicialmente dispuesto a pagar, empero al ser el único oferente tiene la capacidad de influir, sobre todo al tratarse de un “bien necesario perfectamente inelástico”, en donde un aumento en el precio no influye considerablemente la cantidad demandada. Respecto a la situación del agua en nuestro país, lo anterior no es practicado estrictamente por el Estado, debido a que si aprovechara dicho condicionamiento se podrían obtener excedentes al aumentar los precios, sin embargo esto repercutiría en los beneficios sociales.

Se han expuesto el máximo beneficio, pero el bienestar social también puede ser explicado a través de dicha gráfica. En el esquema anterior, se explicaron diversos condicionantes de la teoría económica; el beneficio social como parte del desarrollo nacional debe ser tomado en cuenta en la práctica del monopolio del recurso hídrico, a lo que gráficamente se observa como la intersección entre los costes marginales y la cantidad demandada; en ese punto se determina el precio y cantidad de equilibrio para obtener el óptimo del bienestar social, entendido de otra forma como la parte gana-gana, donde el monopolista no maximiza sus beneficios y ello implica la no apropiación del excedente del consumidor.

Quedan entonces diversas interrogantes entre la teoría económica del monopolio y la realidad en el contexto nacional; se lanzan dos preguntas trascendentales que serán respondidas de acuerdo a los resultados del presente estudio empero. Primero, ¿Qué implicaciones tiene apostar hacia un punto de equilibrio de bienestar social, cuando diversos sectores lucrativos desperdician el recurso hídrico dados los bajos precios? Segundo, ¿Se puede aplicar la política de maximización del beneficio, cobrando el precio y valor real del recurso hídrico para apropiarse del excedente del consumidor? Tercero, ¿Qué implicaciones tiene la segunda pregunta? Cuarto, ¿Se puede plantear alguna alternativa a las tres preguntas anteriores?

### **1.4.3. Discriminación de precios en el monopolio natural**

En los apartados anteriores se explicó la definición de monopolio natural así como la diferencia con el monopolio de precio único, también se integraron una serie de supuestos y afirmaciones dada la teoría económica, a partir de esto; en contraste con la realidad en México, surgieron cuatro interrogantes. Respondiendo a la cuarta pregunta sobre la existencia de alternativas de acuerdo a la teoría económica, efectivamente existen mecanismos para establecer puntos de equilibrio de bienestar social, evitando el aprovechamiento desmedido de sectores económicos que pueden valerse de los precios bajos en el recurso hídrico.

De lo anterior surge la propuesta de la discriminación de precios actualmente aplicada en la República Mexicana pero con nulos resultados; ello debido a la fijación incorrecta de las tarifas y los altos subsidios a sectores y clases sociales que no debieran ser subvencionadas. *De acuerdo al artículo 27 Constitucional, es la facultad del Estado y propiedad de la Nación los recursos que se encuentren dentro de los límites geográficos..., etc.* Se exponen entonces los supuestos para la discriminación de precios.

*Existen dos supuestos para que un monopolio pueda discriminar los precios:*

*Identificar y separar a diferentes tipos de compradores:* como en el caso del recurso hídrico en nuestro país, es diferente la tarifa para el agricultor, el sector secundario y terciario de la economía. Esto obedece a políticas estratégicas que se siguen para el desarrollo económico de la Nación.

*Vender un producto que no se pueda revender:* misma situación que el agua, no existe algún agente económico que no sea el Estado, capaz de comercializar el agua en la forma básica, es decir, excepto en agua purificado y embotellada que es diferenciada al agua potable y de extracción primaria de las cuencas hidrológicas.<sup>8</sup>

*Tipos de discriminación de precios:*

*Discriminación entre unidades de un bien:* cobrar a cada comprador un precio diferente por cada bien comprado.

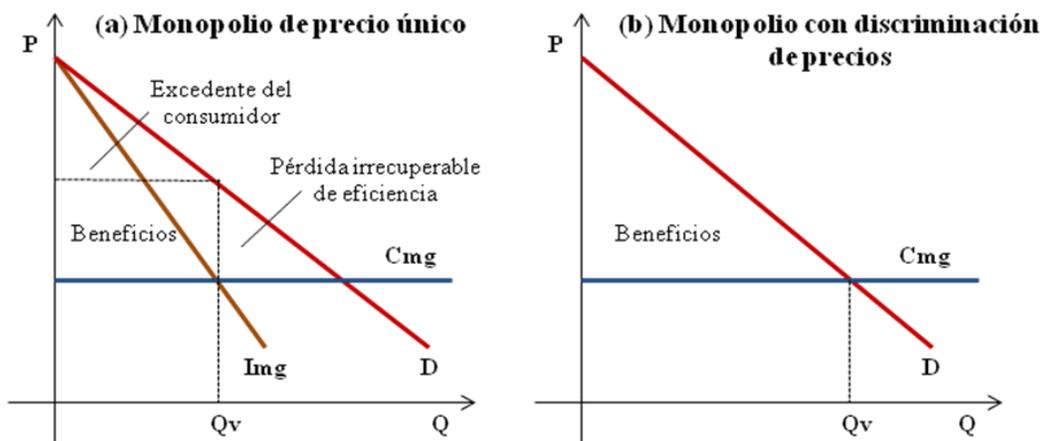
*Discriminación entre grupos de compradores:* algunos grupos tienen una disposición distinta a pagar por el bien o servicio.

Con la finalidad de exponer detalladamente cada uno de sus elementos y de dicho comportamiento de acuerdo a la teoría económica, se exponen las siguientes gráficas donde se explica la obtención del bienestar social y eficiencia del monopolio.

---

<sup>8</sup> En este sentido cabe recalcar, que aún cuando existen compañías dedicadas a la comercialización del recurso hídrico en forma envasada, estos no significa que puedan revenderla en cantidades que un agricultor o de la industria necesitan para sus procesos de producción.

**Gráfica 3. Monopolio de precio único y con discriminación de precios**



*En la Gráfica 3 se expone la diferencia entre el monopolio con precio único, en donde el monopolista se apropia del excedente del consumidor, convirtiéndose en un maximizador de los beneficios; y el monopolio con discriminación de precios, esto es, donde el productor decide realizar una diferenciación de precios, por diversas razones mediante la cual permite un desahogo del excedente del consumidor y trabaja en términos de eficiencia.*

La explicación de las diferencias entre el monopolio de precio único y el monopolio con discriminación de precios (véase gráfica 3), radica en la posibilidad del monopolista de moverse a través de los diferentes puntos de la curva de la demanda, en otras palabras, dada la región; producir de acuerdo a la cantidad de la demanda y ofrecer un precio en relación a determinada área; amén de ofrecer precios más elevados a actividades y ramas de la economía que representen un consumo mayor del recurso hídrico así como un mayor impacto en la calidad del recurso. Esto es, a partir de una diferenciación vía mecanismos de regulación, se pueden otorgar puntos diferenciables de equilibrio y de bienestar social; en otras palabras, para una región dada, encontrar la intersección de la demanda con la curva de costos marginales, a fin de asignar el precio y la cantidad óptima para X sector de la economía en Y región.

Lo anterior implica la idea de lograr una asignación de cantidad y precio diferenciada a partir de aspectos como: actividad o rama económica, nivel de estrato social (ingresos), así como cantidad de consumo. De acuerdo a esto, una función de precio para cada consumidor dependerá de los aspectos anteriormente mencionados. Es cierto que en la actualidad, el mercado de agua en México está controlado por el Estado a partir de los organismos administrativos asignados, empero la discriminación de precios es una práctica mal empleada, toda vez que, se basa en un precio dado por región tomando sólo en cuenta aspectos como: rama o sector de la economía, haciendo caso omiso al nivel y estrato social, así como la capacidad de pago debido a los ingresos del consumidor y peor aún, de acuerdo a la cantidad consumida.

La discriminación de precios beneficia al bienestar social, dotando del recurso hídrico a precios accesibles cuando así lo ameriten, ello no implica que debe dejarse a un lado la cantidad consumida; pues el bienestar social implica benevolencia y favorecimiento hacia los grupos de ingresos más bajos, no a la ineficiencia y la cultura del desperdicio del agua ó al enriquecimiento de actividades económicas que ocupan grandes volúmenes de agua y viven a expensas de la protección de los subsidios por ser tipificadas como actividades en pro del desarrollo nacional y en defensa de la soberanía alimentaria.

Esta estrategia representa la oportunidad para hacer eficiente el monopolio en términos operativos y dotar de bienestar social, brindando el servicio y bien a precios justos de acuerdo al tipo de consumidor; significa el camino de subsidiar el recurso hídrico donde el punto de bienestar esté por debajo de la maximización del beneficio, mediante la inyección de excedentes apropiados donde el consumidor así lo amerite. Integrando así, una idea de la sustentabilidad que debe existir reflejada en el bienestar económico y ambiental de la región donde se ponga en práctica esta acción.

## 2. AGUA, DESARROLLO HUMANO Y SUSTENTABILIDAD

Hablar del agua y su conexión con el desarrollo humano así como la sustentabilidad, entendida ésta como la característica que hace del desarrollo humano eficiente y equitativo en términos sociales; tanto en el presente como en el futuro. De acuerdo con la definición tradicional... “*Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades*” (Brutland, 1987). Es ampliamente discutible esta conjetura, por lo que se inicia a través de ésta el bagaje conceptual de la relación entre pobreza, desarrollo humano, sustentabilidad y el abasto de agua en condiciones de calidad y acceso económico.

### 2.1. Desarrollo Humano

En los últimos años la literatura económica, social y antropológica, sumado a estas, las ciencias que tratan con el concepto de sustentabilidad; han incorporado a sus estudios el famoso índice de desarrollo humano, ahora bien, ¿Qué se entiende por desarrollo humano? ¿Cómo está conformado dicho concepto? Y ¿Cuáles son sus características para la obtención de dicho estadio? Las preguntas anteriores conforman una parte esencial para la explicación de este concepto, la formación del índice mediante el cual se ha intentado estimar y explicar a través de sus variables. Por último ¿Qué relación tiene con el agua?

*El desarrollo humano es un concepto dinámico referido a las libertades y las capacidades humanas, definido en un sentido extenso, que extraña la ampliación de lo que las personas pueden hacer y ser. Implica el progreso y bienestar humanos vividos con libertades sustanciales, es decir, teniendo las opciones para hacerlo* (PNUD, 2006). Esta afirmación lejos de definir, explica *grosso modo* lo que implica en términos éticos el desarrollo humano, enfocándose en las libertades y diversas opciones para auto-realizarse. De acuerdo a la comprensión de la necesidad de hacer y ser como individuo, desarrollo humano es el fin primero y último, deseado por cualquier individuo o persona que busque un entorno y espacio donde se pueda desarrollar armónicamente, teniendo así, las posibilidades para realizar una vida productiva y generativa; lo anterior siempre con base en sus necesidades e intereses (Vázquez, 2008).

De esta forma (Vázquez, 2008) determina la generalidad de la explicación de desarrollo humano y exponiendo así, que la cobertura de las necesidades básicas son una condición necesaria, pero no suficiente para alcanzar el desarrollo humano. En otras palabras, pueden existir personas que cubran sus necesidades básicas; sus intereses personales, gustos y preferencias no están siendo satisfechos empero, dichos individuos no pueden alcanzar el desarrollo humano. A

esto concluye, que en síntesis, son condiciones estrictamente necesarias para alcanzar el desarrollo humano: la concepción de las libertades y capacidades humanas, el empoderamiento de la gente, la igualdad de oportunidades, la sostenibilidad de dichas oportunidades. Así como la determinación, de un medio ambiente apto y saludable, en términos biofísicos y psicológicos, para el desarrollo de la persona.

## **2.2. Índice de Desarrollo Humano**

El índice de desarrollo humano es la herramienta generada para construir un parámetro que sirva como base y aproximación al estudio del desarrollo humano. De acuerdo con los datos establecidos en tres rubros que lo corresponden: índice de salud, índice de educación e índice de ingreso. Cada uno de ellos, refleja los diversos logros en esferas diferentes como la parte de seguridad social, acceso y avances educativos (social) y por último la parte económica; reflejada en los ingresos que se obtienen y de manera per-cápita.

Por otra parte, el IDH permite referir las dimensiones básicas a unidades territoriales o geográficas haciendo evidentes diferencias de estos elementos, ya sea entre naciones, entidades federativas o municipios. Realiza un acercamiento práctico a la idea de desarrollo como libertad al seleccionar la esperanza de vida, la tasa de analfabetismo, la tasa de matriculación escolar y el PIB per-cápita como variables que aproximan las posibilidades de vivir una larga vida, con conocimientos y acceso a recursos (PNUD, 2004: 23).

Basado en lo que afirma (PNUD, 2004: 177), el Índice de Desarrollo Humano sintetiza los logros en desarrollo humano. Mide los avances promedio del país en tres aspectos básicos:

- Una larga vida y saludable, medida por la esperanza de vida al nacer.
- Conocimientos, medidos por la tasa de alfabetización de adultos y la tasa bruta de matriculación combinada en educación primaria, secundaria y terciaria.
- Un nivel de vida decoroso, medido por el PIB per-cápita (en dólares ppc.).

De ahí la explicación teórica para la aplicación del índice de desarrollo humano en el presente análisis, estructurando en sus componentes el impacto positivo o bien negativo, de la aplicación de estrategias y escenarios para el manejo del agua en la cuenca del Papaloapan. La relación que hay, entre la escasez o abundancia del recurso hídrico y el índice de desarrollo humano así como la calidad de vida y el bienestar de la población que habita en la zona de análisis.

Existe entonces una relación entre las condiciones del recurso y el desarrollo humano, sabiendo que la escasez provoca desabasto en las diferentes actividades económicas así como repercusiones en la calidad de vida y la salud de las personas que habitan en una región con esas características; la abundancia y un manejo diseñado de forma inadecuada (su inoperante redistribución) provoca catástrofes como inundaciones, que se traduce en la pérdida de vidas en el peor de los casos y también pérdidas materiales. En la esfera socioeconómica, ello determina en gran parte la influencia sobre el índice del desarrollo humano y la contraparte, el índice de marginación.

### **2.3. Del desarrollo humano al desarrollo sustentable**

“La crisis del agua se interpone en la transición de nuestro país hacia el desarrollo sustentable. Solucionarla requiere mucho más que un esfuerzo tecnológico o de inversión. Por otra parte, la dimensión del problema rebasa con mucho la capacidad gubernamental. Se requiere una progresiva implantación de una cultura de utilización racional del agua que permee a la población en su conjunto y que sustituya a la actual cultura del desperdicio, la no valoración y el no pago” (Carabias, 2005).

Para alcanzar el desarrollo sustentable y más aún, la sustentabilidad en el uso y manejo de los recurso hídricos; se debe tomar en cuenta aspectos sociales, económicos y bióticos, y como la mediación entre las diferentes esferas. Si bien es cierto, se puede alcanzar el estadio máximo de acuerdo al índice del desarrollo humano, sin embargo ello tiene de forma implícita la característica de la sustentabilidad toda vez que, de acuerdo a la definición y las características del desarrollo humano; se plantea como el desarrollo de las capacidades vía el aprovechamiento de las oportunidades en un entorno armónico para su bienestar. Ahora bien, ¿puede existir el bienestar en un medio ambiente deteriorado? Ya sea por diversos factores: inexistencia de sistemas de salud, sumideros, así como servicios y programas referidos a la conservación del medio ambiente.

Avanzar del simple hecho del desarrollo humano hacia el desarrollo sustentable implica la característica principal de la sustentabilidad que radica en el concepto de equidad social. La equidad en el desarrollo sustentable se enclava, no sólo, en la simple ponderación de diversos índices como el IDH; va más allá, como la efectiva distribución del ingreso y de la riqueza producida a partir de sus diferentes formas de generación. Entendido así, supone una distribución equitativa del ingreso, no debe confundirse con una distribución igualitaria. De tal suerte, que el ingreso vendrá en función de la generación de valor y del trabajo proporcionado de la persona o

individuo respecto a la creación de riqueza. A lo que Karl Marx llama, la pérdida del plus valor y trabajo; empoderamiento del propietario de los medios de producción.

En conclusión, desarrollo sustentable más allá de restringirse a la definición clásica de... *“la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”*... se percibe como el espacio donde converge la equidad social sus características y relaciones interpuestas con la *“igualdad social”* (Vázquez, 2008). Significa la auto-correlación entre desarrollo humano y sustentable, no significa la condicionante de uno para obtener otro, sino la existencia de ambos para la consecución de los mismos. Es decir, si no hay desarrollo humano tampoco desarrollo sustentable y viceversa.

#### **2.4. Recurso hídrico y sustentabilidad**

El agua como recurso natural y necesario en la totalidad de las actividades humanas así como para la existencia de la vida *per se*, se muestra en la presente tesina como un objeto de estudio; su manejo y distribución determinan el nivel de sustentabilidad en la forma de uso del recurso. Esto significa que depende a su vez de la región que se estudie, es decir, no son los mismos problemas los que tienen el norte y centro del país; a los que se plantean en el sur-sureste de la República Mexicana. Basado en esto, la sustentabilidad está en función de tres aspectos básicos: los sociales, económicos y del medio biótico.

Se entiende como la parte social, el nivel de bienestar sumándole las condiciones socioeconómicas marcadas por el índice de desarrollo humano, variables de acceso a servicios de salud, servicios educativos, de vivienda y la parte del ingreso. En la parte económica, la sustentabilidad estará determinada por la eficiencia y la distribución del bien, esto es, el agua como recurso natural al convertirse en un bien con diversos tipos de valor, requiere de un análisis de los puntos óptimos de los beneficios y costos económicos; amén de inferir en la determinación del precio de equilibrio que signifique un óptimo en términos de la eficiencia monopolista y el bienestar del consumidor, como se analizó en el apartado del monopolista.

El uso y manejo de una cuenca hidrográfica debe ser considerado de acuerdo a la cantidad y disponibilidad natural, los fenómenos de precipitación pluvial y los ecosistemas que se desarrollan a lo largo y ancho de ésta. Al ser considerada un sistema, cualquier inferencia en ella puede generar una reacción en cadena causando efectos positivos o negativos en términos de la sustentabilidad. Así pues, una región cuyas características sean: abundante caudal en la cuenca, altas precipitaciones pluviales y por ende vulnerabilidad de los asentamientos humanos a lo largo y ancho de la cuenca, tiene la interrogante de la diversificación a nivel sistema.

En síntesis, no puede existir una sociedad que en términos económicos y ambientales sea estrictamente sustentable, cuando ésta presenta algún problema relacionado con el manejo y uso del agua ó bien, por factores como la escasez y la abundancia; debido a que ambos generan diversos problemas. El primero implica la problemática de la importación de agua y los costos altos de extracción, como el deterioro y sobreexplotación de los mantos freáticos. En el segundo plano, se expresa como la situación de la alta disponibilidad ahora bien, no debe entenderse como disponibilidad estrictamente en función de la cantidad sino también de la calidad; esto lleva a plantearlo como una relación entre pobreza, sustentabilidad y el recurso hídrico en cuyo caso habría que analizar el comportamiento de las comunidades con bajo índice de desarrollo humano y su acceso al recurso hídrico.

## **2.5. Agua: vulnerabilidad y sustentabilidad**

El agua se circunscribe en la delicada esfera que conforma la sustentabilidad, así como un recurso natural que se encuentra sujeto a determinadas estrategias de manejo, se puede convertir en un factor de riesgo y vulnerabilidad ambiental. ¿Por qué un factor de riesgo? ¿Por qué de vulnerabilidad ambiental? Las zonas áridas o semiáridas, presentan vulnerabilidad al riesgo que existe por la presencia de sequías y escasez de agua a lo largo del tiempo, no sólo para actividades económicas de alta demanda sino para las necesidades básicas del ser humano. En ese sentido, donde existe una relación entre riesgo y amenaza surge la vulnerabilidad exponiéndose como: *“el grado en que un sistema es susceptible a los efectos adversos de la variabilidad climática”* (Carabias, 2005: 111).

Presentada así la definición de vulnerabilidad, queda claro que no se puede hablar de desastres naturales, si bien es cierto, ocurre un fenómeno natural ó uno hidrometeorológico de forma abrupta y fuera de los límites promedio; sin embargo ello no implica que sea un desastre natural sino un desastre material es decir, *“la materialización de la amenaza”*, en el cual, el grado de ésta es el riesgo que presenta la zona o sistema de sufrir dichos impactos de acuerdo a su fragilidad, y la vulnerabilidad *“sería el grado de exposición y fragilidad del sistema, ante la presencia de daños a la economía, la vida humana o el ambiente de ese sistema”* (Carabias, 2005: 111).

En ese tenor, la vulnerabilidad social y ambiental en su relación con la sustentabilidad se encuentran vinculadas toda vez que, no se puede hablar de este concepto que se manifiesta en una zona o región, mientras ocurran eventos meteorológicos que vulneren con desastres materializados a comunidades o regiones enteras, ya sea por la escasez o la abundancia del recurso hídrico; de esta forma se plantea que la búsqueda y consecución de la sustentabilidad ambiental, implica la disminución forzosa de la vulnerabilidad social que se puede explicar como

una vulnerabilidad ambiental, ello significa que la vulnerabilidad social dependerá de las estrategias para el manejo y uso de los recursos que ofrece una cuenca (principalmente el bien hídrico) así como las condiciones que el medio ambiente ofrezca, esto es, los fenómenos de la región.

### 3. RENTABILIDAD Y UTILIDAD EN LA OFERTA Y DEMANDA DEL RECURSO HÍDRICO: DE LA MAXIMIZACIÓN DEL BENEFICIO AL BIENESTAR SOCIAL

#### 3.1. Utilidad esperada: estructuras de Von Neuman y Morgenstern

Las estructuras de Von Neumann-Morgenstern definen a las inversiones financieras como loterías, se cimientan sobre los conceptos de estructura de preferencia estricta y distribuciones simples de probabilidad sobre conjuntos no vacíos (axiomas de preferencia), mediante ellas el agente no enfrenta la llamada paradoja de San Petersburgo, lo cual constituye una importante contribución en lo que respecta a la racionalidad de los individuos (López, 2008: 12).

En el caso del presente estudio, las llamadas inversiones financieras estarían representadas por las asignaciones de agua o bien, por la extracción del recurso hídrico que realizan cada uno de los usuarios, así el posible volumen de agua extraída sería dado no sólo por las necesidades para el desarrollo de actividades, sino de forma aleatoria y probabilística; según la decisión de los individuos que explotan la Cuenca Hidrográfica.

Sin embargo, dichas probabilidades de elección deben encontrarse en función de alguna variable que motive a los individuos a tomar ciertas decisiones, por ello de acuerdo a (López 2008), preferencia se define como:

Una estructura de preferencia estricta es un  $(P, >)$  tales que:

*P es un conjunto no vacío > es una relación binaria sobre P > es asimétrica, irreflexiva, transitiva y acíclica.*

Para entender la definición anterior, es importante conocer los siguientes conceptos:

- **Preferencia estricta** para los elementos  $p$  y  $q \in P$  si es el caso de que  $p$  es preferido a  $q$  y se escribe  $p > q$ .
- **Preferencia Débil** si se tienen los elementos  $p$  y  $q \in P$  y  $p$  es débilmente preferido si no es el caso de que  $p > q$  ó  $q > p$  se expresa  $\geq q$ .

- **Indiferencia** si tenemos los elementos  $p$  y  $q \in P$  y es el caso de que  $p$  es indiferente si no es el caso de que  $p > q$  ó  $q > p$ . Se escribe  $p \sim q$ .

De lo anterior se desprende que, dado un conjunto no vacío  $X$ , una *distribución de probabilidad simple* sobre  $X$  es una función que asigna valores en el intervalo  $[0,1]$  a un subconjunto finito  $S$  de  $X$ .  $S$  tiene la propiedad de que a cada  $p(x)$  asigna un valor mayor a 0 para todo  $x \in S$  y la sumatoria de todos los  $x$  contenidos en  $S$  de  $P(x)$  (López, 2008: 13).

Se sabe que la probabilidad de un individuo para optar por una decisión racionalmente establecida, siendo que éste pertenezca al sector de la agricultura, ganadería, sector industrial ó servicio doméstico; toda vez que se trata de la probabilidad que tiene la acción de extraer  $n$  volumen del recurso hídrico. Por otro lado, el conjunto de probabilidades no será establecido en la presente investigación, solamente se hace mención ya que forma parte del entendimiento previo para saber el comportamiento sistemático de los individuos; bajo los estrictos supuestos de racionalidad.

La *combinación convexa* de  $p$  y  $q$  es definida como  $\alpha p + (1-\alpha) q$ , siendo  $p$  y  $q$  distribuciones de probabilidad sobre  $X$  y  $\alpha \in [0,1]$  define a la función  $r$ , la cual asigna el número  $\alpha p + (1-\alpha) q(x)$ , si el valor  $X$  no se encuentra dentro del conjunto especificado para la función el valor  $r$  es de 0. La función  $r$  es en sí misma una distribución de probabilidad. Ella constituye un concepto fundamental al momento de construir la función de utilidad, como se observa más adelante (López, 2008: 13).

Una vez definidos los elementos de las estructuras de Von Neumann-Morgenstern (utilidad esperada) podemos definir a estas  $U = (X, P, >)$  (López, 2008: 13).

-  $X$  es un conjunto no vacío.

-  $P$  es el conjunto de distribuciones simples de probabilidad sobre  $X$ .

-  $(P, >)$  es una estructura de preferencia estricta.

- Existen al menos dos elementos  $p$  y  $q \in P$  tales que  $p > q$ .

Cada elemento del conjunto  $P$  es llamado una lotería. Una lotería  $\delta$  es un conjunto de posibles niveles de consumo  $(W_1, \dots, W_n)$  con sus respectivas probabilidades  $(P_1, \dots, P_n)$  (López, 2008).

Para la presente investigación se define  $X$  como el conjunto total a lo largo del cual, se sitúan los diversos niveles de consumo de agua.  $P$  como el conjunto de distribuciones de probabilidad de una preferencia de consumo (recurso hídrico) sobre  $X$ . Mientras que  $(P, >)$  definida como la preferencia de un usuario, es decir, prefiere consumir  $p$  cantidad de agua a  $q$  cantidad. De tal suerte que existirán al menos dos elementos  $p$  y  $q$ , que pertenezcan a la estructura definida  $p > q$ .

La teoría convencional indica acciones sobre este juego que ninguna persona racional seguiría, por lo que los individuos poseen funciones de utilidad de forma que avalúan lo atractivo que resulta una inversión o un juego según la denominada utilidad esperada (López, 2008). En este sentido, los individuos racionales o consumidores del recurso hídrico analizan las diferentes posibilidades de consumo del bien en disputa, en este caso el agua. Así como la utilidad que les puede redituar dicha cantidad obtenida para desarrollar sus actividades.

#### Ecuación 1. Utilidad esperada

Se define entonces, la utilidad esperada por:

$$EU(W) = \sum_{s=1}^s \pi_s U(W_s)$$

Donde:

- $EU(W)$  = Utilidad esperada
- $\pi_s$  = Probabilidad de un suceso
- $U$  = utilidad asociada al nivel de riqueza  $s$

El cálculo de la utilidad esperada depende de la ganancia  $W$  asociada a un suceso  $S$ , la probabilidad del suceso  $S$  y la utilidad que le reporta al sujeto dicha ganancia. Mediante la utilidad esperada es posible construir una función de utilidad para el individuo (López, 2008).

### 3.2. La función de utilidad

Los consumidores del recurso hídrico así como el productor (El Estado), se enfrentan a serios problemas de decisión, debido a que *“tienen una serie de posibles estrategias a seguir de las cuales cada una conlleva a un resultado diferente, de modo que para el agente inversor podemos definir el conjunto de posibles estrategias  $E = e_1, \dots, e_n$  de las cuales cada estrategia”* (López, 2008).

De entre los posibles resultados existe una *relación de preferencia* por parte del agente, es decir, de entre dos posibles resultados el agente sabe si uno es preferible al otro o si le son indiferentes. Si el resultado  $A$  es preferible a  $B$  ( $A > B$ ) la utilidad asociada de  $A$  debe ser mayor a la utilidad de  $B$  ( $U(A) > U(B)$ ) (López, 2008).

En ambientes probabilísticos, como lo es el caso del riesgo a cada estrategia corresponde una probabilidad de obtener un resultado, es decir, a la estrategia  $e_i$  le corresponde la probabilidad  $p_i$  de obtener el resultado  $r_i$  y así sucesivamente. Así, cuando la relación de preferencia cumple los axiomas de Von Neumann-Morgenstern la función de utilidad está determinada asignando un valor numérico a dos estrategias.

### 3.3. Usuario del recurso hídrico y riesgo

En la teoría clásica de las finanzas así como en la economía moderna, la posición de un inversionista se define con base en una relación de preferencia y el valor esperado de la lotería, el cual se expone de la siguiente forma como:

Valor esperado de una lotería  $p$ ,  $E(p)$ , se define como:

#### Ecuación 2. Valor esperado y utilidad de una lotería

$$\sum_{x \in \text{sup}(p)} u(x)p(x)$$

Para definir que posición tiene el agente inversor ante el riesgo, se debe conocer su relación de preferencia entre  $E(p)$  y  $p$  es decir, si el agente prefiere recibir la suma garantizada por  $E(p)$  o prefiere jugar otra lotería  $p$  en la cual existe la posibilidad de ganar más, pero también una pérdida mayor (López, 2008). Se considera entonces a un consumidor de agua como un agente inversor, teniendo éste determinada preferencia a consumir cierto nivel del recurso de acuerdo al grado de satisfacción que esto le proporcione; así como a la utilidad que le resulte de dicho consumo. Sin embargo tiene la posibilidad de elegir entre un menú de posibles niveles de consumo y esto, le puede traer mayor utilidad o mayor pérdida.

Ahora bien, dentro de los agentes inversores o consumidores del bien, existen distintas clases de consumidores, como:

- Es averso al riesgo si  $E(p) > p$
- Es neutral al riesgo si  $E(p) = p$
- Es propenso al riesgo si  $E(p) < p$

De lo anterior se deduce que los consumidores en la cuenca del Papaloapan son aversos al riesgo, es decir, dentro del menú de posibles combinaciones en la cantidad de agua extraída, escogerán aquella cantidad que maximiza sus utilidades y les signifique una reducción en su riesgo financiero. En este caso, el riesgo financiero al que están sometidos implica cuestiones como: extraer la cantidad no necesaria para sus actividades,  $n$  cantidad que suponga un mayor costo y menor beneficio, así como  $n$  cantidad que implique la maximización de sus beneficios desechando la cooperación con otros consumidores; aún cuando esto implique un colapso en el sistema hídrico.

Ello supone sólo un riesgo desde la parte económica, sin embargo implica también un riesgo desde la parte ambiental, toda vez que se realiza el uso indiscriminado del recurso hídrico poniendo el sistema natural bajo presión del consumo y la calidad del agua. Entonces se puede plantear que la extracción desmedida del recurso hídrico viene acompañada no sólo de un riesgo financiero sino también del riesgo ambiental, a lo que se expone la alternativa de la diversificación del sistema y la cooperación entre los usuarios con la finalidad de minimizar el riesgo financiero; disminuyendo paralelamente el riesgo de la sustentabilidad en la explotación de la Cuenca Hidrográfica del Papaloapan.

Generalmente los agentes son adversos al riesgo, así que la mejor manera de modelar su función de utilidad es con una función cóncava. Para el caso de agentes propensos al riesgo se utiliza una función convexa (López, 2008).

### **3.4. Del riesgo financiero al riesgo de la sustentabilidad**

Se dice que una inversión se expone a un riesgo cuando se pueden asignar medidas de probabilidad de manera objetiva a los rendimientos esperados por una inversión<sup>9</sup>. El riesgo es diferente de la especulación ya que en esta última no existe manera de asignar probabilidades objetivas a los rendimientos esperados (López, 2008). Entendido así, el riesgo financiero y ambiental están sujetos a probabilidades asignadas de forma objetiva mientras que la especulación (decisiones tomadas de forma subjetiva) es contraria a la teoría de la diversificación de cartera.

El riesgo tiene entonces relación directa con la utilidad, entendida ésta como la ganancia, sin embargo a mayor ganancia esperada aumenta la exposición de dicho riesgo. Lo anterior indica que al aumentar el riesgo es acompañado de un incremento significativo en la pérdida financiera

---

<sup>9</sup> En la presente investigación la inversión está en función de la cantidad de agua extraída de agua y determina el nivel de utilidad esperada; así como su exposición al riesgo financiero y ambiental.

y de la sustentabilidad. “Mientras que la ganancia medida en términos porcentuales es lo que se conoce como rendimiento de un título”<sup>10</sup> (López, 2008). La forma de calcular el rendimiento se expone en la siguiente fórmula:

**Ecuación 3. Rendimiento de un título en términos porcentuales**

$$\frac{P_1 - P_0}{P_0}$$

### **3.4.1. El riesgo en las concesiones hídricas**

Así como en el caso de las finanzas un título es un activo financiero, para el manejo sustentable de las cuencas; las concesiones y volúmenes de agua extraída son títulos que coadyuvan en la generación de la renta o ingreso, toda vez que, es el factor básico para las actividades de producción de bienes y servicios. Entendido así, el agua se convierte no sólo en un título sino también en el activo real que sirve como motor de la producción. A diferencia de los títulos financieros donde sólo salvaguardan los derechos de los activos reales. Para el presente análisis, se presenta un título como concesión y a su vez como un activo real.

Empero, ¿Cuál es el riesgo latente de las concesiones o volúmenes de agua extraída en la cuenca? Uno de los riesgos financieros a los que se someten los diversos consumidores es extraer el volumen inadecuado que ponga en riesgo su producción así como la utilidad esperada por ésta; ya sea por escasez ó exceso del bien. Por otro lado, el riesgo ambiental se refiere a la situación en la que entra el sistema hidrográfico al hacer uso del recurso hídrico en otras palabras, cada título (cantidad de agua consumida) y su rentabilidad financiera; acompañan forzosamente un riesgo ambiental que implica el deterioro del sistema en su parcialidad o totalidad.

Dos de los principales indicadores en el cálculo del riesgo financiero, y que se exportan en el presente trabajo para la estimación del riesgo ambiental son: la desviación estándar y la rentabilidad media. La primera se define como la raíz cuadrada de la varianza, mientras que la segunda es el promedio de la rentabilidad del título; los dos son calculados a través de las series históricas de las variables. Tanto los rendimientos del título (concesión de agua) así como las probabilidades de ocurrencia de eventos comúnmente mostrados.

---

<sup>10</sup> En el presente estudio el título estará representado por cada uno de los distintos volúmenes de agua que un usuario decide extraer de la Cuenca.

#### **Ecuación 4. Rendimiento esperado de un título**

$$(E_1, \dots, E_2) = \{R_1P_1 | R_2P_2\}$$

De la fórmula anterior se deduce que, para todo escenario  $E$  corresponde un riesgo  $R$  y probabilidad  $P$ . Para efectos del presente estudio se determina un escenario de acuerdo a las diversas combinaciones de extracción de agua esto es, puede ser de forma individual tomando la probabilidad y riesgo de la decisión de cada consumidor o bien, del sistema de usuarios en su conjunto.

### **3.5. De sistema hídrico a cartera de inversión**

La unidad básica para el manejo del agua es la cuenca hidrográfica, en la cual se considera la forma en la que escurre el agua en la superficie (cuencas hidrográficas) y en el subsuelo (acuíferos) (CONAGUA, 2007). 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, y de otra manera se trata de una cuenca cerrada. 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 (Carabias, Et. Al., 2005).

Se entiende que un sistema hidrográfico llamado cuenca, incluye ecosistemas terrestres (selvas, bosques, matorrales, pastizales, entre otros) y ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, humedales, etc.), y sus límites se establecen por el parteagua desde donde escurre el agua que se precipita en el territorio delimitado de éste, hasta un punto de salida (Carabias, Et. Al., 2005).

Entendida entonces como un sistema en el cual convergen diferentes características y componentes bióticos y abióticos, se lleva la parte económica de las finanzas hacia el terreno de la gestión ambiental; determinando así que una cuenca como sistema puede ser entendido como una cartera de inversión toda vez que, “una cartera se compone de una inversión de dos o mas activos, los cuales pueden ser acciones de diferentes compañías, bonos, monedas, etc.” (López, 2008). Ahora bien, la analogía implica que un riesgo es dado por cada nivel y extracción de agua realizada, ello determina invariablemente que una cuenca como sistema estará sometido a diferentes niveles de riesgo financiero y ambiental; dependiendo de las decisiones de los usuarios.

De ahí que el Estado (en sus diferentes niveles de gobierno) como administrador en el uso y manejo de los bienes hídricos, debe imponer ciertas medidas y restricciones con la finalidad de jugar y disminuir el riesgo financiero que representa “x” cantidad de extracción para los usuarios, así como el riesgo ambiental que implica “x” cantidad de extracción por parte de los usuarios. En este sentido, y por la composición jurídica en México; el Estado puede ejercer ciertas medidas discrecionales con la finalidad de evitar un colapso en las actividades económicas por el deterioro ambiental de la Cuenca Hidrográfica. Queda entonces claro el papel del Estado y la relación entre el riesgo financiero y el riesgo ambiental.

Se explicó detalladamente el concepto de riesgo, sin embargo existen dos tipos de riesgo por su naturaleza y característica:

El *riesgo único* es aquel que se encuentra en función de los factores que afectan a una única empresa o rama industrial, es también llamada riesgo diversificable ya que a través de ella es posible atenuarlo (López, 2008). En este sentido, el riesgo que se corre por la toma de decisiones al extraer cierta cantidad de agua, es posible disminuirlo siempre que se tomen medidas adecuadas en el manejo y uso del recurso hídrico.

El *riesgo sistemático*, en cambio, se encuentra en función de los factores generales que afectan al sistema en su conjunto y por ende afecta a todos los activos, se trata del mínimo riesgo al que se expone la inversión y por su naturaleza no es atenuable mediante la diversificación (López, 2008). En esta parte, se incluyen factores de riesgo sobre la cuenca en su conjunto como: la precipitación pluvial ya sea, excesiva o escasa; esto puede poner en riesgo ambiental toda la cuenca en su conjunto; y no existe forma de disminuir dicho riesgo, no sin afectar la cuenca en su conjunto (construcción de presas, etc.).

### **3.6. El modelo de Marcowitz: diversificar el riesgo financiero-ambiental**

La diversificación es una estrategia de inversión que permite reducir los riesgos sin que ella implique un sacrificio en las utilidades (López, 2008). Entendida así, la diversificación de la cartera en diversos títulos esto es, distribuir a lo largo de diferentes niveles de extracción de agua así como de fuentes alternativas del recurso hídrico; se convierte en la principal estrategia de la diversificación del riesgo financiero y ambiental, en lo que respecta a la relación entre la rentabilidad y el riesgo.

Por medio del modelo de Marcowitz fueron sentadas las bases de la diversificación, aun cuando está fue originalmente aplicada hacia el manejo de los portafolios financieros, sin

embargo como el riesgo es finalmente una probabilidad objetiva; tiene aplicaciones hacia la generalidad esto es, realizar su modelación en diferentes disciplinas que trabajen con el riesgo y la obtención de una utilidad o beneficio, no siendo éste estrictamente económico.

Mediante el modelo de Markowitz se logra maximizar la rentabilidad de una inversión a un determinado riesgo o su equivalente, minimizar el riesgo a una rentabilidad deseada. Así pues, es aplicable en el escenario que plantea la presente investigación, toda vez que se analiza la aplicación de una distribución óptima de la cantidad del recurso hídrico, a partir de un modelo de teoría de juegos que contemple la estrategia de la diversificación de las fuentes y los niveles de extracción del recurso; con la finalidad de disminuir el riesgo financiero y ambiental.

Markowitz demostró que al invertir en un grupo de títulos, es decir, diversificar la inversión; se disminuye el riesgo sin afectar el rendimiento ya que la suma del riesgo específico de cada uno de esos títulos se compensa y tiende a parecerse más al riesgo sistemático, esto en función del grado de correlación de los títulos, la diversificación tiene mayores alcances cuando el índice de correlación se acerca más a  $-1$ . De ahí que la diversificación es un medio de reducir los riesgos de la cartera sin reducir los ingresos en total (López, 2008).

De acuerdo a la teoría de las expectativas racionales los consumidores o agentes usuarios del bien (agua), se inclinarán por el uso que ofrezca mayor rentabilidad y menor riesgo. En el caso, cuya situación sea la igualdad de rentabilidad, la elección quedará en función estricta del riesgo. Luego entonces, un conjunto de consumos óptimos, es representado por la *“llamada frontera eficiente de inversión que tiene la propiedad de arrojar el nivel de rendimiento deseado el mínimo riesgo de entre todas las demás opciones (opciones no eficientes)”* (López, 2008).

Los consumidores deben situarse a lo largo de la frontera eficiente de inversión, es decir, a lo largo de las diferentes combinaciones de posibles niveles de extracción, que representen en su conjunto un óptimo en la diversificación del riesgo financiero y ambiental.

La frontera de inversión se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 5. Frontera de inversión**

$$\frac{R(e)_c - C}{\sigma_c}$$

Para simplificar la explicación de la fórmula anterior, se plantea que un consumidor se encuentra en la disyuntiva de ejercer dos títulos, esto es, una combinación de diferentes niveles

del consumo *A* y *B*. Se asigna un 100% de probabilidades en *A* y 0% en *B*. De ahí, se estima el rendimiento esperado por portafolio (conjunto de combinaciones de extracción de agua) y el riesgo mismo, se pueden analizar cambios de un porcentaje en las proporciones asignadas a ambos títulos (por ejemplo 1%) y se repite el proceso anterior hasta que se invierta la situación inicial, es decir, que el título *B* tenga el 100% y el título *A* 0% de la proporción invertida. Este método arroja un conjunto eficiente de inversión se restringe a la parte superior de la curva (López, 2008)

**Gráfica 4. Frontera Eficiente de inversión**



Como se observa en la gráfica 4., en donde se expone el comportamiento del riesgo; *“mientras mayor es el número de activos en los que se invierte el riesgo único de cada uno de ellos desaparece y el riesgo de la cartera de inversión tiende a acercarse al riesgo sistemático, que es el mínimo riesgo al que se puede exponer una inversión. Lo anterior muestra un comportamiento asintótico ya que en un principio el riesgo disminuye drásticamente para posteriormente hacerlo mas lentamente”* (López, 2008).

Así, mientras mayores son las estrategias que se plantean de diversificación y los títulos entendidos como las diferentes cantidades asignadas del recurso hídrico, el riesgo financiero y ambiental al que están sujetos los consumidores y el sistema de la Cuenca en su conjunto; disminuyen de forma plausible de acuerdo a la ilustración cuatro y el llamado teorema de Markowitz, de ahí como se enuncia en el viejo adagio “No se deben poner todos los huevos en la misma canasta”. De igual manera, se entiende la estrategia de diversificación; las fuentes de extracción así como de disposición del recurso hídrico, el riesgo financiero y sistemáticamente el riesgo ambiental tienden a una paulatina disminución.

## 4. LA MATRIZ DE INSUMO PRODUCTO

En los capítulos anteriores, se hizo un tratado teórico de los componentes esenciales de la presente investigación, en esta parte se exhibe la parte metodológica donde se explica la construcción de los tres escenarios a tratar; el escenario tendencial (sin realizar ninguna modificación o alternativa), la parte optimista e ideal (como debería comportarse el sistema) y el escenario estratégico (hacia la sustentabilidad). Así, tomando en consideración las partes de este trabajo, se procede a explicar la matriz de insumo producto mejor conocida como la matriz inversa de Leontief.

### 4.1. Matriz de Leontief: aplicación en la distribución del agua

Para explicar y poder construir el primer escenario (tendencial), se utiliza la matriz de insumo-producto o mejor conocida como matriz inversa de Leontief. Dicho ejercicio que se atribuye a la programación lineal, emplea una serie de pasos en el método principalmente extraídos del álgebra lineal. *Si observamos el completo funcionamiento económico de nuestra sociedad desde un cierto punto de vista esencial, hallamos una imagen sorprendentemente simple de él* (Oviedo, 2008). En este mismo sentido, se explica el funcionamiento de la cantidad de agua extraída en la Cuenca hidrográfica del Palapaloapan.

El fisiólogo inglés, W. Harvey (1578-1657), descubrió a principios del siglo XVII el mecanismo de circulación de la sangre en el cuerpo humano. Su descubrimiento marcó un hito en la historia de la fisiología. Un siglo más tarde aproximadamente, Francois Quesnay (1694-1774) ideó el esquema llamado TABLEAU ECONOMIQUE, para representar el flujo de productos intercambiados entre las tres clases que componían la sociedad: agricultores, terratenientes y manufactureros (Oviedo, 2008). Aún cuando Quesnay interpretó dicho acercamiento al modelo, quedó al margen de las relaciones específicas ello debido a la inclinación y tendencia absolutamente fisiocrática.

De ahí la idea de Leontief al plantear la matriz de insumo-producto, misma que representaría un cuadro de transacciones inter-industriales, esto es, entre los diversos sectores de la economía, para su representación en la modelación de la cantidad de agua extraída por cada uno de los sectores en las diferentes subregiones que componen la Cuenca del Río Papaloapan, se determina una matriz inversa; ello permitirá saber el consumo de cada uno de los sectores por cada una de las subregiones permitiendo estimar la cantidad de agua extraída al siguiente año.

## 4.2. Los Coeficientes Técnicos de Leontief

Los coeficientes técnicos en la matriz de insumo-producto representan el flujo estacionario de bienes, para la presente investigación significa el “flujo estacionario de agua” entre cada uno de los sectores de la economía, así se sabe año con año la cantidad de agua que requerirá cada uno de los sectores. Ahora bien, no debe interpretarse en dichos coeficientes, como una relación donde los consumidores del sector primario seden al sector secundario y terciario, o viceversa. Pues el sistema hidrográfico de la Cuenca del Papaloapan es el proveedor del bien hídrico. Así matemáticamente se tiene que, la matriz inicial de trabajo se representa de la siguiente forma:

### Ecuación 6. Sistema matricial de Leontief

$$\begin{aligned} X_1 &= a_{11} a_{12} a_{1n} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_n \end{bmatrix} \\ X_2 &= a_{21} a_{22} a_{2n} \\ X_n &= a_{n1} a_{n2} a_{nn} \end{aligned}$$

Donde:

- $X_{1...n}$  = se define como la sumatoria del nivel de agua extraída por cada sector en una subregión.
- $A_{n...n}$  = expone el nivel de extracción de agua de cada uno de los sectores en las diferentes subregiones.

Ahora bien, para la construcción de la matriz de coeficientes técnicos se obtiene la siguiente fórmula:

### Ecuación 7. Cálculo de Coeficientes Técnicos

$$A_{11...n} = a_{11...nn} / X_{1...n}$$

De la formula anterior se obtiene el coeficiente técnico de Leontief, conformando una matriz nueva que se expresa de la siguiente manera:

### Ecuación 8. Matriz de Coeficientes Técnicos de Leontief

$$\begin{matrix} A_{11} & A_{12} & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{2n} \\ A_{n1} & A_{n2} & A_{nn} \end{matrix}$$

Así pues, la matriz de coeficientes técnicos muestra la relación que existe entre cada sector de la economía y las subregiones de la Cuenca del Papaloapan, esta relación explica el nivel de extracción de agua que está ejerciendo cada sector de la economía. De esta manera se puede estimar el escenario tendencial en la cuenca hidrográfica del Papaloapan, dicho escenario explica la situación actual y a futuro en caso de no tomar las medidas pertinentes.

### 4.3. La matriz identidad, adjunta y la inversa de Leontief

Como parte del ejercicio para el cálculo de la Inversa de Leontief, se plantea una matriz identidad cuya diagonal principal es de 1 y los demás factores son expuestos como cero, de ahí se le resta la llamada matriz de coeficientes técnicos, quedando de la siguiente forma:

**Ecuación 9. Matriz (I-A)**

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & A_{11} & A_{12} & A_{1n} \\ 0 & 1 & 0 & -A_{21} & A_{22} & A_{2n} \\ 0 & 0 & 1 & A_{n1} & A_{n2} & A_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}^* & A_{12}^* & A_{1n}^* \\ A_{21}^* & A_{22}^* & A_{2n}^* \\ A_{n1}^* & A_{n2}^* & A_{nn}^* \end{bmatrix}$$

Una vez realizada la resta de ambas matrices<sup>11</sup>, se obtiene el determinante de la matriz que surge como resultado de dicha sustracción; si el determinante es diferente de cero se puede continuar al siguiente paso, que significa estimar la matriz adjunta y se parte hacia el cálculo de la matriz inversa.

La matriz adjunta se consigue a partir de la superposición de los coeficientes de la matriz que se obtuvieron como resultado del procedimiento anterior (ecuación nueve). Ello significa realizar el siguiente movimiento en los coeficientes:

**Ecuación 10. Matriz adjunta (I-A)**

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{11}^{**} = \text{Det} \begin{bmatrix} A_{22}^* & A_{n2}^* \\ A_{2n}^* & A_{nn}^* \end{bmatrix} \quad A_{12}^{**} = \text{Det} \begin{bmatrix} A_{12}^* & A_{n2}^* \\ A_{1n}^* & A_{nn}^* \end{bmatrix} \quad A_{1n}^{**} = \text{Det} \begin{bmatrix} A_{12}^* & A_{22}^* \\ A_{1n}^* & A_{2n}^* \end{bmatrix} \\ A_{21}^{**} = \text{Det} \begin{bmatrix} A_{21}^* & A_{n1}^* \\ A_{2n}^* & A_{nn}^* \end{bmatrix} \quad A_{22}^{**} = \text{Det} \begin{bmatrix} A_{11}^* & A_{n1}^* \\ A_{1n}^* & A_{nn}^* \end{bmatrix} \quad A_{2n}^{**} = \text{Det} \begin{bmatrix} A_{11}^* & A_{21}^* \\ A_{1n}^* & A_{2n}^* \end{bmatrix} \\ A_{n1}^{**} = \text{Det} \begin{bmatrix} A_{21}^* & A_{n1}^* \\ A_{22}^* & A_{n2}^* \end{bmatrix} \quad A_{n2}^{**} = \text{Det} \begin{bmatrix} A_{11}^* & A_{n1}^* \\ A_{12}^* & A_{n2}^* \end{bmatrix} \quad A_{nn}^{**} = \text{Det} \begin{bmatrix} A_{11}^* & A_{21}^* \\ A_{12}^* & A_{22}^* \end{bmatrix} \end{array} \right.$$

Una vez ordenados los coeficientes de la matriz (I-A), se calcula el determinante de cada una de las matrices de 2\*2, ello significa que se obtendrán nueve determinantes y cada uno se integra en una nueva matriz; quedando en el lugar correspondiente a la matriz adjunta. Como resultado se obtiene la matriz inversa de Leontief o matriz de insumo producto, dando una interacción de la demanda y oferta del recurso hídrico en una modelación estática de input-output (entrada y salida). Esto es, los diferentes niveles de consumo y los coeficientes de cambio de agua que se necesitará para abastecer la demanda al siguiente año.

<sup>11</sup> Para mayores detalles, véase Sydsaeter Knut and Peter Hammond, *Matemáticas para el Análisis Económico*, Prentice Hall and Pearson Education, tercera edición, 1998, Traducido por José Luis Vicente Córdoba.

A continuación se expone la matriz inversa:

**Ecuación 11. Matriz Inversa de Leontief o Insumo Producto**

$$\text{Matriz Inversa} = \begin{bmatrix} A_{11}^{**} & A_{12}^{**} & A_{1n}^{**} \\ A_{21}^{**} & A_{22}^{**} & A_{2n}^{**} \\ A_{n1}^{**} & A_{n2}^{**} & A_{nn}^{**} \end{bmatrix}$$

Los coeficientes de la matriz inversa son en síntesis, las nuevas combinaciones que multiplicados por el vector de demanda final, representan el nuevo abastecimiento en la cantidad de agua a consumirse.

Entendido así, se expone de la siguiente forma:

**Ecuación 12. Ecuación general de la Inversa de Leontief**

$$X = (I - A)^{-1} * Y$$

Donde:

- X: representa el sistema matricial de las diferentes combinaciones posibles de extracción del recurso hídrico.
- $(I-A)^{-1}$ : la matriz inversa o los determinantes de la superposición de la matriz adjunta.
- I: la matriz identidad.
- A: la matriz de coeficientes técnicos.
- Y: el vector que representa la demanda final de agua en los sectores usuarios.

## 5. TEORÍA DE JUEGOS Y LA GESTIÓN AMBIENTAL

De acuerdo a lo abstracto de las estructuras de preferencia de Von Neuman –Morgernsten expuestas en el capítulo tres, pareciera no tener aplicación alguna; sin embargo y contrario a lo que se piensa, funcionan como una manera de modelar el comportamiento del “*homo economicus*”, analizando el recurso hídrico no sólo como un recurso natural, sino como un bien con uso y cambio en el mercado. Dichos axiomas y supuestos sirven como base para que años más tarde, John Forbes Nash realizara una importante aportación a la teoría matemática exponiendo y definiendo el famoso “equilibrio de Nash”.

La aplicación de la teoría de juegos en la gestión ambiental, no es ciertamente reciente sin embargo tampoco ha sido tomada en consideración para obtener alternativas y posibles soluciones a diversos problemas que implica el medio ambiente y la relación de las actividades que realiza el ser humano en su vida cotidiana. Ejemplo de ello, en lo referente a la problemática que implica la gestión y manejo del agua en las distintas cuencas que existen en el país. Para el caso de la presente investigación, se expone un breve análisis conceptual para analizar su aplicación y simulación del modelo en el capítulo siete. Se hace un espacio en este apartado para explicar y demostrar teóricamente el funcionamiento de la teoría de juegos, empero.

### 5.1. Representación de los juegos en forma normal: uso y manejo del agua

Por definición la representación en forma normal de un juego con  $n$  jugadores especifica los espacios de estrategias  $S_1, \dots, S_n$  y sus funciones de ganancias  $u_1, \dots, u_n$ . Así denotamos un juego con  $G = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$  (Gibbons, 1993). En la gestión ambiental y de acuerdo a la forma en la que actúan los actores usuarios del recurso hídrico en la Cuenca del Papaloapan, se determina como “ $s$ ” a cada una de las posibles estrategias a tomar por los usuarios, estas estrategias equivalen a una “ $w$ ” cantidad de agua extraída de la Cuenca para realizar sus actividades; mientras que “ $u$ ” representa la utilidad o ganancia brindada por cada estrategia tomada; esto es, cada “ $w$ ” elegida para ser consumida.

De acuerdo a la problemática antes mencionada, en la Cuenca del Papaloapan los sectores: de uso doméstico, industrial y primario; utilizan el recurso hídrico para el desarrollo de sus actividades, sin embargo la estrategia seguida por los usuarios se maneja sobre la idea de la abundancia y el no cuidado de la disponibilidad, misma que depende de la calidad del recurso. Esto ha planteado un serio problema toda vez que, al no existir una cooperación como tal entre los usuarios; cada uno tiende a la búsqueda del máximo beneficio individual lo que supone “*la no*

cooperación” y el riesgo de un colapso económico y ambiental a nivel regional, mismo que surge de la práctica inadecuadas en el manejo y gestión de dicho recurso.

Queda entonces explicada la definición de un juego, donde “ $G$ ” representa un espacio abstracto que está en función de los diferentes conjuntos de estrategias “ $S_1, \dots, S_n$ ”. Estos distintos conjuntos de estrategias están compuestos por cada estrategia individual “ $s$ ” que es igual a un nivel de consumo de agua “ $w$ ” y que brindan una utilidad “ $u$ ”. Luego entonces, cada estrategia tomada por el usuario del recurso hídrico le retribuirá cierto nivel de ganancia, de ahí que el juego “ $G$ ” impone una combinación de distintas posibilidades de beneficio dependiendo de la estrategia seguida.

## 5.2. Definición del equilibrio de Nash y su aplicación en la gestión del agua

Una manera de fundamentar la definición del equilibrio de Nash es el argumento basado en la teoría de juegos como oferente de una solución única a un determinado problema, esta solución debe ser un equilibrio de Nash en el siguiente sentido: Supongamos que la teoría de juegos hace una única predicción sobre las estrategias elegidas por los jugadores. Para que esta predicción sea correcta es necesario que cada jugador esté dispuesto a elegir la estrategia predicha por la teoría. Por ello la mejor estrategia predicha de cada jugador debe ser la mejor respuesta de cada jugador a las estrategias predichas de los otros jugadores. Tal predicción puede denominarse estratégicamente *estable o self-enforcing*, puesto que ningún jugador va a querer desviarse de la estrategia predicha para él (Gibbons, 1993). De lo anterior se define el equilibrio de Nash, en el juego formal de  $n$  jugadores,

### Ecuación 13. Representación de un juego

$$G = \{S_1 \dots S_n; u_1 \dots u_n\}$$

... las estrategias  $E = (s_1^* \dots s_n^*)$  forman un equilibrio de Nash si, para cada jugador  $i$ ,  $s_i^*$  es la mejor respuesta del jugador  $i$  (o al menos una de ellas) a las estrategias de los otros  $n-1$  jugadores;  $(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$ :<sup>12</sup>

### Ecuación 14. Utilidad correspondiente a la estrategia

$$u_i\{s_1^* \dots s_{i-1}^*, s_i^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*\} \geq u_i\{s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*\}$$

Para cada  $E(s_i \in S_i) = s_i^*$  soluciona:

### Ecuación 15. Maximización de la utilidad

$$\max_{s_i \in S_i} u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$$

<sup>12</sup> Para mayores detalles, véase Gibbons, 1993.

La definición anterior obtenida (Gibbons, 1993), muestra en términos más allá de la ciencia matemática, en lo referente a la lógica y las preferencias de elección; la solución a un problema que se sitúa en la gestión ambiental y que implica un cambio en el manejo y estrategias seguidas en la administración del agua en la Cuenca del Río Papaloapan. Ahora bien, ¿Por qué da solución a la problemática dada? En los últimos años de acuerdo a datos mostrados por la Comisión nacional del Agua (CNA) y el Consejo del Sistema Veracruzano del Agua (CSVA), han publicado información acerca de la disponibilidad en cuanto a calidad y cantidad del recurso hídrico en la región citada. Ello muestra un panorama ciertamente tendencial hacia el uso inadecuado y administración deficiente del recurso hídrico.

La solución planteada en la definición del equilibrio de Nash, muestra la situación que actualmente se ha seguido por los diferentes usuarios del agua en la Cuenca del Papaloapan, en la búsqueda de la Maximización de la Utilidad se extrae una “ $w_i$ ” cantidad de agua sin percatarse del deterioro que pueden infringir o bien, lo negativo que puede resultar para las actividades y consumo de otros usuarios; así un agricultor o usuario del sector secundario no toma en cuenta el daño ocasionado a las actividades de otro usuario situado río abajo. Ello supone un conflicto de intereses sociales, económicos y el orden natural, así como un riesgo socioeconómico y ambiental.

El equilibrio de Nash en su aplicación a la gestión del agua, significa el punto donde los usuarios no desean realizar un cambio de estrategia. Es decir, un cambio en su elección de consumo de agua; debido a que dicho cambio significa una pérdida y la no maximización de su utilidad o beneficios, por tanto los usuarios al no mostrar un deseo de cooperación o estrategias que vayan en conjunto para la mejora del manejo del recurso hídrico, optaran siempre por la decisión que supone les arroja un mayor beneficio no importando así, que el sistema en su totalidad y al final cada uno de los usuarios obtengan un menor beneficio.

### **5.3. Teorema de Coase y la tragedia de los comunes: de la gestión del agua**

Se ha analizado detenidamente las estructuras de preferencias por Von Neuman-Morgernsten sus implicaciones en el equilibrio de Nash, así como el reflejo de este comportamiento en la gestión del recurso hídrico, sin embargo uno de los tópicos con mayor relevancia en esta temática se refiere al teorema de Coase y la tragedia de los comunes (bienes comunes).

Para ejemplificar teóricamente el teorema de Coase así como la tragedia de los bienes comunes y su relación con la gestión del agua en la Cuenca del Papaloapan, es importante detallar

cada uno de los supuestos del teorema y la llamada tragedia de los comunes, como se expone a continuación:

De acuerdo a los supuestos del Teorema de Coase:

- Si las transacciones pueden realizarse sin ningún coste y los derechos de apropiación están claramente establecidos, sea cual sea la asignación inicial de esos derechos se producirá una redistribución cuyo resultado será el de máxima eficiencia (Martínez Coll, 2001).
- Si las transacciones implican costes que impidan la redistribución de derechos, habrá sólo una asignación inicial de los mismos que permita la máxima eficiencia (Martínez Coll, 2001).

Por otra parte la tragedia de los bienes comunes enuncia lo siguiente:

- Se refiere expresamente a un escenario, el cual puede ser representado por el dilema del prisionero en la teoría de juegos, se describen los bienes; como bienes comunes, o bien la problemática planteada en los bienes públicos. Así, existen dos estrategias cuidar los comunes o no hacerlo (Martínez Coll, 2001).

Tanto el teorema de Coase como la situación de la tragedia de los bienes comunes, determinan un problema en la sustentabilidad del uso y manejo del agua en la Cuenca del Papaloapan. De acuerdo al Teorema de Coase y su primer enunciado, menciona acerca de la capacidad de alcanzar una maximización del beneficio y la utilidad obtenida por el usuario del recurso hídrico toda vez que, el costo en su transacción es decir, la contaminación que pueda estar ocasionando y el pago por los derechos de apropiación quedarán exentos en la contabilidad de sus costos.

Lo anterior supone entonces, la búsqueda de la maximización de la utilidad, lo que lleva a una pérdida hacia los demás, lógicamente la estrategia seguida por otros usuarios (jugadores) será buscar la estrategia que les signifique un máximo beneficio y ello comprueba nuevamente el equilibrio de Nash que se inserta en el teorema Coase. En el capítulo siete cuando se trate de la simulación del modelo, como se ven reflejados en la interacción de los usuarios en la Cuenca Hidrográfica del Papaloapan.

## **6. MARCO REFERENCIAL DE LA CUENCA DEL PAPALOAPAN**

### **6.1. Descripción Geográfica de la Cuenca del Papaloapan**

La cuenca del Papaloapan se encuentra ubicada en la Región Papaloapan del Estado de Veracruz. Desemboca en el Golfo de México, pasando principalmente por las ciudades de Tuxtepec (Oaxaca), Alvarado, Tlacotalpan y Cosamaloapan (Veracruz) (CSVA, 2006). El Río Papaloapan forma la segunda cuenca hidrográfica en cuanto a su caudal en la República Mexicana. Su longitud es de 900 km; a sus orillas habitan 3, 608, 000 millones de personas, incluyendo 264 municipios en tres Estados de la República Mexicana: Puebla, Oaxaca, Veracruz, con una superficie de 46,517 km<sup>2</sup> (CNA, 2006).

La cuenca se encuentra dividida en tres grandes subregiones: alto Papaloapan, medio Papaloapan y Bajo Papaloapan. El alto Papaloapan se conforma de los siguientes ríos: río salado y río grande, dicha subregión se encuentra en los Estados de Puebla y Oaxaca. Al medio Papaloapan le corresponden los ríos: La Trinidad, Valle Nacional, Playa Vicente, Santo Domingo y Río Tonto; se encuentra localizada en los Estados de Puebla, Oaxaca y Veracruz. Por último, la subregión del bajo Papaloapan está conformada por los ríos: Blanco, San Juan, Tesechoacan, Papaloapan y Llanuras Papaloapan; se localiza en los Estados de Puebla, Oaxaca y Veracruz.<sup>13</sup>

#### **6.1.1. Subregión del Alto Papaloapan**

Como descripción general de la Cuenca alta del Papaloapan, se tiene que, el bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino, cubren cerca del 50% de la superficie, en el resto se desarrolla la agricultura de riego y la agricultura de temporal, asociada en diversos sitios con vegetación original o vegetación secundaria, tal condición establece que el grado de conservación se considera de perturbación baja, localizándose de 1000 a 2000 msnm<sup>14</sup> (Consultoría y Construcción, 2008).

El INEGI reporta la presencia de agricultura de riego, agricultura de temporal, vegetación de páramos, bosque de encino, bosque de encino con vegetación secundaria, bosque de encino-pino, bosque de encino-pino con vegetación secundaria, bosque mesófilo de montaña, bosque de oyamel, pastizal inducido, pastizal cultivado, selva mediana perennifolia con vegetación

---

<sup>13</sup> No todos los ríos corresponden a los mismos Estados, es decir, el que un río pertenezca a una subregión y esta a Puebla y Oaxaca, no precisamente el río corresponde a Puebla ó Oaxaca. Véase (CSVA, 2006).

<sup>14</sup> Msnm, significa metros sobre el nivel del mar.

secundaria, selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria (Consultoría y Construcción, 2008).

Cabe señalar que en esta parte de la Cuenca del alto Papaloapan, ocurre un escurrimiento virgen promedio de 1,365.53 millones de metros cúbicos<sup>15</sup>, de acuerdo a (CSVA, 2006) existen condiciones de equilibrio en el río salado que corresponde al Estado de Puebla y Oaxaca y una condición de disponibilidad en el río grande, ello de acuerdo disposición relativa que considera el uso ecológico.

### **6.1.2. Subregión del Medio Papaloapan**

En esta parte de la cuenca se desarrolla la selva de alta perennifolia, la cual en diversas partes se encuentra asociada con la vegetación secundaria, cubriendo en conjunto cerca del 40% de la superficie, el 16% está cubierto por pastizal cultivado, la agricultura de temporal se restringe sólo a las zonas de contacto con la selva alta perennifolia cual representa el 9%. El grado de conversación para esta cuenca es de perturbación media. Esto significa que los recursos naturales e hídricos han sufrido un impacto considerable de acuerdo a las características y parámetros tomados por CNA (Consultoría y Construcción, 2008).

El INEGI reporta la presencia de agricultura de temporal asociada a selva mediana subperennifolia secundaria, agricultura de riego, agricultura de temporal, agricultura de temporal con pastizal cultivado, bosque de encino cultivado con erosión, bosque de encino-pino, bosque de pino, bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria, palmar, pastizal cultivado, pastizal cultivado con agricultura de temporal, pastizal inducido, sabana, selva alta perennifolia con vegetación secundaria (Consultoría y Construcción, 2008).

Forman parte también, la selva alta perennifolia secundaria con agricultura de temporal, selva baja caducifolia, selva baja caducifolia secundaria con agricultura de temporal, selva baja caducifolia con vegetación secundaria, selva alta perennifolia con vegetación secundaria con erosión, selva mediana subperennifolia, selva mediana subperennifolia secundaria - agricultura de temporal y vegetación halófila, además se localiza de 400 a 1,000 msnm (Consultoría y Construcción, 2008).

A la subregión del Medio Papaloapan corresponde un escurrimiento virgen promedio de 29,894.51 m<sup>3</sup>, clasificados en un nivel de disponibilidad los ríos: La Trinidad y Santo Domingo.

---

<sup>15</sup> A lo largo de toda la investigación las cantidades de extracción de agua, así como del escurrimiento virgen promedio están acotadas, sin embargo representan millones de metros cúbicos.

Mientras que, los ríos de Valle Nacional y Playa Vicente se encuentran en una situación de abundancia, esto les confiere un uso que implica menos presión sobre el recurso hídrico, en general esta parte de la cuenca se clasifica en una situación de disponibilidad (CSVA, 2006).

### **6.1.3. Subregión del Bajo Papaloapan**

El pastizal cultivado y la agricultura de temporal constituyen más del 64%, de la superficie, lo cual ha ocasionado que la selva alta perennifolia se restrinja a manchones asociados a vegetación secundaria, por tal motivo el grado de conservación para esta parte de la cuenca es de perturbación alta (Consultoría y Construcción, 2008).

El INEGI reporta la presencia de agricultura de riego, agricultura de temporal, agricultura de temporal-pastizal cultivado, selva mediana subperennifolia secundaria-agricultura de temporal, manglar, palmar, pastizal inducido, pastizal cultivado, pastizal cultivado-agricultura de temporal, pastizal halófilo, popal, sabana, selva alta perennifolia, selva alta perennifolia con vegetación secundaria, selva alta perennifolia secundaria-agricultura de temporal, selva baja caducifolia con vegetación secundaria, tular y vegetación de dunas costeras (Consultoría y Construcción, 2008).

En lo que corresponde al escurrimiento virgen promedio, la cuenca del bajo Papaloapan tiene en total 13,189.79 m<sup>3</sup>, contando con un uso del recurso hídrico ciertamente racional; lo que indica que se encuentra en disponibilidad y cuatro de sus cinco ríos que le conforman cuentan con un nivel de abundancia (CSVA, 2006).

## **6.2. Situación del recurso hídrico en el Papaloapan**

Describir aún de forma breve la situación del agua en el Cuenca del Papaloapan, implica además de exponer cifras y porcentajes que muestren la capacidad de recarga media natural de la cuenca, así como la disponibilidad y el escurrimiento virgen promedio; un análisis estructurado por sectores de la economía, cada subregión así como río que se encuentra en ésta y la separación por Estado: Veracruz, Puebla y Oaxaca. De tal Suerte que lo datos nombrados a lo largo de esta investigación se ven reflejados en los anexos del presente estudio.

En Veracruz, específicamente el manejo y la disponibilidad del recurso hídrico en la Cuenca del Papaloapan, tienen que ver no sólo con las condiciones de oferta natural y demanda de los sectores sino también con el manejo y uso de estos recursos, así como del marco de regulación sobre el cual se cimientan dichas decisiones y estrategias. Otro aspecto fundamental en la definición de las condiciones actuales y de las alternativas de desarrollo en el futuro, lo

constituyen los balances hidráulicos en cada una de las cuencas que conforman el territorio del estado. En estos balances se analiza en forma conjunta la oferta y la demanda, definiendo la disponibilidad de los recursos hidráulicos tanto superficiales, como subterráneos (Springall, 2005).

### 6.2.1. Cuenca del Papaloapan: agua superficial

En la cuenca del Papaloapan su corriente principal es el río Papaloapan, tiene su origen en las serranías oaxaqueñas y desemboca en la Laguna de Alvarado, a la que confluye también el río Blanco. El río San Juan Tesechoacan aporta una importante cantidad de agua al río Papaloapan (Springall, 2005). En la siguiente tabla se muestra la situación de los recursos hídricos en el Estado de Veracruz, expresando las diferentes cantidades de agua superficial extraída por los sectores de la economía que conforman la Cuenca Hidrográfica del Papaloapan.

Tabla 2. Balance de Aguas Superficiales					
Región	Demanda por Sector				Escorrentamiento Promedio Virgen
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Sub-Total	
Sub-región alto	22.02	0.04	83.67	105.73	1365.53
Sub-región Medio	26.62	0.55	19.67	46.84	29894.51
Sub-región Bajo	63.07	374.95	504.48	942.51	13189.79
Total de Cuenca	111.71	375.55	607.82	1095.08	44449.83

*Elaborada con base en la información de CSVA.  
Fuente: (CSVA, 2006) Situación del Recurso Hídrico en la Cuenca del Papaloapan.  
Las cantidades anteriores están expresadas en Millones de metros cúbicos.*

La tabla dos, muestra la cantidad de agua superficial extraída por cada uno de los sectores que conforman la demanda en su totalidad en la Cuenca del Papaloapan y la relación que hay por cada uno de los sectores respecto a la subregión que pertenece. Como parte del análisis de descripción, se observa al sector agrícola como el mayor consumidor del recurso hídrico en la Cuenca, seguido del sector industrial y del consumo público (doméstico, comercial, etc.). También se describe el escurrimiento promedio virgen, es decir, la cantidad de agua en el caudal a lo largo y ancho de la Cuenca del Papaloapan y en las subregiones que conforman este sistema hidrológico. Cabe señalar que los datos expuestos en esta tabla son utilizados en el capítulo siete (simulación del modelo).

### 6.2.2. Cuenca del Papaloapan: agua subterránea

En lo que corresponde a la situación del agua subterránea, contrario a lo que sucede con las aguas superficiales en Veracruz y especialmente en el norte del Estado; no es fácil el acceso a ellas, aun

cuando el balance hidráulico realizado por la Comisión Nacional del Agua arroja resultados con una disponibilidad media anual positiva en los principales acuíferos en el Estado (Springall, 2005).

La posición de los mantos freáticos dentro de los límites jurisdiccionales acuíferos, Veracruz recibe en conjunto como recarga renovable un volumen de 2.704 Mm<sup>3</sup>/año, frente a una extracción que se lleva a cabo de 1,652 Mm<sup>3</sup>/año, de donde resulta una diferencia o reserva excedente de 1,052 Mm<sup>3</sup>/año, de manera que es posible considerar al estado como una zona globalmente subexplotado, con disponibilidad de agua subterránea para cubrir las demandas presentes y futuras de los sectores usuarios. Sin embargo, de acuerdo a datos oficiales en la Cuenca del Papaloapan la oferta de agua subterránea es de 172 Mm<sup>3</sup> y la demanda de 47 Mm<sup>3</sup> (Springall, 2005).

Lo anterior supone una baja presión de la demanda frente a la oferta del recursos hídrico en los mantos freáticos, aunque a nivel global la cuenca presenta esos resultados los mantos cercanos a la costa presentan intrusión salina producto de su sobreexplotación y la falta de manejo adecuada del agua superficial empero. Esto significa un manejo poco racional del recurso hídrico en la Cuenca del Papaloapan. Aún cuando datos oficiales revelan que la disponibilidad de agua subterránea es de 58 Mm<sup>3</sup> (CSVA, 2006), ello no significa que algunos de los acuíferos se encuentren sobreexplotados, así como otros subexplotados; debido a los diferentes niveles de demanda por cada subregión de la Cuenca.

### **6.3. De la infraestructura hidráulica**

Dentro de las características hidráulicas se incluyen temas como: el agua potable, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales, así como calidad de agua y también las obras de infraestructura para evitar el desbordamiento de los ríos; amén de proporcionar a lo largo de los cauces seguridad y disminución del riesgo socioeconómico producto de los fenómenos naturales que provocan una alta precipitación pluvial.

Se establece que, en el año 2000 las pérdidas físicas por fallas en la red de suministro de agua potable, fue de 39.7% del total del consumo de agua potable. La población a lo largo y ancho de la cuenca del Papaloapan contaban con una cobertura de 61.9% con un volumen anual servido de 183,376 miles de metros cúbicos. En ese mismo año, se estimó que el factor de descarga de aguas tratadas representaban 71% equivalente a 137,690.9 miles de metros cúbicos. Siendo la cobertura de alcantarillado 61.6%, este porcentaje colectaba 108,258 miles de metros cúbicos. Una cobertura de tratamiento del .5% igual a 809 metros cúbicos (Springall, 2005).

De acuerdo a los datos anteriores y con la afirmación del autor, los rezagos importantes tienen lugar en la parte de la red de infraestructura que cubre la demanda del recurso hídrico, representando un gran volumen de pérdida producto de las condiciones precarias de las líneas que suministran el recurso. Quedando como premisa que la disminución de pérdidas físicas podría aumentar hasta un 20% para las zonas urbanas y 30% para las zonas rurales, dependiendo de la capacidad de acción de los organismos de cuenca, las autoridades estatales y municipales; ello con el afán de mejorar la infraestructura y evitar el desaprovechamiento cuantioso del recurso hidráulico.

### **6.3.1. Agua potable y alcantarillado**

El Estado de Veracruz, no obstante al ser una de las entidades federativas con mayor disponibilidad de recursos hídricos del país, al igual que Chiapas, Oaxaca y Tabasco; históricamente ha tenido uno de los menores niveles de cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario (Springall, 2005). Para el 2006, en las zonas rurales de la cuenca se tenía una cobertura media de agua potable del 42.71% mientras que en las localidades mayores a 2,500 habitantes el nivel de servicio es de 80.20%. Contrastando con la demanda cuyo comportamiento para uso público doméstico representó 196.56 Mm<sup>3</sup> mientras que el suministro es de 131.94 Mm<sup>3</sup> (CSVA, 2006).

De acuerdo a las cifras extraídas del Consejo del Sistema Veracruzano de Agua, existe un déficit de 32.88% en la cobertura de la demanda de agua potable, ello indica una paradoja sobre la cual se ha venido cimentando el presente análisis, ¿Por qué la segunda Cuenca Hidrográfica en el país, tiene un rezago del 32.88%? Esta pregunta plantea también la interrogante del desarrollo humano en términos de la sustentabilidad toda vez que, la búsqueda de éste debería ser punta de lanza para lograr una cobertura total de agua potable y la infraestructura hidráulica que sirve para el suministro.

Por otro lado y no menos importante, el alcantarillado cuya cobertura para el año 2006 representó en las zonas rurales apenas el 38.57% de la población, en el caso de las localidades urbanas la cobertura de alcantarillado es de 83.74%; de acuerdo a afirmaciones anteriores una de las principales razones que explican esta situación es la gran cantidad de pequeñas localidades que hay en el territorio –del orden de 22,000 localidades menores de 2,500 habitantes y la gran dispersión en la que se encuentran localizadas (Springall, 2005).

Sin embargo, del párrafo anterior se discute la imposibilidad de excusar la falta de capacidad para dar obertura total en el suministro de agua potable y alcantarillado, debido a la teoría económica del monopolio donde se sustenta al Estado como poseedor de los bienes públicos (agua) y se le confiere la autoridad para ejercer como un monopolio natural; donde los costos de producción son menores en manos de un sólo productor, así como también la posibilidad mediante la discriminación de precios para ofrecer el recurso a comunidades dispersas sin exceder en los precios y favoreciendo la premisa del bienestar social como parte principal de la sustentabilidad.

### **6.3.2. Tratamiento y descargas de agua**

Uno de los factores que influyen más en la disponibilidad del recurso es la calidad del agua, la cual se representan con un bajo nivel en una parte importante de los cuerpos de agua del estado, tal y como se ha detectado en la red de monitorio de la Comisión Nacional del Agua. Las descargas de aguas residuales municipales e industriales sin tratamiento y el uso de los cauces como depósito de basura son las principales fuentes de contaminación (Springall, 2005).

De acuerdo con datos de CSVA, en la región Papaloapan, aunque el Santo Domingo reporta un valor de ICA aceptable, el Tonto está contaminado; río Blanco pasa en su recorrido de contaminado a fuertemente contaminado, el Papaloapan y la Laguna de Catemaco presentan índices de contaminados; los demás ríos de esta región no cuentan con sistemas monitorios (Springall, 2005). El volumen de descarga de agua residual doméstica que se genera es de 96.57 Mm<sup>3</sup>, pero lo que se recolecta asciende a 61.7 Mm<sup>3</sup>, con una cobertura global del 63.89%.

Se observa el déficit en la captación de aguas residuales, ello supone una presión en la variable de contaminación, sin contar las descargas de aguas con sustancias químicas provenientes de los ingenios, al ser esta zona netamente de producción e industrialización de la caña de azúcar. Nuevamente, resulta paradójica la situación en la Cuenca de Papaloapan, toda vez que, la problemática si bien es cierto, es la deficiente disponibilidad del recurso hídrico, no por cuestiones de escasez del recurso; sino por los problemas en la infraestructura hidráulica y la contaminación que presentan algunos ríos que conforman dicha Cuenca.

Lo anterior supone ver hacia los datos referentes al tratamiento de agua, y se tiene que la Cuenca del Papaloapan cuenta con 23 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con una capacidad instalada de 88 Mm<sup>3</sup>, de los cuales está en operación cerca del 6.7% (5.9 Mm<sup>3</sup>). La cobertura de saneamiento al año 2004 es de 6.1% considerando el caudal de operación y el volumen total descargado (CSVA, 2006). Se describe una situación donde la falta de plantas

de tratamiento y medidas compensatorias en términos de los impactos y daños causados al medio ambiente; son un factor clave para el mejoramiento en la calidad, disponibilidad y por tanto aprovechamiento de las aguas superficiales, con el fin de disminuir el impacto a los mantos freáticos y mejorar las condiciones de bienestar de la población.

#### **6.4. Aprovechamiento en el sector agrícola**

En el Estado de Veracruz y en particular en la Cuenca del Papaloapan los productos comumente sembrados, y por orden de importancia económica son: caña de azúcar, maíz, frijol, naranja, mango y café; existen otros cultivos de menor producción la papaya en diferentes variedades, vainilla y jamaica (norte del Estado), (Springall, 2005). Se riegan un total de 19,717 hectáreas mediante  $540.45 \text{ Mm}^3$ , de las cuales 16,107 hectáreas se riegan con agua superficial con  $504.35 \text{ Mm}^3$  (CSVA, 2006).

En la Cuenca del Papaloapan la superficie agrícola comprende 33, 608 hectáreas cuadradas existiendo una demanda unitaria neta de  $4,912.21 \text{ Mm}^3$ . Una demanda total neta de  $165.1 \text{ m}^3$  por hectárea. Las pérdidas ascienden a 152.1% de agua, dando una demanda bruta de  $416.2 \text{ Mm}^3$  (Springall, 2005). De acuerdo a los datos proporcionados por Springall, poco mas del 152 % de la demanda real de agua, es decir, de lo que realmente se necesita en el sector agrícola para llevar a cabo sus actividades; es producto del desperdicio y las condiciones deficientes, en el sistema y unidades de riego.

Como síntesis de este apartado, los precios y la cantidad excedida sin uso alguno, ponen en riesgo tanto en términos de rentabilidad como ambiental el sistema hidrológico en estudio. Por un lado, la deficiente distribución de la abundancia del recurso hídrico aunado a esto, los precios subsidiados al sector agrícola, como estrategia de acuerdo a la política alimentaria del Plan Nacional de Desarrollo, establecida y aceptada en la Ley de Aguas nacionales. Queda claro, que en este sentido la discriminación de precios debe jugar un papel fundamental, al presionar e incentivar a los usuarios del sector agrícola mejora de su capacidad y aprovechamiento del agua; así como el Estado a través de sus organismos necesita mejorar la calidad de la infraestructura de riego y obras de irrigación acompañadas de sistemas óptimos de aprovechamiento del recurso.

#### **6.5. Aprovechamiento en el sector industrial**

En lo que respecta al uso industrial, manejo y aprovechamiento del recurso en este sector, se tienen registradas 53 plantas industriales a lo largo y ancho de la cuenca, en su mayor parte ingenios (transformadores de caña de azúcar). La demanda en la cuenca asciende a  $272.269 \text{ Mm}^3$ ,

con una demanda promedio de 472.689 m<sup>3</sup> por industria al mes; produciendo una descarga total de 293.412 miles de metros cúbicos por año. En lo correspondiente a la generación de contaminantes, para el año 2000 se estimaba una cantidad de descarga total de 803.867 m<sup>3</sup>. A ello correspondía una cantidad de 323.875 Ton/año de <sub>DBO5</sub>, 703.010 de Ton/año de <sub>DQO</sub>, y 318.382 Ton/año de <sub>SST</sub> (Springall, 2005).

Ahora bien, de acuerdo a los datos más recientes el sector industrial se emplean 343 Mm<sup>3</sup> de agua superficial en 72 industrias que descargan: 287.77 Mm<sup>3</sup>, de las cuales sólo se tratan 185.77 Mm<sup>3</sup>, quedando pendientes por tratar 102.2 Mm<sup>3</sup> (CSVA, 2006). Ya sea en términos absolutos o relativos al comparar la situación del 2000 al 2006, el incremento ha sido técnicamente significativo; en relación al vertimiento de aguas contaminadas sin tratar de las distintas industrias que se localizan en la Cuenca del Papaloapan. Con ello se demuestra de forma descriptiva la tendencia significativa que existe en la región y el manejo inadecuado del recurso hídrico en la zona.

## **6.6. Aprovechamiento y uso público**

Las condiciones de operación presentes en la mayoría de los organismos operadores de agua potable del Estado de Veracruz impiden llevar un registro y control de los volúmenes de agua producidos y entregados, por lo que es imposible conocer las dotaciones reales del vital líquido. Así, para fines de estimación son utilizados valores promedio equivalentes a 250 litros por habitante al día en localidades urbanas y 175 litros en rurales; tampoco se conoce con precisión la eficiencia existente en los sistemas de conducción y distribución, por lo que para propósitos estimativos se utilizan valores promedio de 39% de pérdida en localidades urbanas y 45% en rurales (Springall, 2005).

De acuerdo con datos establecidos por el INEGI, en el año 2000 la población de habitantes en la región de la Cuenca del Papaloapan, fue de aproximadamente 1,907,208, con una dotación per cápita de 204.2 litros de habitantes por día, es decir, el consumo que se estaba realizando en la zona. Las pérdidas físicas en términos porcentuales representaron 39.7 de una demanda anual de 210,835 m<sup>3</sup>, con una cobertura de agua potable de 61.9% de la población y un volumen anual servido de 144,512 m<sup>3</sup> (Springall, 2005).

Por otro lado en la Cuenca del Papaloapan, el factor de descarga de aguas residuales representó un 71.4% del total de la demanda, en términos totales el afluente generado fue de 108,503 Mm<sup>3</sup>, con una cobertura en el alcantarillado de 61.6% de la población; misma que recolectó un afluente de 85,309 Mm<sup>3</sup>. La cobertura de tratamiento de aguas residuales representó el .5%

siendo en términos absolutos de 637 m<sup>3</sup> (Springall, 2005). Los datos demuestran la problemática que se ha presentado a lo largo de la descripción de la zona de estudio, por un lado la abundancia del recurso hídrico y paradójicamente la falta de infraestructura hidráulica que existe en el área de estudio. Ello ha provocado serias deficiencias en el servicio público otorgado y ha mermado la disponibilidad del recurso.

Sin embargo, el consumo del sector público en los últimos años se ha incrementado de manera drámatica en términos absolutos, no así en los relativos esto es, de acuerdo al aumento que ha habido de la población y las actividades cotidianas que ahí se desarrollan; dicho aumento en el consumo no refleja un impacto significativo. De acuerdo a cifras oficiales en el 2006 la demanda de agua superficial del sector público, ascendió a 63.23 Mm<sup>3</sup> (CSVA, 2006).

## **6.7. Descripción socioeconómica de la Cuenca del Papaloapan**

Como parte de la descripción socioeconómica, se utilizan datos del Índice de Desarrollo Humano, mismo que ya fue explicado en capítulos anteriores. Se parte de la identificación de los municipios de los Estados de Puebla, Oaxaca y Veracruz, para formar la tabla que involucre los Estados, desagregados en municipios, con diferentes características que componen el índice de desarrollo humano.

Se establece como enfoque central, la composición del desarrollo humano y el grado que presenta cada uno de los Municipio, así también una relación estrictamente empírica y descriptiva; entre la disponibilidad y acceso al recurso hídrico, su nivel de desarrollo humano y el grado de exposición al riesgo socioeconómico en el que se encuentran, debido a los asentamientos humanos que se tipifican como altamente vulnerables a fenómenos extremos de precipitación pluvial.

### **6.7.1. Índice de Marginación en la Cuenca del Papaloapan**

La Cuenca del Papaloapan abarca tres Estados de la República Mexicana; Oaxaca, Puebla y Veracruz. Con un total de 64 municipios en sus alrededores y poco más de 3 millones de habitantes distribuidos en las localidades rurales y urbanas. A continuación se muestra un fenómeno económico y social toda vez que, aún cuando los municipios que conforman la Cuenca del Papaloapan dada su posición geográfica tienen abundancia del recurso hídrico paradójicamente mantiene niveles considerables de marginación.

<b>Tabla 3. Cantidad de municipios por estado y nivel de marginación</b>				
Estados	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo
Veracruz	0	10	8	4
Puebla	6	10	1	1
Oaxaca	9	7	1	1
Total	15	27	10	6
Términos %	25.86	46.55	17.24	10.34
<i>Fuente: CONAPO.</i>				
<i>Tema: Índice de Marginación 2005, Por Estado y Municipio.</i>				

Como se observa en la tabla tres, casi el 50% de los municipios que habitan en la Cuenca del Papaloapan, tienen un nivel de marginación alto y 17% tienen un grado alto de marginación. Esto significa que tienen serios rezagos en componentes como nivel educativo, carencia de servicios públicos como agua potable y falta de infraestructura en lo que corresponde a un sistema adecuado de drenaje. Por otro lado, en lo que se refiere al componente económico del índice, menos del 60% de las personas perciben hasta dos salarios mínimos por día. Considerando el salario mínimo en la región de 55 pesos, son 110 pesos al día que tiene una persona para subsistir y cubrir sus necesidades de alimentación.

Dadas las condiciones anteriores, resulta preocupante que los municipios situados en la Cuenca con segundo mayor caudal en el país; tengan niveles bajos de acceso al recurso hídrico en condiciones adecuadas para el consumo, se suma también la problemática de la vulnerabilidad social en la que se encuentran toda vez que, los bordos de contención construídos para hacer frente a los fenómenos naturales de precipitación pluvial han mostrado una ineficacia para mitigar los desastres sociales producto de la pérdida del patrimonio social con el que cuentan las familias.

## 7. SIMULACIÓN DEL MODELO: ESCENARIO TENDENCIAL, ÓPTIMO Y ESTRATÉGICO

A lo largo de este capítulo se utilizan las tablas expuestas anteriormente así como la metodología de programación lineal (matriz insumo-producto) y el modelo de teoría de juegos para obtener los escenarios tendencial, óptimo y estratégico; para la consecución de la sustentabilidad. Este último estadio se refiere al equilibrio entre las condiciones económicas, sociales y naturales donde convergen sin afectar o causar una pérdida del nivel de un componente por alcanzar una mejora en otro.

### 7.1. Escenario tendencial

Como se ha mencionado en los capítulos antes expuestos, el escenario tendencial se determina a partir de la construcción de la matriz de insumo-producto, o mejor conocida como matriz inversa de Leontief. Dicho escenario se refiere a continuar manejando el recurso hídrico en la Cuenca del Papaloapan como se ha realizado años atrás, implica el deterioro del sistema ambiental en todos sus componentes: bióticos, abióticos, sociales y económicos. Para ello se toman datos del Consejo del Sistema Veracruzano del Agua y se modelan en la metodología de la programación lineal para suponer la cantidad de agua que requieren los usuarios del sector agrícola, industrial y de uso público/doméstico; para hacer frente a sus actividades diarias.

A continuación se expone la siguiente tabla:

<b>Tabla 4. Matriz de trabajo</b>				
Ouput	Demanda Intermedia			Pro. Bruta
Input	Uso público	Industrial	Agrícola	Vector Xi
Sub-región alto	22.02	0.04	83.67	111.71
Sub-región Medio	26.62	0.55	19.67	375.55
Sub-región Bajo	63.07	374.95	504.48	1095.08

*Fuente: Consejo del Sistema Veracruzano de Agua (CSVA, 2007).*  
*Tema: Situación del Recurso Hídrico en la Cuenca del Papaloapan.*  
*Nota: las cifras mostradas están expresadas en millones de metros cúbicos.*

La tabla cuatro corresponde a la matriz de trabajo, presenta la cantidad de agua extraída por cada uno de los usuarios ubicados en la Cuenca del Papaloapan y se encuentra dividida de acuerdo a las subregiones existentes en el Sistema Hidrográfico. Partiendo de esta situación se simula el modelo y se comienza la aplicación de la matriz de insumo producto para generar el escenario tendencial.

### 7.1.1. Escenario tendencial: coeficientes técnicos de Leontief

A partir de la matriz de trabajo expuesta en la tabla cuatro se aplica la ecuación seis explicada anteriormente, de esta forma se identifican los datos de la tabla cuatro como un sistema matricial de Leontief. Nótese que hasta ahora, no se ha realizado cálculo alguno, simplemente se ha identificado la posibilidad de modelar la matriz de trabajo como un sistema de Leontief. Para obtener la matriz de coeficientes técnicos de Leontief se aplica la ecuación siete con los datos de la tabla cuatro y se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 5. Matriz de Coeficientes Técnicos			
Ouput	Demanda Intermedia		
Input	Uso Público	Industrial	Agrícola
Sub-región alto	0.197098	0.000107	0.076407
Sub-región Medio	0.238288	0.001467	0.017962
Sub-región Bajo	0.564613	0.998427	0.460681

De esta forma se tiene la matriz de coeficientes técnicos (ecuación 8) que expresa la relación entre cada uno de los usuarios del recurso hídrico en la Cuenca del Papaloapan, cada una de las regiones a la que pertenecen y sobre el total del Sistema Hidrográfico. Los inputs corresponden a la oferta de agua en cada uno de las sub-regiones del sistema hidrológico, mientras que los outputs corresponden a la demanda y presión que ejercen los usuarios al extraer “*n*” cantidad de agua.

### 7.1.2. Escenario tendencial: obtención de la matriz (I-A)

Para obtener la matriz (*I-A*) que en términos de algebra lineal significa restar a la matriz identidad cuya diagonal principal es igual a la “*unidad*” y las otras posiciones son igual a “*cero*”, se aplica la ecuación nueve donde se resta a la matriz identidad la matriz de los coeficientes técnicos de Leontief (ecuación 8) y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 6. Matriz (I-A)		
0.8029015	-0.0001066	-0.0764067
-0.2382883	0.9985333	-0.0179615
-0.5646132	-0.9984267	0.5393188

La tabla seis contiene los resultados de la matriz (*I-A*), donde “*I*” corresponde a la matriz identidad y “*A*” es la matriz de coeficientes técnicos expuesta en la tabla cinco. La matriz (*I-A*) corresponde a un paso esencial en la metodología de la construcción de la matriz de insumo

producto, dadas las características se necesita estimar el determinante de ésta y de su resultado depende la posibilidad de que tenga una matriz inversa o no, esto es, si el determinante de la matriz  $(I-A)$  es diferente de cero se puede calcular la inversa.

### 7.1.3. Escenario tendencial: matriz adjunta (I-A) y la inversa

Como el determinante de la matriz es diferente de cero, los resultados obtenidos pueden ser modelados y obtener la matriz adjunta para lograr estimar la matriz inversa. Para el cálculo de la matriz adjunta, se aplica la ecuación 10 a los resultados de la tabla seis.

0.9985333	-0.9984267	-0.0001066	-0.9984267	-0.0001066	0.9985333
-0.0179615	0.5393188	-0.0764067	0.5393188	-0.0764067	-0.0179615
-0.2382883	-0.5646132	0.8029015	-0.5646132	0.8029015	-0.2382883
-0.0179615	0.5393188	-0.0764067	0.5393188	-0.0764067	-0.0179615
-0.2382883	-0.5646132	0.8029015	-0.5646132	0.8029015	-0.2382883
0.9985333	-0.9984267	-0.0001066	-0.9984267	-0.0001066	0.9985333

Una vez estimada la matriz adjunta  $(I-A)$  como último paso para obtener la matriz inversa de Leontief, se estima el determinante de cada una de las sub-matrices; nótese que en la ecuación 10 se exponen los determinantes de cada una de las matrices, de ahí siguiendo el orden de posición cada determinante significa un coeficiente nuevo de demanda de agua. De tal forma que resulta la matriz expuesta en la siguiente tabla:

Sub-región/Usos	Uso Público	Industrial	Agrícola
Alto-Papaloapan	0.520594526	0.076344001	0.07629659
Medio-Papaloapan	0.138654675	0.389879649	0.032628178
Bajo-Papaloapan	0.801698476	0.801698476	0.801698476

La tabla ocho representa la matriz inversa de Leontief es decir, los coeficientes finales que serán multiplicados para estimar la cantidad de agua extraída por cada sector, dado el supuesto que los actores de los sectores agrícola, industrial y uso público sigan consumiendo el recurso de la forma que lo han hecho años anteriores y en la actualidad.

De ahí que, el siguiente y último paso es multiplicar la tabla ocho, por el vector  $Y_i$  que representa un supuesto incremento del consumo por parte de los diferentes sectores que conforman la Cuenca del Papaloapan y en cada una de las subregiones que la componen.

El último paso se realiza siguiendo la fórmula de la ecuación doce, misma que representa la multiplicación del vector  $Y_i$  por la matriz inversa  $(I-A)^{-1}$ . Para realizar este procedimiento suponemos un vector  $Y_i$  conformado de la siguiente manera:

**Ecuación 16. Composición del Vector  $Y_i$**

$$Y = \begin{Bmatrix} 15 \\ 5 \\ 10 \end{Bmatrix}$$

Donde:

- El primer término correspondiente a 15, significa que la demanda de agua por parte del sector público se ha incrementado en 15 millones de metros cúbicos.
- El segundo valor en el vector corresponde a un incremento de 5 millones de metros cúbicos en la demanda de agua del sector industrial.
- Y en lo que se refiere al tercer valor del vector, significa que el incremento de la demanda de agua en el sector agrícola es de 10 millones de metros cúbicos.

Se ha supuesto el vector  $Y_i$  ello implica que se cuenta con valores dados para el vector, se tiene la matriz  $(I-A)^{-1}$ , el último paso es realizar la multiplicación de ambos términos y se obtiene el siguiente resultado:

<b>Tabla 9. Incremento dado un cambio “<math>Y_i</math>” en la demanda</b>			
Región/Sector	Uso Público	Industrial	Agrícola
Subregión Alto	7.8089	0.3817	0.7630
Subregión Medio	2.0798	1.9494	0.3263
Subregión Bajo	12.0255	4.0085	8.0170

*Nota.- Las cantidades de resultantes del incremento en el vector  $Y_i$  están expresadas en millones de metros cúbicos.*

La tabla 9 en términos de la demanda del recurso hídrico en la Región de la Cuenca del Papaloapan, presenta el comportamiento que seguirán los diferentes agentes y actores que consumen dicho recurso; al interactuar con un cambio en la demanda de otros sectores. De ahí que la tabla 9 se plantea como el escenario tendencial para una estimación dada, es decir, si se planteara la posibilidad donde las cantidades de demanda final por cada sector representadas en el vector  $Y_i$  tuvieran un valor diferente al supuesto en el presente estudio, la simulación del modelo arrojaría otros datos tendenciales como ajuste a las estimaciones dadas.

En síntesis se determina el escenario tendencial mostrado por los resultados en la tabla 9. Ahora bien, este escenario como se afirmó en capítulos anteriores, sólo muestra el comportamiento sin cambios dados o estrategias puestas en marcha para incidir hacia un cambio

positivo en el manejo y uso del recurso hídrico de la Cuenca del Papaloapan. De acuerdo a los datos utilizados del Consejo del Sistema Veracruzano del Agua y la metodología expuesta, se tiene un agravamiento en las condiciones de la presión y disponibilidad sobre el recurso en esta región.

A pesar de la abundancia del recurso hídrico en la mayor parte de la Cuenca, por otro lado y como último punto en lo que se refiere al escenario tendencial, la ventaja mostrada por el modelo y su comportamiento, exhibe una capacidad de adaptabilidad; característica primordial en los modelos de sustentabilidad y sobre todo en el manejo de los recursos naturales. Si se desea realizar una modelación suponiendo cantidades diferentes de incremento, lo único que debe realizarse es plantear los nuevos incrementos en el vector  $Y_i$  y se tendrá un nuevo escenario tendencial.

## **7.2. Escenario tendencial versus escenario óptimo: equilibrio de Nash**

Para contrastar el escenario tendencial frente al escenario óptimo, se necesita suponer ciertas características del comportamiento de los agentes económicos y demandantes de agua en la Cuenca del Papaloapan. De acuerdo a los supuestos explicados en las preferencias de elección basados en los axiomas de Von Neumann y Morgenstern se tiene la posibilidad de construir un escenario óptimo partiendo de la modelación del escenario tendencial en el equilibrio de Nash, tópico sumamente trascendental en la teoría de juegos como explicación al comportamiento de los sectores que consumen el recurso hídrico en la Cuenca del Papaloapan.

Se ha demostrado como estimar de manera adaptable la cantidad de demanda de agua en la Cuenca del Papaloapan, según un incremento " $Y_i$ " dado; gracias a la matriz inversa de Leontief, sin embargo, cómo se sabe que efectivamente este punto conduce a la degradación del sistema ambiental en dicha Cuenca, entendiendo el sistema ambiental como una conjunción de actividades económicas, aspectos sociales y del medio natural; dadas las condiciones temporales y espaciales. Para determinar el punto central del escenario óptimo se plantea el equilibrio de Nash, el cual fue definido en capítulos anteriores.

Se utiliza la ecuación 13 del presente análisis para definir el juego del consumo extraído en la Cuenca del Papaloapan. Donde  $G$  = Matriz de Juego en consumo de agua,  $(S_1, \dots, S_n)$  son los espacios de estrategias, es decir, el rango de estrategias a tomar por cada sector que consume el recurso hídrico en la Cuenca del Papaloapan. Cada  $s^*$  representa la mejor estrategia tomada por el sector que demanda agua en la región y domina estrictamente cualquier otra estrategia. Esto es, el sector demandante de agua no se inclina por otra decisión debido a que ello implica una pérdida

en la utilidad. En la misma ecuación se define  $u_I$  como la utilidad que brinda una estrategia escogida al jugador “sector demandante”. Por último  $W_I$  es la cantidad de agua consumida por un sector de la economía.

Se expone la siguiente tabla que representa la matriz de pagos y ejemplifica en términos de la teoría de juegos el escenario tendencial y el punto contrario como escenario óptimo:

<b>Tabla 10. Escenario Tendencial y Escenario Óptimo en el equilibrio de Nash</b>				
Estrategia / sector	Uso público	Industrial	Agrícola	Cantidad de Agua
S1	NC	NC	NC	64.663756
S2	C	NC	NC	35.444802
S3	C	C	NC	22.765581
S4	C	C	C	0.000000
S5	NC	C	C	29.218954
S6	NC	NC	C	41.898175
S7	NC	C	NC	51.984535
S8	C	NC	C	12.679221

*Nota.- las cantidades están expresadas en millones de metros cúbicos.*

En la elaboración de la tabla 10, simplemente se toma la ecuación 16 cambiando los valores del vector  $Y_i$ , 20,10 y 15 (uso público, industrial y agrícola) respectivamente, se multiplica por la tabla 8 correspondiente a la matriz  $(I-A)^{-1}$ . De los resultados obtenidos suponemos el total de consumo por cada uno de los sectores de la economía, este total significa la demanda final y presión ejercida en el sistema hidrográfico. Luego entonces, suponemos que cada sector tiene la posibilidad de escoger “NC” o “C”. Donde NC significa no cooperar y consumir el total de demanda y “C” significa cooperar consumiendo 0 excedente no aprovechado. Debe aclararse que un consumo cero, no significa que el sector deje de consumir, supone la situación óptima deseada de no realizar gasto innecesario del recurso hídrico en la Cuenca del Papaloapan.

De acuerdo a la tabla 10, se obtiene una modelación del escenario tendencial en el equilibrio de Nash, dicho punto significa la estrategia  $S_I$  que representa la situación donde ninguno de los jugadores (sectores que consumen agua) desean cambiar su postura, debido a que ello les representa una disminución en sus ganancias, ello supone entonces que todos optan por la decisión “NC” no cooperar, de la misma forma pero en sentido contrario ocurre en la situación de consumo “ $S_4$ ”; los sectores que consumen el recurso hídrico están decidiendo una estrategia “C” de cooperación, esto implica reducción en su consumo y uso ineficiente del recurso, así como tratamiento de las aguas residuales. Aún cuando por modelación se determina la cantidad cero producto de “ $S_4$ ” esto significa un punto óptimo de consumo y gasto inadecuado.

En síntesis se tienen dos puntos en contraste, el escenario tendencial demostrado y estimado por la matriz inversa de Leontief, determinado como un equilibrio de Nash; por erigirse como el punto en el cual los sectores buscan la maximización de la utilidad y no desean cooperar; poniendo en riesgo el sistema hidrológico de la cuenca, ello debido al uso y manejo del recurso hídrico y la reducción de la calidad en la disposición final de agua.

### 7.3. Escenario Estratégico: hacia la sustentabilidad

Se considera el escenario estratégico como la serie de pasos para la búsqueda de la sustentabilidad en el uso y manejo del agua en la Cuenca del Papaloapan. Este escenario refleja de forma sistemática el escenario tendencial y un escenario óptimo, o de sustentabilidad. Sin embargo, el escenario estratégico mas allá de conformar un proceso de modelación matemático es simplemente un contenido de metas y como su nombre lo dice, una serie de estrategias, se utiliza la siguiente tabla para la explicación de éste.

Tabla 11. Escenario Estratégico y orden de elección				
Estrategia / uso	Público	Industrial	Agrícola	Cantidad de agua
S1	NC	NC	NC	64.66375602
S7	NC	C	NC	51.98453491
S6	NC	NC	C	41.89817467
S2	C	NC	NC	35.44480247
S5	NC	C	C	29.21895355
S3	C	C	NC	22.76558136
S8	C	NC	C	12.67922112
S4	C	C	C	0

Nota.- Las cantidades están expresadas en millones de metros cúbicos.

Se parte de una situación inicial donde el conjunto de estrategias conduce inevitablemente al “*equilibrio de Nash*” (nadie coopera) y el consumo “ $W_i$ ” es igual a 64.663756 Mm<sup>3</sup>, sin embargo las medidas que componen el escenario estratégico son las siguientes:

La gestión del recurso hídrico en la postura de incidir en un cambio paulatino hacia el escenario óptimo, determina como primer paso; tomar de base la situación inicial del “*equilibrio de Nash*” y realizar los ajustes de un espacio de estrategias a otra, esto significa pasar de  $S_i$  a  $S_j$  se establecen mecanismos como el ajuste de la *distribución equitativa*, esto supone compensar la disminución del consumo entre los sectores demandantes y no solamente cargar la reducción al sector que ejerza mayor presión.

En un segundo momento, se requiere de la cooperación de todos los sectores para ir graduando su consumo, permitiendo así un cambio no radical en su patrón de uso y logrando un manejo eficiente del recurso que no resulte en pérdidas significativas de las utilidades percibidas por éstos, amén de realizar los intercambios pertinentes en la gestión del recurso; se necesitan esquemas de modernización en las plantas industriales tanto para el consumo como para el tratamiento de las aguas que son vertidas a la Cuenca del Río Papaloapan.

En tercer lugar, de acuerdo a lo expuesto en el capítulo cinco y el teorema de Coase, realizar un cambio en las asignaciones sin que esto implique un coste en los beneficios, implicará necesariamente una maximización de estos, es decir, cambiar una asignación dada de consumo de agua por otro nivel que lo disminuya; mientras esto no represente un gasto o costo de transferencia en sus niveles de utilidad, invariablemente supone una maximización tanto en el beneficio individual del demandante como en el sistema hidrográfico en su totalidad.

Por último, para ir disminuyendo paulatinamente el consumo innecesario de agua en la Cuenca del Papaloapan, se deben realizar diversas transferencias de obligaciones y responsabilidad; esto implica que en la gestión del recurso deben asignarse cantidades de acuerdo a la necesidad promedio por cada consumidor y así obligar una transformación hacia la cultura del ahorro en el recurso hidrológico y su uso racional. En este sentido, la eficiencia viene dada a través de los diferentes pasos que se plantean como lo muestra la tabla 11 y los niveles de consumo según la estrategia seguida, debe notarse que cada decisión implica un paso en el recorrido a la sustentabilidad, aún cuando esta última se define como un estadio óptimo y su consecución no se determina en el corto o mediano plazo.

## 8. ÍNDICE DE SUSTENTABILIDAD EN LA CUENCA DEL PAPALOAPAN

La generación de un índice de sustentabilidad de acuerdo al presente estudio, se constituye a partir de tres componentes como: subíndice de presión, subíndice de estado y subíndice de desempeño. Estos subíndices evalúan el comportamiento y suman en su conjunto el índice de sustentabilidad. Sin embargo, dichos subíndices son construidos tomando en consideración ciertos indicadores que marcan la pauta en la conformación de éstos. El índice de sustentabilidad explica el comportamiento de la Cuenca del Papaloapan de acuerdo a los escenarios expuestos en los capítulos anteriores, es decir, como se ajusta el índice de sustentabilidad siguiendo un cambio en los escenarios: tendencial, óptimo y estratégico. De ahí que se retomaran los resultados de los escenarios anteriores y se plasman en el índice de sustentabilidad.

### 8.1. Construcción y resultados del subíndice de presión

Es construido tomando como base un indicador de extracción de agua por sector demandante y por cada subregión de la Cuenca, se considera un indicador de pérdida de agua por cada sector y subregión de la Cuenca; en éste se hace mención de la cantidad de agua que se pierde producto de las condiciones inadecuadas en la infraestructura hidráulica de la Cuenca del Papaloapan. Por último, se contempla un indicador sobre la cantidad de descargas de agua, ello con la finalidad de estimar la presión que ejerce cada sector; producto de la contaminación y su influencia en la disponibilidad del recurso hídrico. En síntesis, el subíndice de presión sirve para determinar el nivel de influencia que tienen las actividades de cada sector sobre el sistema ambiental en estudio.

#### 8.1.1. Indicador de extracción de agua

Este indicador como parte del subíndice de presión, explica y suma la importancia de la demanda de agua por cada sector en cada subregión, de esta manera, incluirlo y sumarlo a dicho índice implica realizar procedimientos antes de tener el dato disponible y apto de ser incluido. De ahí que se determina de la siguiente forma:

#### *Ecuación 17. Fórmula del nivel relativo de extracción de agua*

$$N_{ext} = D_{rs}/Epv_r$$

Donde:

- Next: representa el nivel relativo de extracción de agua, por sector y región respecto al nivel de escurrimiento promedio virgen que ocurre en la misma región.
- Drs: es la demanda de agua, de acuerdo la región “r” y al sector “s”.

-  $E_{pv_r}$ : escurrimiento promedio virgen por región.

Nota: amén de estimar el  $N_{ext}$  que corresponde al nivel relativo de extracción de agua de un sector en su totalidad, se divide la demanda total del sector entre el escurrimiento promedio virgen total de la cuenca. Si se requiere estimar el  $N_{ext}$  de cada región, se divide la demanda total por región entre el  $E_{pv_r}$ .<sup>16</sup>

### 8.1.2. Indicador de pérdida de agua

Plantea una relación entre la cantidad de agua que pierde cada sector por región, el total de cada región, o el total por sector. Como parte de la presión en el sistema hídrico de la Cuenca del Papaloapan, la pérdida de agua es un componente fundamental debido a que muestra en términos relativos, la falta de infraestructura hidráulica en el sistema de la cuenca de ahí que, la demanda de extracción de agua final se incrementa, aumentando la presión final sobre el recurso. Para el cálculo de este indicador, debido a la falta de datos referentes a la pérdida por sector en cada subregión del Papaloapan, se determina la siguiente fórmula:

#### Ecuación 18. Relación estimada para determinar la cantidad estimada de pérdida de agua

$$Rest_{pa} = D_{rs}/D_{ts}$$

Donde:

- $Rest_{pa}$ : es la relación estimada de pérdida de agua.
- $D_{rs}$ : demanda de agua por región y sector.
- $D_{ts}$ : demanda total por sector.

Nota: la relación estimada representa una alternativa para determinar el nivel de pérdida de agua por cada sector y región de la Cuenca del Papaloapan, debido a la falta de datos por cada subregión.<sup>17</sup>

Una vez estimada la  $Rest_{pa}$ , se procede a realizar los siguientes cálculos para saber la cantidad estimada de pérdida de agua por sector y región en la Cuenca del Papaloapan. El indicador relativo de pérdida de agua se determina de la siguiente manera:

#### Ecuación 19. Cantidad relativa de pérdida de agua

$$Crpa_{rs} = Rest_{pa} * Ctps$$

Donde:

- $Crpa_{rs}$ : Expresa la cantidad relativa de pérdida de agua, por región y sector demandante.
- $Rest_{pa}$ : muestra la relación estimada de pérdida de agua, de acuerdo al supuesto de la cantidad de agua demandada.
- $Ctps$ : cantidad total de pérdida por sector.

<sup>16</sup> Resultados de las estimaciones, véase anexo 1. B. de la presente investigación.

<sup>17</sup> IBID. Véase anexo 2. A.

Nota: la cantidad relativa de pérdida de agua, sólo muestra una relación supuesta dada la cantidad de agua demandada, es decir, suponiendo el porcentaje que representa la demanda de un sector sobre el total, se define que la pérdida de agua representa la misma proporción sobre la cantidad de pérdida total en el sector; ello debido a la falta de información en lo referente a la clasificación de cada subregión.<sup>18</sup>

### 8.1.3. Indicador de descarga de agua

Este componente del subíndice presión determina el empuje que representa la descarga de agua residuales y con algún otro tipo de contaminante; de acuerdo a la actividad realizada por cada sector demandante del recurso en cada subregión distinta. En este sentido, la falta de información disponible por cada subregión, obliga retomar la cantidad de descarga total de agua por cada sector; mediante una relación de acuerdo al porcentaje de agua demandada por cada sector y región, sobre el total del sector mismo, se supone una relación en la misma proporción en cuanto a la descarga de agua.

La proporción supuesta se estima de la siguiente forma:

#### Ecuación 20. Relación estimada de descarga de agua

$$Rest_{da} = Rest_{pa}$$

Donde:

- $Rest_{da}$ : representa la relación estimada de descarga de agua.
- $Rest_{pa}$ : muestra la relación estimada de pérdida de agua.

Nota: se muestra como una igualdad dada la falta de información, se determinan en igual proporción; sin embargo ello no significa que sean exactamente en la misma cantidad en términos absolutos.<sup>19</sup>

Sin embargo, estimar la cantidad en términos absolutos de descarga de agua en la Cuenca del Río Papaloapan, por cada una de sus subregiones y sectores que le componen, se realiza con la aplicación de la fórmula siguiente:

#### Ecuación 21. Cantidad relativa de descarga de agua por subregión y sector

$$Crda_{rs} = Rest_{da} * Ctds$$

De la ecuación 21, donde:

---

<sup>18</sup> *Ibid.* Véase anexo 2. B.

<sup>19</sup> *Ibid.* Véase anexo 3. A.

- $Crda_{rs}$ : expresa la cantidad relativa de descarga de agua por subregión y sector.
- $Rest_{da}$ : relación estimada de descarga de agua.
- $Ctds$ : cantidad total de descarga de agua por sector.

Nota: la  $Crda_{rs}$  conforma el indicador relativo de descarga de agua por subregión y sector, sin embargo los datos no se encuentran normalizados, este último paso para tener la posibilidad de sumarlos y conformar el subíndice de presión, se muestra en el siguiente subtítulo. Los resultados estimados de la ecuación 21 se encuentran compilados en los anexos de la presente investigación.<sup>20</sup>

#### 8.1.4. Sumatoria del subíndice presión

Se ha expuesto la construcción de los componentes del subíndice presión, la sumatoria final es explicada a continuación empero. Las características de esta sumatoria responden a la conjunción de variables que por sus unidades, en diversas ocasiones distan mucho de poder sumarse, “no podemos sumar dos peras más dos manzanas” respondiendo a tal analogía, para compilar el subíndice de presión, se procede a normalizar cada uno de los indicadores estimados: indicador relativo de extracción de agua, de pérdida y descarga de agua; respectivamente. A continuación se muestran los pasos.

##### Ecuación 22. Sumatoria del subíndice presión

$$\sum Sp_{rs} = N_{ext}(Norm.) + Crpa_{rs}(Norm.) + Crda_{rs}(Norm.)$$

Donde Norm. Responde a:

##### Ecuación 23. Normalización de Ritveld

$$B_j = \frac{(X_j - \min X_j)}{(\max X_j - \min X_j)}$$

Nota: la  $Sp_{rs}$  muestra la sumatoria de los componentes normalizados del subíndice presión, sin embargo, una vez realizada dicha suma, se debe normalizar nuevamente el resultado obteniendo de esta última normalización la  $Sp_{rs}(Norm.)$ , que expresa los valores de la sumatoria estandarizados y ponderando los datos como valor de máximo a mínimo. Se clasifican los valores de acuerdo a la escala siguiente: muy bajo ( $0 \geq x \leq .2$ ), bajo ( $.2 > x \leq .41$ ), medio ( $.41 > x \leq .61$ ), alto ( $.61 > x \leq .81$ ) y muy alto ( $.81 > x \leq 1$ ).

---

<sup>20</sup> *Ibid. Véase anexo 3. B.*

### **8.1.5. Resultados del subíndice de presión**

A lo largo de este subapartado se ha explicado paso a paso la metodología para la construcción del subíndice presión, ahora bien, los resultados obtenidos de dicho ejercicio tomando en cuenta que el subíndice de presión fue construido con datos producto del escenario actual y tendencial (resultados de la matriz de insumo-producto) en la Cuenca del Papaloapan. Se muestra la aplicación de los ejercicios mediante su transformación de simples datos a indicadores y subíndices, compilados en un índice que expliquen el comportamiento de los agentes demandantes del recurso hídrico y el sistema natural adyacente.

#### *Primer resultado y conclusión*

De acuerdo a los resultados en el anexo 4. C., las clases resultantes ponen a la subregión del bajo Papaloapan con una presión muy alta, cabe señalar que es de acuerdo a una comparación interna entre las subregiones; ello no implica que en comparación con otras Cuencas tenga un resultado muy alto. Sin embargo, el anterior dato es producto de alta concentración industrial, agrícola y poblacional que se haya en esta área. En general se localizan los municipios con mayor población.

De lo anterior, la propuesta de una redistribución de cargas en la presión es decir, mediante la cooperación de cada uno de los sectores para el uso, reuso y tratamiento adecuado del agua que se utiliza en los procesos de producción. Para las subregiones alto y medio Papaloapan, se estima una reconversión en los patrones de consumo así como en la infraestructura hidráulica que permita un mejor aprovechamiento del recurso.

De acuerdo con el escenario óptimo modelado, mediante la aplicación de la teoría de juegos se obtiene hasta un 40% de mejoras en las condiciones del Sistema de la Cuenca, ello implica una cooperación extrema, sin embargo esto vuelve utópico el objetivo por lo tanto se propone para el camino hacia la sustentabilidad un escenario estratégico mediante un sistema coordinado de decisiones y políticas de distribución.

Aún cuando la cuenca en su totalidad muestra un nivel medio de presión, no debe confundirse en términos relativos que cantidad de agua se está consumiendo respecto a otros sistemas hídricos, esto es, lo que ayuda en gran medida a mitigar la clase total de presión es el gran caudal que tiene la Cuenca del Papaloapan y su nivel de escurrimiento virgen promedio; mismo que representa el segundo lugar a nivel nacional.

## *Segundo resultado y conclusión*

Como resultado de la comparación total por sectores, el uso público e industrial representan los que ejercen mayor presión en el recurso hídrico, aun cuando el sector agrícola representa una estandarización muy baja; tiene serias implicaciones en la subregión baja de la Cuenca del Papaloapan.<sup>21</sup>

Descrita anteriormente, la presión ejercida en su totalidad por los sectores de uso público e industrial, se debe a la no-cooperación de ambos y la falta de incentivos para el cumplimiento de las metas y objetivos trazados en el manejo del recurso hídrico. Así, un incentivo que generalmente es concebido como una estrategia y que vuelve atractiva una forma de actuar; puede concebirse con la misma fuerza pero en sentido inverso cuando se torna como medida coercitiva, es decir, que obligue a los agentes demandantes al ahorro y reuso del agua. Por ejemplo, la retabulación de la tarifa impuesta por la CNA; aumentar el precio genera conciencia y manejo responsable de dicho recurso.

La retabulación de precios debe realizarse de la siguiente forma: de acuerdo a la cantidad de líquido consumido, con base a el nivel de desarrollo humano; lo anterior significa otorgar un consumo ciertamente subsidiado a los grupos con menor ingreso. No debe confundirse con incentivar el desperdicio y la cultura del desorden, todo lo contrario, en la actualidad se tienen datos sobre el tamaño promedio de una familia y el consumo promedio por habitante; de ahí determinar la cantidad de metros cúbicos a un precio subsidiado y una vez rebasado el tope otorgado, se procede a cargar la medida coercitiva mediante un precio que signifique una señal drástica a la disminución de su consumo.

La asigación y subsidio tanto en el sector industrial como en el agrícola, debe otorgarse sobre la base de esquemas que incentiven de manera coercitiva el reuso y manejo adecuado del recurso hídrico. Ejemplo de lo anterior, determinar la tarifa de acuerdo a plataformas promedio que indiquen al cantidad de recurso que necesitan las industrias para realizar sus actividades en el sector agrícola. En el caso de las autoridades que sea de su competencia, deben contribuir a la mejora de la infraestructura hidráulica evitando las fugas y desperdicio del líquido; una vez realizada esta mejora, el Estado mediante los órganos competentes estará en la posibilidad de exigir un consumo promedio, ello determinado por estudios especializados.

## *Tercer resultado y conclusión*

Los escenarios actual y tendencial, son la muestra de una inadecuada distribución del recurso hídrico, si bien es cierto el deterioro de la infraestructura hidráulica tanto en el sector público,

---

<sup>21</sup> Véase anexo 4. C.

industrial y agrícola; ha ido en detrimento de la presión ejercida por los sectores antes mencionados, el nivel de presión que muestra la subregión alta del río Papaloapan es bajo empero. Ello confiere un desaprovechamiento de los acuíferos y el caudal del río, a pesar de contar con grandes presas en la parte alta y media del Papaloapan, mismas que son aprovechadas para la generación de energía eléctrica, y a su vez sirven como barrera de contención en el caudal; evitando daños producto de la vulnerabilidad social de los asentamientos humanos.<sup>22</sup>

Mayor inversión en la infraestructura hidráulica en las tres subregiones de la Cuenca del Papaloapan, con la participación de la federación, los gobiernos de los estados que se ven inmersos en este sistema hídrico, así como los ayuntamientos que presiden la administración pública municipal (en la parte de la infraestructura para consumo doméstico).

Por otro lado y paralelo al párrafo anterior, se deben fortalecer los mecanismos institucionales de acción, otorgar mayor capacidad de decisión y reacción a los organismos municipales; con la finalidad de tener mayor libertad a la hora de determinar las tarifas de agua y así ejercer un control férreo y específico sobre el consumo del sector público en sus diferentes estratos sociales.

Para fortalecer el bienestar social en términos de la presión que se ejerce sobre el recurso hídrico, el Estado podría implementar una serie de estrategias que conlleven a una redistribución del ingreso es decir, mediante la discriminación de precios explicada en el apartado de la teoría del monopolio, tendría la posibilidad de apropiarse en un sentido económico del excedente de los consumidores de los estratos con mayor nivel de ingreso, permitiendo así un subsidio a las clases media y baja, de otra forma; subsidiar la cantidad permitida de consumo implicaría un déficit en las finanzas públicas de las diferentes dependencias municipales de agua y saneamiento.

## **8.2. Construcción y resultados del subíndice de estado**

El subíndice de estado indica invariablemente la calidad y situación en la que se encuentra disponible el recurso hídrico, de ahí que fueron seleccionados datos como el escurrimiento promedio virgen por subregión y el área que ocupa cada subregión. Una vez compaginados estos datos, se trazó una relación para determinar el estado en función de la disponibilidad de acuerdo al tamaño del área, de acuerdo a las características de la Cuenca del Papaloapan misma que se encuentra dividida en tres grandes subregiones; pudiendo contar con un mayor tamaño y escurrimiento en términos absolutos, no así en lo relativo.

---

<sup>22</sup> Véase anexo 4. C.

### 8.2.1. Sumatoria y resultados del subíndice de estado

La integración del presente subíndice se realiza a partir de datos como: el escurrimiento virgen promedio y el tamaño del área que abarca cada subregión de la Cuenca del Papaloapan. A continuación se muestra la fórmula:

#### Ecuación 24. Subíndice de estado por región

$$Se_r = Evp_r / A_r$$

Donde:

- $Se_r$ : expresa el nivel de estado por subregión de acuerdo a la relación entre el escurrimiento virgen promedio y el tamaño del área de la subregión.
- $Evp_r$ : representa la cantidad de escurrimiento virgen promedio por subregión expresado en metros cúbicos.
- $A_r$ : significa el tamaño del área que abarca la subregión.

Una vez estimado el subíndice de estado por región, este aún muestra inconsistencias para su manejo. Se plantea la necesidad de hacer una estandarización de los valores y determinar que relación representa un mayor nivel entre el escurrimiento promedio y el tamaño del área, de tal suerte que se exprese un dato homogéneo. Se aplica entonces al  $Se_r$  la fórmula de la normalización (Ritveld, 1980).

#### *Resultado y conclusión*

El subíndice de estado destaca la relación entre el escurrimiento promedio virgen y el tamaño de la subregión de la Cuenca. De acuerdo a esta relación, la subregión del alto Papaloapan que la componen dos grandes ríos: río Grande y río Salado (Tehuacán); cuenta con una clase muy baja en su estado natural es decir, la disponibilidad natural que se origina el subregión. Por otro lado, la subregión del medio Papaloapan cuenta con una clasificación Muy alta, esto significa que la disponibilidad natural respecto al tamaño de su área en comparación con las otras dos subregiones, es la de mayor intensidad en cuanto al escurrimiento promedio virgen. Como último dato, la subregión baja tiene un nivel medio, de acuerdo al tamaño del área resulta una precipitación pluvial menor.

Aprovechar la capacidad de disponibilidad natural en las subregiones alta y media de la Cuenca del Papaloapan, un mecanismo que puede resultar de gran efectividad es la redistribución hidráulica; coadyuva en zonas con menor disponibilidad del recurso hídrico y mitigando los problemas de escasez de agua en otras Cuencas Hidrográficas.

Redistribuir la capacidad de carga de la subregión baja de la Cuenca del Papaloapan, a pesar de contar con una clase “*media*” en su disponibilidad natural, cierto es, que esta zona en gran medida tiene el inconveniente de los fenómenos naturales de alta precipitación pluvial, platear esquemas de trasvase de cuencas significa poner en riesgo el sistema ambiental de los humedales, por tal motivo, se necesitan análisis de impacto ambiental además de una planificación urbana-suburbana y ordenamiento ecológico y territorial.

De los puntos anteriores se desprende la recomendación al presente subíndice, con base en lo explicado en el apartado 3.6 de la presente investigación; proponer un trasvase de cuenca tomando en consideración la ley de aguas nacionales y las consideraciones técnicas necesarias, de tal suerte que se evite un deterioramiento en el sistema ambiental y los recurso naturales que allí proliferan. Lo anterior responde a la teoría de la diversificación del riesgo financiero aplicada a “*la diversificación del riesgo ambiental en la Cuenca del Papaloapan*”.

### **8.3. Construcción y resultados del subíndice de equidad**

El subíndice de equidad representa la parte social y económica del índice de sustentabilidad, es construido a partir de los índices de marginación y vulnerabilidad (producto del riesgo social) que tienen los habitantes de la Cuenca del Papaloapan, toda vez que, sufren la ocurrencia de fenómenos naturales que causan daños, pérdidas materiales, humanas y en lo correspondiente al rubro socioeconómico. Por un lado el índice de marginación es retomado del informe de índice de marginación del Consejo Nacional de Población Vivienda (CONAPO, 2005), y el índice de riesgo se retoma de la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2006).

#### **8.3.1. Índice de marginación: indicador en el subíndice equidad**

En el apartado 6.7.1. del presente estudio, se hace mención y se explica en que consiste así como los componentes principales del índice de marginación; para la finalidad de los resultados expuestos en la metodología de la estimación del índice de sustentabilidad, se retoma el índice de marginación como un indicador del subíndice de equidad. Se toman los municipios que forman parte de cada subregión y el índice de marginación por municipio, de tal suerte que se puede sacar el promedio de dicho índice por cada subregión. Como segundo paso, se normalizan los datos obtenidos por cada subregión, el procedimiento de estandarización del valor varía significativamente y se expone a continuación:

### Ecuación 25. Promedio de marginación por subregión

$$IMG_r = \frac{\sum IMG_m}{N_m}$$

Donde:

- $IMG_r$ : es el índice de marginación promedio por subregión.
- $\sum IMG_m$ : representa la sumatoria del índice de marginación de los municipios que conforman la subregión.
- $N_m$ : representa el número total de municipios que conforman la subregión de la Cuenca.

Obtenido el índice de marginación promedio de la subregión, se debe normalizar para tener un dato homogéneo en cuanto a las unidades, capaz de ser relacionado con el indicador de vulnerabilidad y estimar el subíndice de equidad. Para estandarizar dicho valor, se utiliza la normalización (Ritveld, 1980), sin embargo se hacen algunas modificaciones en este caso, como se explica a continuación:

### Ecuación 26. Normalización para indicador de marginación

$$B_j = \frac{(X_j - \max X_j)}{(\min X_j - \max X_j)}$$

Donde:

- $B_j$ : es igual al dato que se estandariza, en este caso el  $IMG_r$ .
- $X_j$ : el dato inicial de todos los valores, en este caso corresponde al  $IMG_r$ .
- $\max X_j$ : significa la clasificación del valor máximo dentro de los posibles valores que toma  $X_j$ .
- $\min X_j$ : representa la clasificación del valor mínimo dentro de los posibles valores que toma  $X_j$ .

Nota: la diferencia entre la ecuación 23 y la ecuación 26 referente a la normalización, estriba en lo siguiente: mientras que la primera ecuación citada busca una estandarización de los datos asignándoles un valor ( $0 \leq X \leq 1$ ) tomando como referente el dato mayor y su estandarización cercana o igual a uno; en la presente ecuación 26, la estandarización pondera el dato menor como mayor valor en la estandarización, es decir, cercano o igual a uno. En otras palabras un dato que presente menor valor, tendrá una mayor estandarización.

### 8.3.2. Índice de vulnerabilidad: indicador en el subíndice de equidad

Anteriormente se explicó el concepto de vulnerabilidad social y ambiental, según lo expuesto en el apartado 2.5 de la presente investigación. De acuerdo con este concepto, la relación que guarda con la equidad y el índice de sustentabilidad; implica mejoras en la condición social y económica de la población de la Cuenca del Papaloapan. Sobre esta base se incorpora el índice de riesgo a inundaciones que corren los habitantes en cada una de las tres subregiones que conforman la Cuenca del Papaloapan, suponiendo entonces una igualdad entre el riesgo ambiental y social, la

amenaza de los fenómenos naturales de precipitación pluvial y la vulnerabilidad social en la pérdida de los bienes materiales.

A continuación se expone la fórmula mediante la cual se integra el riesgo ambiental como un indicador de vulnerabilidad social y éste como parte del subíndice de equidad:

**Ecuación 27. Ponderación del índice de vulnerabilidad social**

$$IVS_r = Vp_r$$

Donde:

- $IVS_r$ : muestra el índice de vulnerabilidad social por región.
- $Vp_r$ : vulnerabilidad ponderada por región, es decir, los valores que arbitrariamente se asignan de acuerdo a la clasificación del riesgo ambiental que realiza la CNA en la Cuenca del Papaloapan.

Nota: la clasificación mencionada en la explicación de la  $Vp_r$  corresponden a los siguientes valores: .19 cuando el riesgo ambiental es muy bajo, .39 cuando el riesgo es bajo y .99 cuando es muy alto.<sup>23</sup>

Para normalizar los datos es decir, asignar una estandarización de valor, se recurre a la ecuación 26 y se realiza el mismo procedimiento con el  $IVS_r$ .

**8.3.3. Sumatoria y resultados del subíndice de equidad**

En el presente estudio el subíndice de equidad se compone de dos indicadores: el índice de marginación normalizado y el índice de vulnerabilidad social, una vez ponderados y normalizados los dos indicadores, se aplica la siguiente fórmula:

**Ecuación 28. Sumatoria del subíndice de equidad**

$$\sum Seq_r = IMG_r(Norm.) + IVS_r(Norm.)$$

Nota: una vez estimada la sumatoria que conforma el subíndice de equidad por región, se debe normalizar nuevamente el resultado para estandarizar los datos, debido a que la sumatoria arroja datos y no propiamente valores homogéneos. De igual forma la clasificación es realizada con base a los procedimientos anteriores.<sup>24</sup>

---

<sup>23</sup> Véase anexo 6. A.

<sup>24</sup> Véase anexo 6. B.

### *Primer resultado y conclusión*

El subíndice de equidad arroja como resultado para la subregión del alto Papaloapan un nivel “*Muy Alto*”, ahora bien, ello no significa que en términos de equidad real comparado con los estándares internacionales exista una “equidad significativa”, el subíndice resulta “*Muy Alto*” por tratarse de una comparación al interior de la Cuenca. Mientras la subregión del medio Papaloapan y el bajo Papaloapan, presentan subíndices de equidad “*muy bajo y bajo*” respectivamente.<sup>25</sup>

Incentivar la equidad en términos de la vulnerabilidad, se plantea la reconfiguración del ordenamiento territorial de la subregión del bajo Papaloapan. De acuerdo a estudios realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2002), a dicha subregión le corresponden la mayor ocurrencia de eventos naturales que ponen en riesgo la población; las líneas de mejora son: infraestructura hidráulica y reconfiguración de las zonas agrícolas, así como un posible trasvase de Cuencas.

Redistribuir la carga y pesos de las tarifas en el costo del agua, mencionado anteriormente en las conclusiones del subíndice de presión; resulta inevitable hablar acerca de los mecanismos de ajuste vía los precios como forma de incidir en la demanda, la redistribución de la carga tributaria y del ingreso, es decir, el Estado como parte de sus obligaciones constitucionales debe preservar la planificación económica y la redistribución del ingreso mediante la discriminación de precios en el monopolio del agua.

Ampliar y modernizar la cobertura hidráulica en las zonas urbanas y rurales, preservando la calidad y asegurando un servicio en condiciones salubres para dotar del líquido vital al 100 % de la población de la Cuenca del Papaloapan. Esta conclusión y recomendación impactaría significativamente al subíndice de equidad, toda vez que, uno de los componentes principales del índice de marginación (indicador del subíndice de equidad en la presente investigación) es la salud y acceso a servicios públicos.

Promover el valor del agua como un bien finito, vulnerable y vital (Springall, 2005) para asegurar y garantizar el abasto equitativo a toda la población, de forma eficiente y equitativa; que contribuya a un mejoramiento en la calidad de vida de las personas, de ahí la gran importancia y relación que guarda el acceso al agua como vital líquido; respecto a al nivel de equidad que puede tener un grupo determinado de personas.

---

<sup>25</sup> Véase anexo 6. B.

#### 8.4. Índice de Sustentabilidad: sumatoria, resultados y conclusión

La sustentabilidad es un concepto que embarga una serie de aspectos como: económicos, sociales, culturales, biológicos, políticos, etc. Todos ellos en conjunción y resueltos en tres grandes esferas: económica, social y natural, dan como resultado la sustentabilidad. En el capítulo dos fue explicado con detenimiento, sin embargo en esta parte se plantean los resultados finales del presente estudio.

Inicialmente se trazaron tres escenarios: tendencial, óptimo y estratégico, a partir de esos escenarios que inciden directamente en la presión y equidad de la distribución del recurso, se construyó el índice de sustentabilidad con base en el escenario actual y tendencial; ello significa la no inclusión de políticas y estrategias que incidan de forma positiva o negativa en la distribución del recurso hídrico.

Los tres componentes esenciales del índice de sustentabilidad: presión, estado y desempeño; éste último representado por el subíndice de equidad, son construídos y explicados paso a paso a lo largo del presente capítulo, ahora bien, interesa saber el resultado final y el índice de sustentabilidad que surge a raíz de dicha sumatoria, mismos que se presentan en la fórmula siguiente:

##### **Ecuación 29. Sumatoria del índice de sustentabilidad**

$$Sa_{rs} = Sp_{rs}(Norm.) + Se_r(Norm.) + Seq_r(Norm.)$$

Donde:

- $Sa_{rs}$ : es el índice de sustentabilidad ambiental por subregión y sector, así como en su totalidad.
- $Sp_{rs}$  (Norm.): subíndice de presión normalizado por región, sector o total en ambos.
- $Se_r$  (Norm.): subíndice de estado normalizado por región.
- $Seq_r$  (Norm.): subíndice de equidad normalizado por región.

Nota: una vez estimada la sumatoria del índice de sustentabilidad, se le aplica la normalización de Ritveld (Ritveld, 1980) para estandarizar los valores y se tiene entonces el  $Sa_{rs}$  (Norm.) que expresa el índice de sustentabilidad final, ya sea por región y sector, o bien, la totalidad de una región o un sector en específico.<sup>26</sup>

##### **8.4.1. Resultados y conclusión del índice de sustentabilidad**

En el presente capítulo se explicó de forma desagregada el índice de sustentabilidad es decir, los tres subíndices que lo conforman y cada uno de los indicadores que integran éstos. Amén de

---

<sup>26</sup> Véase anexo 7. B.

plantear una serie de resultados y conclusiones, así como recomendaciones integrales. Se expone en este último subtema el resultado final y el impacto de cada subíndice en el índice de sustentabilidad ambiental generado para la Cuenca del Papaloapan. De lo anterior se expone lo siguiente.

### *Primer Resultado y Conclusión*

En lo referente al subíndice de presión y el índice de sustentabilidad para la Cuenca del Papaloapan, es propio afirmar lo notorio que resulta el impacto entre ambos, respectivamente. Ello significa que a medida que el subíndice de presión aumenta, genera un efecto en cadena sobre el subíndice de disponibilidad humana en la Cuenca, no debido a la escasez del recurso en lo referente a la cantidad sino a la calidad del recurso hídrico; esto a su vez golpea significativamente el subíndice de equidad. Siempre que, este último es medido a partir del índice de marginación mismo que dentro de sus principales indicadores incluye la disponibilidad de agua potable y acceso a los servicios públicos de calidad.

Mejorar a corto y mediano plazo el sistema de agua y saneamiento de la Cuenca del Papaloapan, así como las medidas en materia de legislación ambiental que obligue a las industrias tener un control estricto en el tratamiento del agua, descarga de éstas y la cantidad de extracción; tornando eficientes sus procesos de producción para evitar la fuga del recurso hídrico. Como incentivo-coercitivo se proponen sanciones severas y alzas indefinidas en el nivel de precio del agua, ello para favorecer la cultura del ahorro y manejo limpio del recurso.

En general la subregión del medio Papaloapan cuenta con un índice de sustentabilidad menor respecto a las otras dos subregiones y por debajo del total de la Cuenca del Papaloapan, aún cuando el índice de presión es bajo comparado con las otras dos subregiones; el índice de sustentabilidad es menor, ello prueba el desaprovechamiento de los recursos hídricos debido a falta de infraestructura hidráulica y una errática configuración de la potencialidad de las actividades económicas de la subregión, lo anterior se refleja invariablemente en el subíndice de equidad.

Disminuir la presión en la subregión baja del Papaloapan, con la finalidad de incidir positivamente en la calidad de la disponibilidad total para el consumo de doméstico, esto impacta directamente en la equidad a nivel subregional y contribuirá indudablemente a la mejora del índice de sustentabilidad; a través de los ajustes a sectores como el industrial, sin embargo en el caso del sector agrícola se deben tomar consideraciones con el propósito de brindar la certidumbre en términos legales, favorecer al marco jurídico y fortalecimiento institucional (este último tratado con detenimiento en la conclusión final).

## *Segundo resultado y conclusión*

En términos del índice de sustentabilidad, el subíndice de estado implica la bondad del sistema natural para proveer el recurso, así en lo referente a la equidad y bienestar social, supone la garantía del abastacimiento del agua. Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente análisis; aún siendo el subíndice de estado el más alto en la subregión media del Papaloapan mientras no existan los mecanismos necesarios para el aprovechamiento del recurso hídrico en términos de la racionalidad económica, social y natural; no tiene gran relevancia la cantidad de disponibilidad natural en la subregión.

Aprovechar la disponibilidad natural del recursos hídrico existente en la subregión del medio Papaloapan, propiciando las actividades económicas necesarias y potenciales en la subregión para su óptimo desenvolvimiento. Partiendo de la medida anterior se podrán generar interacciones económicas que signifiquen ingresos y ello reactive el flujo económico de la zona, forzando así, una inevitable mejora en la provisión de los servicios públicos como agua y saneamiento.

Diversificar el riesgo ambiental producto de los fenómenos naturales de alta precipitación pluvial que se originan en la subregión del medio y bajo Papaloapan, mediante el transvase de cuencas, su canalización hacia sistemas y regiones donde el recurso hídrico es escaso. Sin embargo, esta medida debe ser monitoreada con gran cautela toda vez que, la Cuenca del Papaloapan como sistema natural posee una gran biodiversidad que debe ser conservada; medidas como la exportación de agua podrían significar daños severos a los ecosistemas que allí proliferan.

Conferir a la problemática del agua en la práctica un sentido estratégico, proporcionando el impulso, apoyo político y social que se requieren para establecer consensos, y emprender las acciones necesarias para garantizar que el agua no constituya un freno para el desarrollo de los Estados incluidos en el sistema hidrográfico, para evitar su conversión en punto de partida en conflictos (Springall, 2005). De ahí que el subíndice de estado y su incidencia en el índice de sustentabilidad será realmente efectivo siempre que los subíndices de presión y equidad reflejen el aprovechamiento adecuado de los recursos.

## *Tercer resultado y conclusión*

La Cuenca del Papaloapan en su totalidad, tiene un nivel considerable de vulnerabilidad social, un índice de marginación alto de acuerdo al promedio de los municipios, problemas relacionados al desarrollo humano y bienestar social. Los sectores industrial y agrícola carecen de un punto neutral en la cooperación para el manejo integrado de la cuenca, prueba de esto es la diferencia en la presión y sustentabilidad por cada sector y subregión de análisis. La diferencia entre el

índice de sustentabilidad que se presenta en el interior de cada sector, por ejemplo, el sector industrial en la subregión del medio Papaloapan tiene un índice de sustentabilidad muy bajo; diferente al índice que guarda en el bajo Papaloapan, donde dicho índice es muy alto.<sup>27</sup>

Generar los procesos adecuados de reordenamiento territorial tanto en los asentamientos humanos, así como una reconversión del sector agrícola que le permita disminuir las pérdidas que anualmente se presentan por el desbordamiento de los ríos y los fenómenos naturales que se presentan, de la misma forma en el caso del sector industrial y su ubicación estratégica para mejorar sus costos de operación y sus procesos de producción, que contribuyan a reducir el consumo de agua. En este sentido de acuerdo a (Springall, 2005), la modernización del sector es impostergable, tanto en materia de infraestructura operativa y administrativa, como en la profesionalización de los recursos humanos para asegurar su permanencia laboral, y con ello el seguimiento de planes y programas a largo plazo.

Fomentar la cultura del agua, a todos los niveles de la población- sectores productivos, organismos gubernamentales y no gubernamentales-, será un aspecto de vital relevancia para conocer, educar y transmitir el conocimiento sobre el verdadero valor del agua en sus diferentes manifestaciones: políticas, económicas y sociales. Informar permanentemente a la sociedad veracruzana sobre los temas relacionados con el sector hidráulico para facilitar la comprensión de los beneficios derivados obtenidos con la aplicación de la cultura del ahorro y uso eficiente del agua, e incrementar la productividad del agua, es decir, que la multiplicación en términos monetarios de la cantidad de agua consumida, se vea reflejada en una producción de las actividades económicas y mejora en las condiciones de vida de la población (Springall, 2005).

La descentralización y desconcentración administrativa federal hacia los estados y municipios para el manejo eficaz y sustentable del agua requiere de instrumentos jurídicos e institucionales que otorguen uniformidad y coherencia al régimen jurídico en que se sustenta. El Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave cuenta con una Ley de Aguas que contiene mecanismos legales que permiten el manejo integral del agua, es decir, en cuanto al aprovechamiento, manejo y uso de las aguas de la jurisdicción estatal, así como mediante la prestación de los servicios públicos de agua potable, drenaje y saneamiento (Springall, 2005).

---

<sup>27</sup> Véase anexo 7. B.

## CONCLUSIÓN GENERAL Y RECOMENDACIONES

A lo largo del presente estudio se realizaron los siguientes análisis: una matriz de insumo-producto o inversa de Leontief, para la estimación del escenario tendencial y el proceso de ajuste en las cantidades de extracción de agua que influyen en el subíndice presión, así mismo dichos resultados se modelaron con base a la teoría de juegos para obtener el escenario optimista, es decir, el punto de extracción de agua óptimo que contribuirá a la sustentabilidad en el manejo y uso del recurso hídrico en la Cuenca del Papaloapan; por último un análisis estratégico, es decir, el camino trazado a seguir para conducir el sistema hídrico del Papaloapan hacia la sustentabilidad.

De los resultados estimados en los tres escenarios se tomaron solamente los que provienen del escenario actual y tendencial, con la finalidad de mostrar al lector como se comporta la sustentabilidad de la Cuenca del Papaloapan a partir del índice de sustentabilidad y como influyen las cantidades de extracción de agua valoradas por el escenario tendencial. Sin embargo, aún cuando ya se explicó de forma desagregada dicho índice y se expusieron una serie de resultados con conclusiones y recomendaciones, es menester de este último apartado mostrar como se delinean las estrategias a partir de un marco donde los actores políticos, sociales y académicos intervienen en la consecución de las propuestas realizadas.

### *El precio como medida de ajuste en el sector de uso doméstico*

El precio como medida de ajuste de forma que incentive en un sentido coercitivo resulta eficaz para la exaltación de un política de consumo racional y un manejo concientizado del recurso hídrico. Pareciera jugar en contra de los intereses sociales y golpear abruptamente el ingreso económico de la población, lo anterior es mitigado a partir de la discriminación de precios empero. La discriminación de precios como solución para la apropiación del excedente de los consumidores con mayores ingreso, será punta de lanza en la estrategia y mecanismo. Por un lado subsidiar el consumo racional de las clases con menores ingreso de la población, por supuesto y siguiendo lo planteado en el primer capítulo de la investigación; el déficit generado de subsidiar y ofrecer menor precio a las clases vulnerables será compensando con un aumento de precio al sector de uso doméstico con mayor ingreso.

Con base en un Estado que debe propiciar e impulsar el desarrollo humano, incluyendo para dicha búsqueda estrategias como la redistribución del ingreso, a través de la discriminación de precios y los mecanismos que resulten de ésta, son claro ejemplo del Estado que cumple con uno de los objetivos de la política económica que incluyen la redistribución del ingreso. Ahora bien,

de acuerdo a estimaciones de diferentes dependencias municipales de agua y saneamiento, se ha estimado un consumo promedio por habitante de 250 litros diarios, actualmente las familias en México constan de 4 a 5 habitantes, de ahí estimar el consumo promedio diario por familia y proporcionar esa cantidad subsidiada, bajo la consigna que un aumento por encima del nivel permitido generará costos hasta diez veces mayores que el costo normal subsidiado. De esa forma, el Estado cumplirá con una redistribución del ingreso, propiciará de manera coercitiva el ahorro del líquido vital y por otra parte evitará saldos negativos en la cuenta pública.

En lo que respecta al ajuste del precio otorgado a las clases con mayor nivel de ingreso, el Estado debe considerar un consumo diario promedio por familia, de igual forma que se realizará con las clases económicamente menos favorecidas y asignar un precio que compense la cantidad subsidiada a las clases bajas. Imponer medidas fiscales como: impuestos sobre piscinas, albercas, fuentes, etc. Así como cualquier instalación que signifique usar el agua como un artículo de lujo. Si tenemos un bien que está siendo valorado como un artículo de lujo, es obligación del Estado imponer un precio de acuerdo a una percepción de lujo. Esto resulta congruente con la teoría económica de los diferentes tipos de bienes, como se expuso en el capítulo uno.

#### *El precio como mecanismo de ahorro en el sector industrial y agrícola*

En el caso del sector industrial y agrícola, la discriminación de precios debe ser enfocada en términos de las actividades económicas, la potencialidad y la productividad de éstas. Es decir, en cuanto a la generación de beneficios económicos y la traducción de éstos en beneficios sociales, ingresos a familias de la región y reactivación del flujo económico; deben ser asignadas las tarifas de agua. Actualmente, el sector agrícola cuenta con grandes beneficios en lo referente al precio subsidiado del recurso hídrico, sin embargo la infraestructura en pésimas condiciones aumenta el nivel de desperdicio del recurso; en el caso del sector industrial, las descargas de agua y la falta de capacidad para un adecuado saneamiento convierten las actividades de este sector, en puntos críticos de la presión sobre el agua en la Cuenca del Papaloapan.

En la sección 3.1. del proyecto se analizó de forma lógica las estructuras de preferencia de los consumidores a partir de los axiomas de Von Neuman y Morgernstern, dichos postulados sirven para concluir el comportamiento de los actores en el sector industrial y agrícola, es decir, mientras el precio del agua no refleje los costos de obtenerla y su vital importancia para éstas ramas económicas, es inevitable un colapso del sistema hídrico del Papaloapan; en términos financieros (finanzas públicas de las dependencias), naturales (capacidad de recarga del Cuenca), en la parte equitativa (disponibilidad y acceso al recurso hídrico de calidad para el consumo general de la población). El Estado necesitar echar mano de las diferentes instituciones

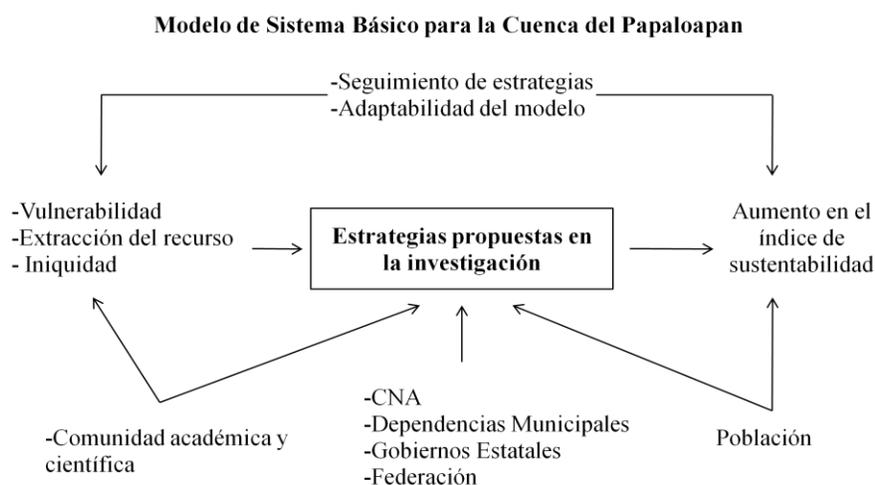
encargadas de la gestión del agua, podría implementar medidas como: infraestructura adecuada, saneamiento de la cuenca en diferentes zonas y coadyuvar a la modernización de los sectores industrial y agrícola para eficientar sus procesos de producción.

Considerar el sistema hídrico como una cartera de inversión de acuerdo al teorema de riesgo de Markowitz, implica proponer las condiciones para la diversificación sistemática del riesgo financiero y ambiental, ello partiendo de las cantidades estimadas en el escenario estratégico para conducir paulatinamente a los actores hacia el marco de la sustentabilidad en el manejo del recurso hídrico, evitando así la vulnerabilidad social en la que se encuentra gran parte de la población por habitar en zonas propensas a fenómenos naturales de excesiva precipitación pluvial; amén de considerar los ecosistemas que se desarrollan en la Cuenca del Papaloapan, como la extensión de humedales y sus diferentes tipos; con la finalidad de favorecer su desarrollo y conservar los servicios ambientales que proveen sin generar un costo de oportunidad en los sectores industrial y agrícola. De ahí lo fundamental del Teorema de Coase mencionado en la sección 5.3.

### *La gestión ambiental para la Sustentabilidad en la Cuenca del Papaloapan*

La tarea principal del sistema de gestión consiste en dirigir la aplicación de los programas de trabajo diseñados de acuerdo a las estrategias. Ello incluye la programación de actividades en función del tiempo (cronogramas), la asignación de recursos financieros (presupuesto), el manejo del personal y en general la dirección de la ejecución de acciones (Dourojeanni, 2000).

**Gráfica 5. Modelo de Sistema Básico para la Cuenca del Papaloapan**



Cabe señalar que el propósito del presente estudio no es ofrecer un lineamiento de actividades sino de estrategias y mecanismos, partiendo de los modelos construidos y los resultados en el

índice de sustentabilidad se exhiben las recomendaciones. Sin embargo, en la gráfica cinco es representado de manera simple un modelo de sistema básico para explicar el funcionamiento de la gestión ambiental en términos de la investigación.

En síntesis, la problemática acerca de la vulnerabilidad social, la iniquidad y la sobreextracción del recurso hídrico (en algunas zonas de la Cuenca) *per se* son causa de efectos como: el pobre desempeño de la sustentabilidad en la región, sin embargo dentro de esta relación causa-efecto existen una serie de componentes como las estrategias que se proponen en el presente estudio, ello producto de los resultados obtenidos en el análisis realizado.

En el esquema anterior (gráfica cinco) se pone a la comunidad científica y académica como un actor responsable en la generación y participación en las propuestas que se realicen. Cabe señalar que los resultados trazados no son panacea de la problemática que se vive en la zona de estudio; sino la puerta a modelos de corte cuantitativo que integren características adaptativas como en los modelos construidos de: programación lineal, teoría de juegos y la construcción de los índices de sustentabilidad.

Por otro lado, así como la comunidad científica y académica debe considerarse como el sector hegemónico en la generación de ideas y modelos adaptativos-constructivos, de igual forma el Estado debe garantizar la participación de la sociedad, toda vez que, la población que habita en la zona de estudio, son quienes de una u otra forma por medio de la experiencia y la interacción diaria con el medio natural, pueden exhibir propuestas y posibles soluciones.

La federación, los gobiernos estatales y las administraciones públicas de los municipios que se sitúan en la zona, necesitan generar la participación de la ciudadanía y la mediación entre las propuestas disciplinarias y aquellas con características enteramente interdisciplinarias. La puesta en marcha de estrategias no solucionan automáticamente un problema, el seguimiento y concreción de objetivos con metas plausibles son ejemplo de la adaptabilidad de la gestión ambiental y modelos propuestos dentro de esta rama.

Como se observa en la gráfica cinco, dicho seguimiento se conformará por una serie de objetivos y metas, mismas que tendrán como punto de evaluación indicadores de vulnerabilidad, niveles de extracción del recurso líquido, equidad en términos del índice de marginación y desarrollo humano; por otro lado, que un movimiento ya sea positivo o negativo sea determinado de acuerdo al desempeño del índice de sustentabilidad.

# ANEXOS

## Anexo 1

Región	Demanda por Sector				Escurrimiento Virgen Promedio
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región	
Sub-región alto	22.018327	0.040015	83.671643	105.729985	1365.530000
Sub-región Medio	26.619731	0.550822	19.669357	46.839910	29894.510000
Sub-región Bajo	63.074245	374.954163	504.483601	942.512008	13189.790000
Total por Sector	111.712303	375.545000	607.824601	1095.081903	44449.830000

*Fuente: los datos son tomados del Consejo del Sistema Veracruzano de Agua 2006.*  
*Nota: las cantidades están expresadas en millones de metros cúbicos.*

Región	Demanda por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	0.016124	0.000029	0.061274	0.077428
Sub-región Medio	0.000890	0.000018	0.000658	0.001567
Sub-región Bajo	0.004782	0.028428	0.038248	0.071458
Total por Sector	0.002513	0.008449	0.013674	0.024636

*Fuente: Cálculos realizados con los datos del Anexo I. A. de la presente investigación.*  
*Nota: las cantidades están expresadas en términos porcentuales.*

Región	Demanda por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	1.000000	0.000383	1.000000	1.000000
Sub-región Medio	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sub-región Bajo	0.255456	1.000000	0.620133	0.921302
Total por Sector	0.000000	0.268295	0.504502	0.304103

*Fuente: Cálculos realizados con los datos del Anexo I. B. de la presente investigación.*  
*Nota: las cantidades corresponden a la homogenización que se obtiene de normalizar los datos, con la fórmula de estandarización de valores (Ritveld, 1980).*

## Anexo 2

<b>Tabla 15. Anexo 2. A. Cantidad de pérdida de Agua Pro-Rateo</b>				
Región	Pérdida por sector (última fila) y relación porcentual con la extracción de agua			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	0.197098	0.000107	0.137658	0.096550
Sub-región Medio	0.238288	0.001467	0.032360	0.042773
Sub-región Bajo	0.564613	0.998427	0.829982	0.860677
Total por Sector	0.083701	0.000293	0.000217	0.084212

*Fuente: las estimaciones son realizadas a partir de las cantidades del anexo 1. A. y (Springall, 2005).*  
*Nota: las cantidades que corresponden a la cantidad de pérdida por sector y región, están expresadas en términos porcentuales, excepto los totales por sector y región, es decir, los correspondientes a la última fila. Mismos que representan cantidades en términos absolutos y en millones de metros cúbicos.*

<b>Tabla 16. Anexo 2. B. Indicador relativo de pérdida de agua</b>				
Región	Pérdida por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	0.016497	0.000000	0.000030	0.008131
Sub-región Medio	0.019945	0.000000	0.000007	0.003602
Sub-región Bajo	0.047259	0.000293	0.000180	0.072479
Total por Sector	0.993941	0.003484	0.002575	0.084212

*Fuente: estimaciones realizadas a partir del Anexo 2. A.*  
*Nota: todos los datos (excepto la última fila) están expresados en millones de metros cúbicos y representan la cantidad de pérdida por cada sector y subregión, mientras que la última fila representa una relación porcentual entre el total por sector y la sumatoria de las regiones.*

<b>Tabla 17. Anexo 2. C. Indicador de pérdida de agua normalizado</b>				
Región	Pérdida por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	0.000000	0.000000	0.132014	0.065750
Sub-región Medio	0.112077	0.001362	0.000000	0.000000
Sub-región Bajo	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
Total por Sector	1.000000	0.000917	0.000000	0.082348

*Fuente: estimaciones realizadas a partir de los datos en el anexo 2. B.*  
*Nota: los datos están normalizados con la fórmula de estandarización de valores (Ritveld, 1980)*

### Anexo 3.

<b>Tabla 18. Anexo 3. A. Cantidad de descarga de agua Pro-Rateo</b>				
Región	Descarga por sector (última fila) y relación porcentual con la extracción de agua			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	0.197098	0.000107	0.137658	0.096550
Sub-región Medio	0.238288	0.001467	0.032360	0.042773
Sub-región Bajo	0.564613	0.998427	0.829982	0.860677
Total por Sector	0.108503	0.293412	0.000217	0.402132

*Fuente: las estimaciones son realizadas a partir de las cantidades del anexo 1. A. y (Springall, 2005).*  
*Nota: las cantidades que corresponden a la cantidad de descarga por sector y región, están expresadas en términos porcentuales, excepto los totales por sector y región, es decir, los correspondientes a la última fila. Mismos que representan cantidades en términos absolutos y en millones de metros cúbicos.*

<b>Tabla 19. Anexo 3. B. Indicador relativo de descarga de agua</b>				
Región	Descarga por sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	0.0213858	0.0000313	0.0000298	0.0388258
Sub-región Medio	0.0258550	0.0004304	0.0000070	0.0172004
Sub-región Bajo	0.0612622	0.2929504	0.0001800	0.3461057
Total por Sector	0.2698195	0.7296413	0.0005392	0.4021318

*Fuente: estimaciones realizadas a partir del Anexo 3. A.*  
*Nota: todos los datos (excepto la última fila) están expresados en millones de metros cúbicos y representan la cantidad de pérdida por cada sector y subregión, mientras que la última fila representa una relación porcentual entre el total por sector y la sumatoria de las regiones.*

<b>Tabla 20. Anexo 3. C. Indicador de descarga de agua normalizado</b>				
Región	Descarga por sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	0.000000	0.000000	0.132014	0.065750
Sub-región Medio	0.112077	0.001362	0.000000	0.000000
Sub-región Bajo	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
Total por Sector	0.369331	1.000000	0.000000	0.550804

*Fuente: estimaciones realizadas a partir de los datos en el anexo 3. B.*  
*Nota: los datos están normalizados con la fórmula de estandarización de valores (Ritveld, 1980)*

## Anexo 4

<b>Tabla 21. Anexo 4. A. Sumatoria del Subíndice de Presión</b>				
Región	Demanda por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	1.000000	0.000383	1.264028	1.131499
Sub-región Medio	0.224153	0.002725	0.000000	0.000000
Sub-región Bajo	2.255456	3.000000	2.620133	2.921302
Total por Sector	1.369331	1.269212	0.504502	0.937255

*Fuente: los datos corresponden a la sumatoria de las tablas 14, 17 y 20.*

<b>Tabla 22. Anexo 4. B. Subíndice de Presión Normalizado</b>				
Región	Demanda por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	0.381946	0.000000	0.482429	0.387327
Sub-región Medio	0.000000	0.000781	0.000000	0.000000
Sub-región Bajo	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
Total por Sector	1.000000	0.884232	0.000000	0.500391

*Fuente: las estimaciones son realizadas a partir de los datos en la tabla 21.*  
*Nota: los datos están expresados de forma homogénea, corresponden a la estandarización del valor (Ritveld, 1980).*

<b>Tabla 23. Anexo 4. C. Subíndice de Presión por Clases</b>				
Región	Demanda por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	Bajo	Muy Bajo	Medio	Bajo
Sub-región Medio	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Sub-región Bajo	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
Total por Sector	Muy alto	Muy alto	Muy Bajo	Medio

*Fuente: la clasificación se realiza con base a los datos de la tabla 22.*  
*Nota: las clases se determinan sobre el siguiente razonamiento: muy bajo ( $0 \geq x \leq .2$ ), bajo ( $.2 > x \leq .41$ ), medio ( $.41 > x \leq .61$ ), alto ( $.61 > x \leq .81$ ) y muy alto ( $.81 > x \leq 1$ ).*

## Anexo 5

<b>Tabla 24. Anexo 5. A. Componentes del subíndice Estado</b>		
Región	Escurrimiento Promedio Virgen	Área Hidrológica de la Cuenca Km <sup>2</sup>
Sub-región alto	1365.530000	11088.000000
Sub-región Medio	29894.510000	18379.000000
Sub-región Bajo	13189.790000	16324.000000
Total Cuenca Sector	44449.830000	45790.880000

*Fuente: los datos tomados del Consejo del Sistema Veracruzano de Agua (CSVA, 2006).*  
*Nota: el escurrimiento virgen promedio está expresado en millones de metros cúbicos*

<b>Tabla 25. Anexo 5. B. Subíndice de Estado</b>			
Región	Subíndice de Estado	Subíndice Normalizado de Estado	Clases
Sub-región alto	0.123154	0.0000	Muy Bajo
Sub-región Medio	1.626558	1.0000	Muy alto
Sub-región Bajo	0.808000	0.4555	Medio
Total Cuenca	0.970714	0.5638	Medio

*Fuente: estimaciones realizadas a partir de los datos del anexo 5. A.*  
*Nota: el subíndice de estado se obtiene dividiendo el escurrimiento virgen promedio entre el área hidrológica de la cuenca y por último, se normaliza con la finalidad de homogenizar los valores; se aplica la fórmula de estandarización de valores (Ritveld, 1980). Por otro lado, las clases se determinan sobre el siguiente razonamiento: muy bajo ( $0 \geq x \leq .2$ ), bajo ( $.2 > x \leq .41$ ), medio ( $.41 > x \leq .61$ ), alto ( $.61 > x \leq .81$ ) y muy alto ( $.81 > x \leq 1$ ).*

## Anexo 6

<b>Tabla 26. Anexo 6. A. Indicadores de Equidad</b>		
Región	Marginación	Vulnerabilidad social
Sub-región alto	0.338337	0.190000
Sub-región Medio	1.154961	0.390000
Sub-región Bajo	0.086003	0.990000
Total Cuenca	0.526433	0.523333

*Fuente: los datos del indicador de marginación son tomados del índice de marginación (CONAPO, 2005), la vulnerabilidad social se toma del Consejo del Sistema Veracruzano del Agua (CSVA, 2006).*

*Nota: la vulnerabilidad social se determinó a partir de la clasificación de riesgo que hace por cada región de la cuenca del papaloapan, cabe aclarar que dicha clasificación la realiza de acuerdo a la exposición que tiene la población de sufrir daños producto de los fenómenos naturales de precipitación pluvial. De ahí que, una exposición muy baja ( $x = .19$ ), baja ( $x = .39$ ) y muy alta ( $x = .99$ ).*

<b>Tabla 27. Anexo 6. B. Subíndice de Equidad</b>					
Región	Indicador de Marginación Normalizado	Indicador de Vulnerabilidad Normalizado	Sumatoria del subíndice de Equidad	Subíndice de Equidad Normalizado	Subíndice de equidad por Clase
Sub-región alto	0.7639	1.0000	1.7639	1.0000	Muy alto
Sub-región Medio	0.0000	0.7500	0.7500	0.0000	Muy Bajo
Sub-región Bajo	1.0000	0.0000	1.0000	0.2466	Bajo
Total Cuenca	0.5880	0.5833	1.1713	0.4155	Medio

*Fuente: las estimaciones fueron realizadas a partir de los datos del anexo 6. A.*

*Nota: se aplica la estandarización del valor (Ritveld, 1980). Las clases se determinan sobre el siguiente razonamiento: muy bajo ( $0 \geq x \leq .2$ ), bajo ( $.2 > x \leq .41$ ), medio ( $.41 > x \leq .61$ ), alto ( $.61 > x \leq .81$ ) y muy alto ( $.81 > x \leq 1$ ).*

## Anexo 7

<b>Tabla 28. Anexo 7. A. Sumatoria del Índice de Sustentabilidad actual</b>				
Región	Sustentabilidad por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	1.381946	1.000000	1.482429	1.387327
Sub-región Medio	1.000000	1.000781	1.000000	1.000000
Sub-región Bajo	1.702092	1.702092	1.702092	1.702092
Total por Sector	1.979281	1.863513	0.979281	1.479672

*Fuente: las estimaciones fueron realizadas a partir de los datos en las tablas: 22, 24 y 27; correspondientes a los subíndices de presión, estado y equidad, respectivamente.*

*Nota: no se ha aplicado en los datos la fórmula de estandarización del valor (Ritveld, 1980).*

<b>Tabla 29. Anexo 7. B. Índice de Sustentabilidad actual Normalizado</b>				
Región	Sustentabilidad por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	0.544010	0.000000	0.687131	0.551675
Sub-región Medio	0.000000	0.001112	0.000000	0.000000
Sub-región Bajo	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
Total por Sector	1.000000	0.884232	0.000000	0.500391

*Fuente: estimaciones realizadas a partir de los datos contenidos en la tabla 28.*

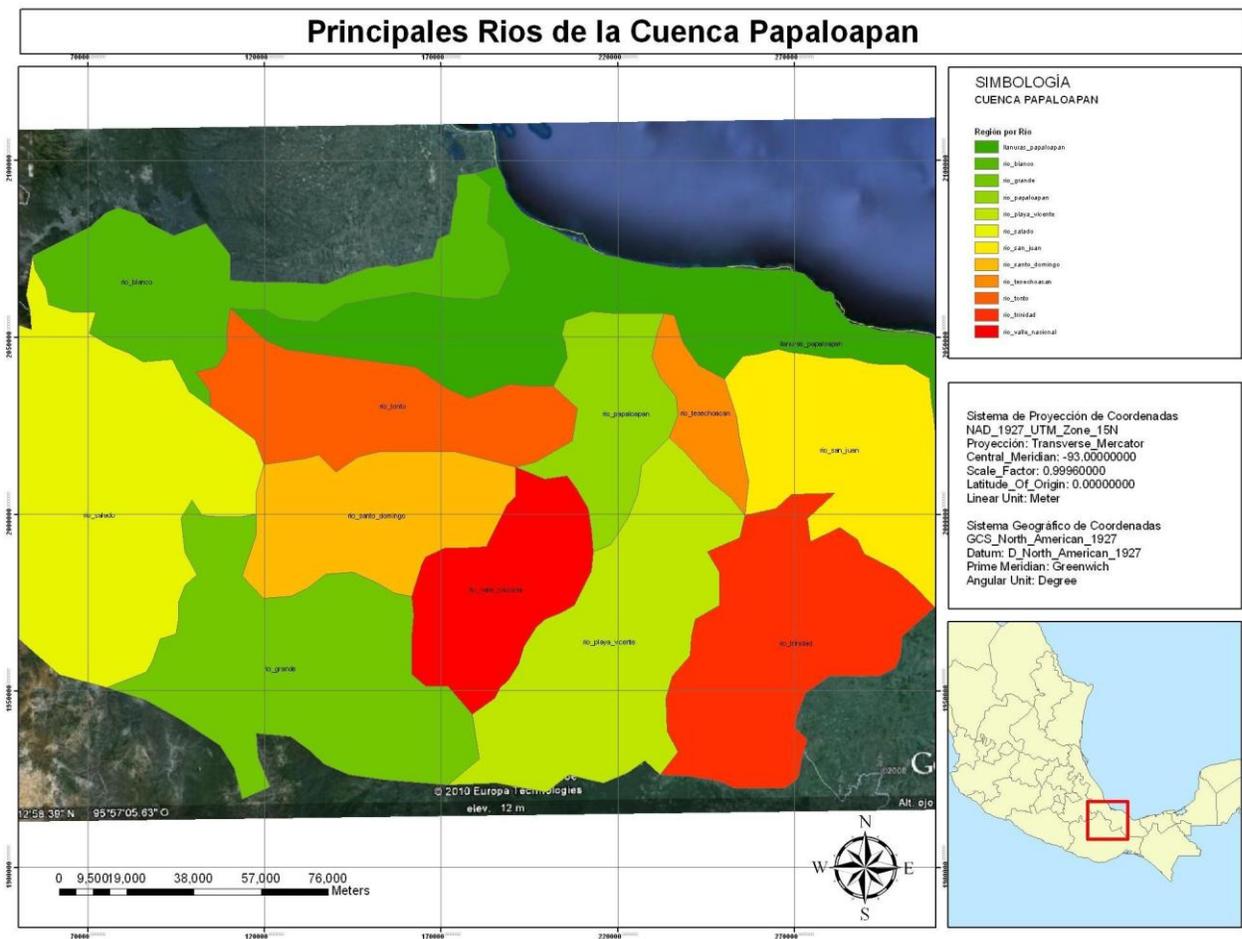
*Nota: los datos son producto de la estandarización del valor (Ritveld, 1980).*

<b>Tabla 30. Anexo 7. C. Índice de Sustentabilidad actual por Clases</b>				
Región	Clase de sustentabilidad por Sector			
	Uso Público	Industrial	Agrícola	Total Por Región
Sub-región alto	Medio	Muy Bajo	alto	Medio
Sub-región Medio	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Sub-región Bajo	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
Total por Sector	Muy alto	Muy alto	Muy Bajo	Medio

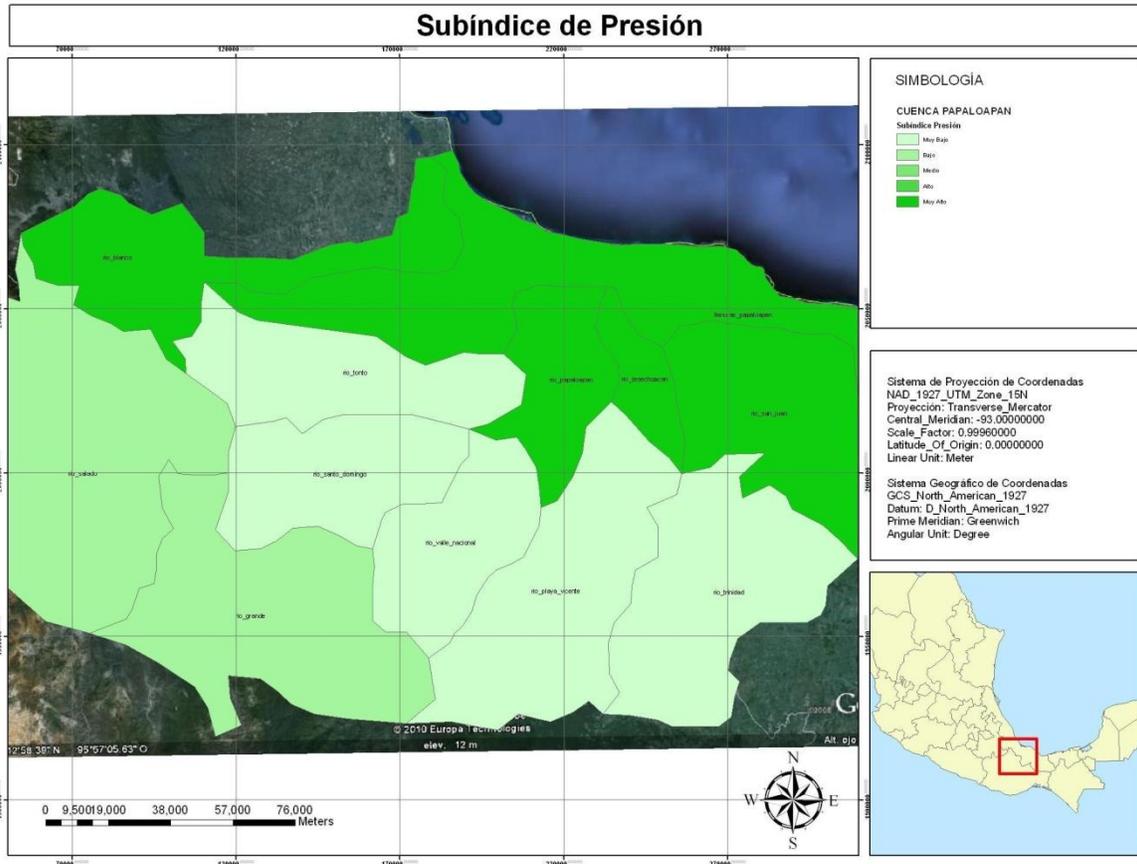
*Fuente: clasificación de los datos de la tabla 30.*

*Nota: las clases se determinan sobre el siguiente razonamiento: muy bajo ( $0 \geq x \leq .2$ ), bajo ( $.2 > x \leq .41$ ), medio ( $.41 > x \leq .61$ ), alto ( $.61 > x \leq .81$ ) y muy alto ( $.81 > x \leq 1$ ).*

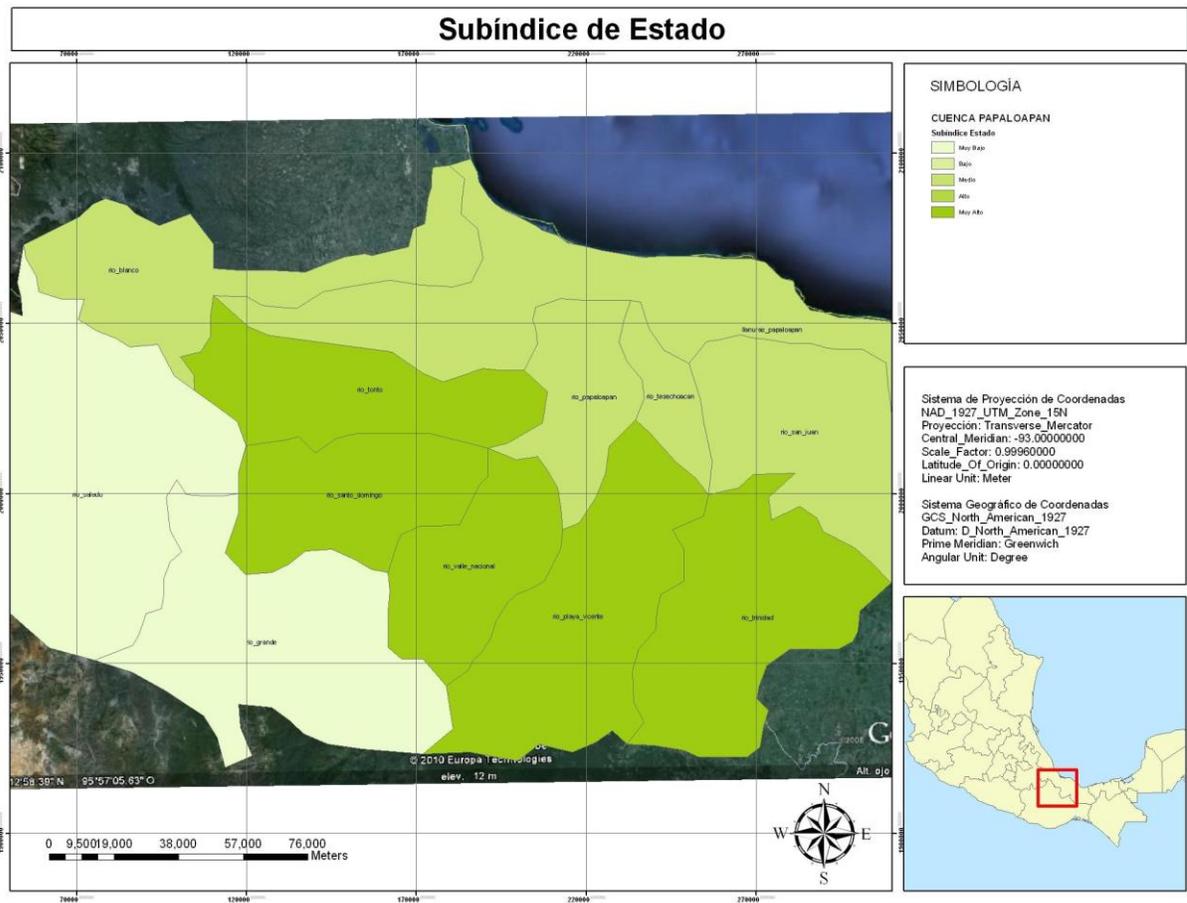
## Anexo 8



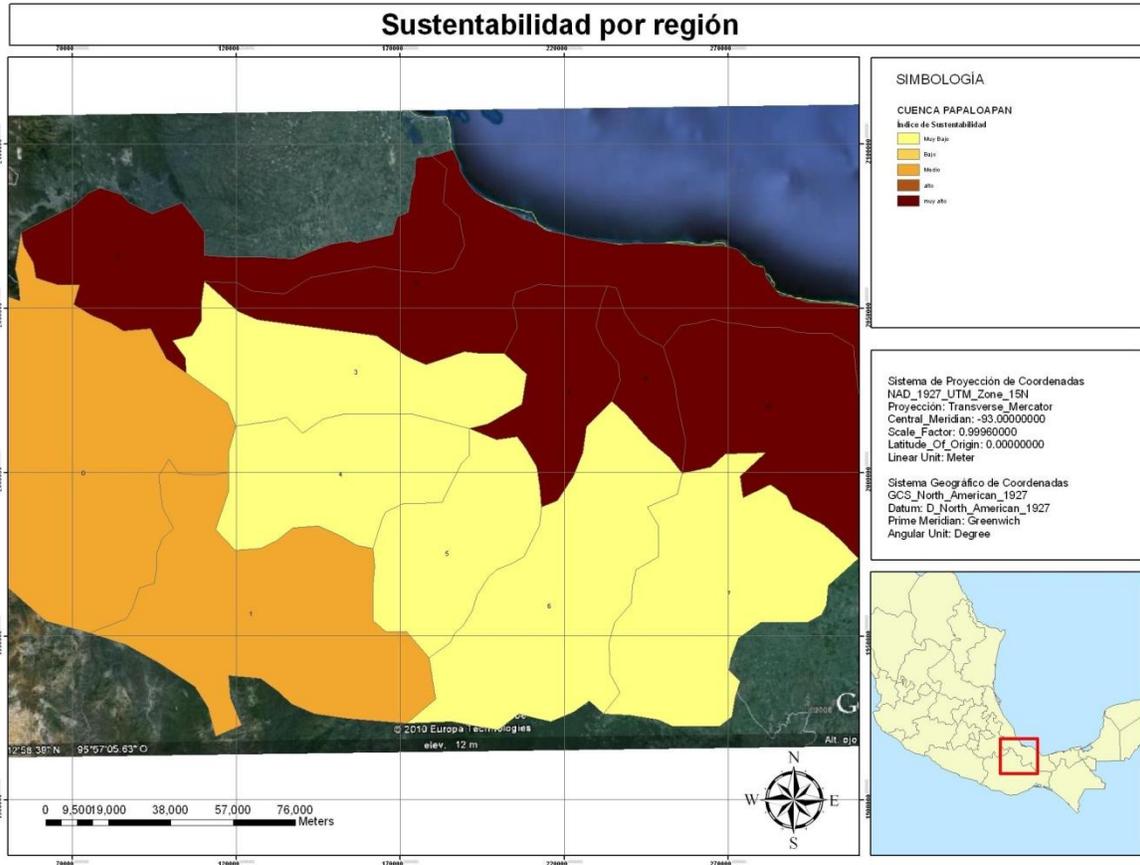
# Anexo 9



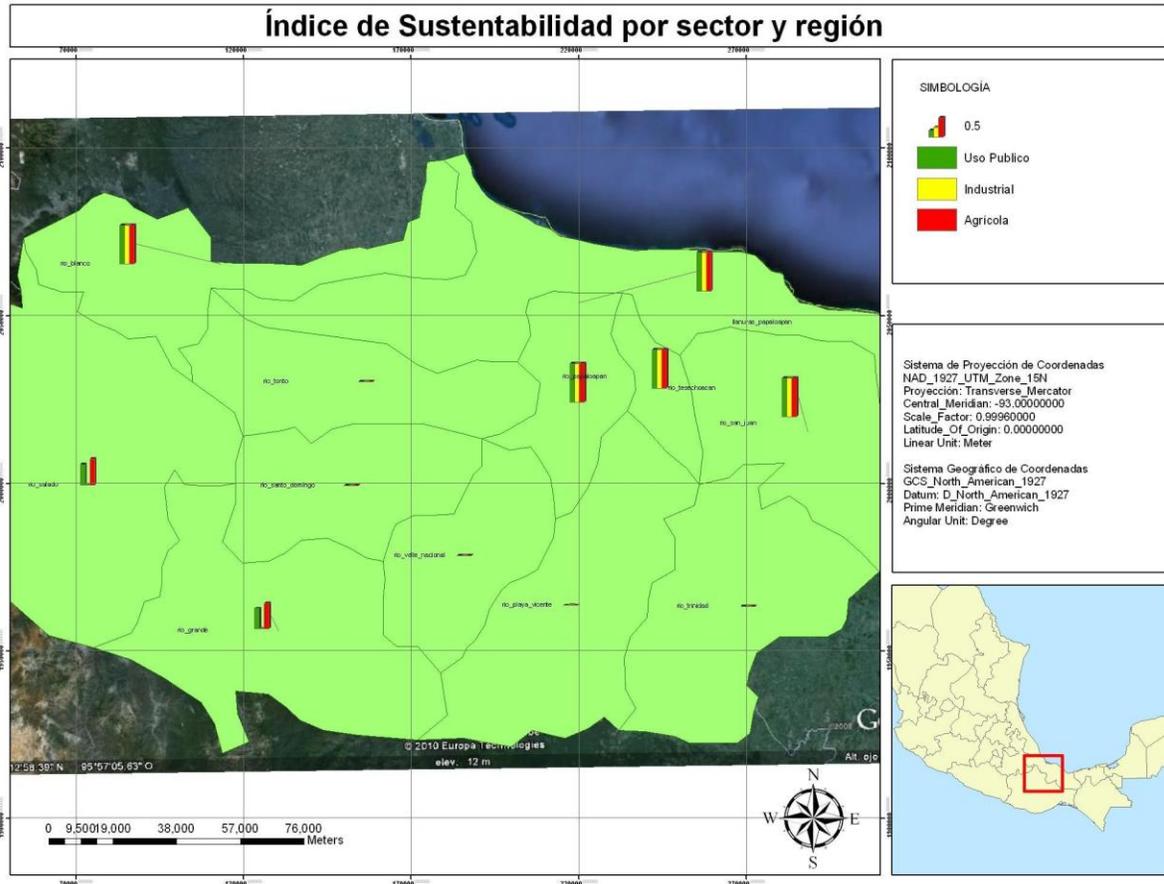
# Anexo 10



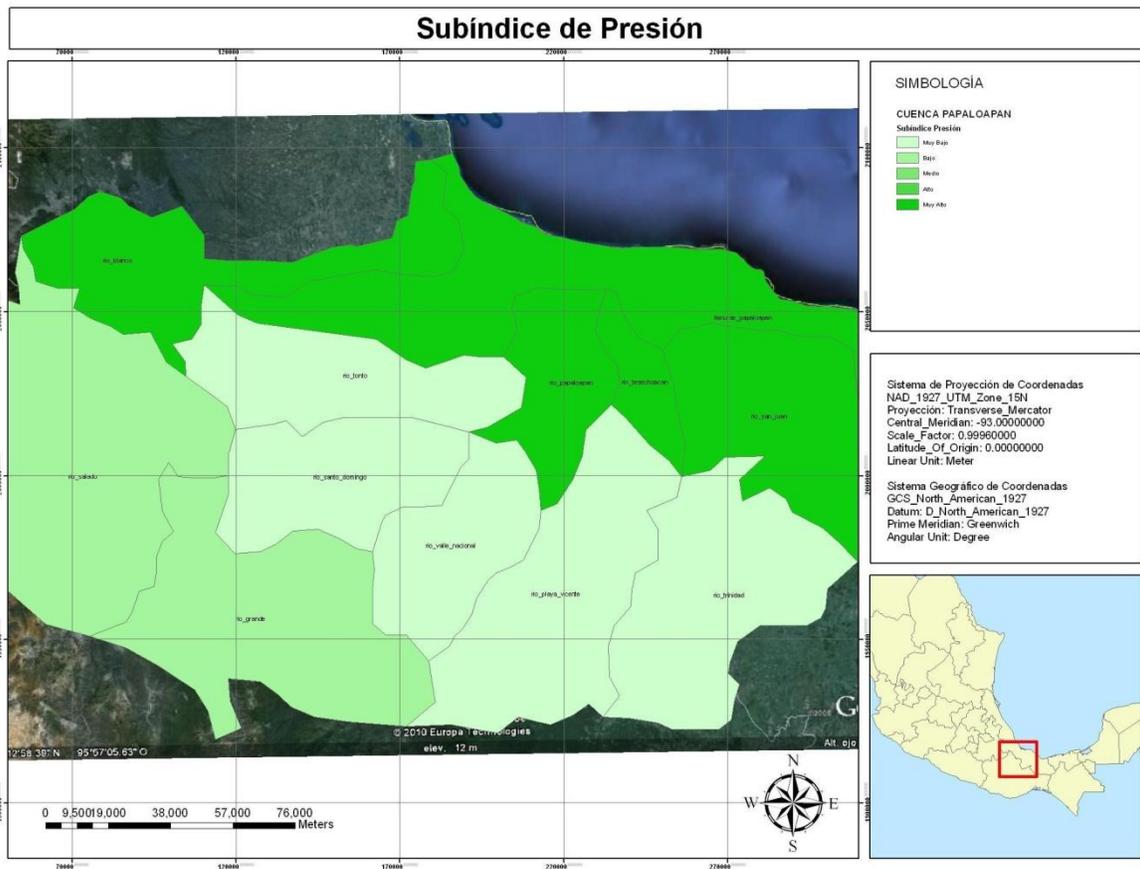
# Anexo 11



## Anexo 12



# Anexo 13



## BIBLIOGRAFÍA

- Brutland, Harlem. 1987.** *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Future Common.* Bruselas : United Nations, 1987. Vol. 1.
- CNA. 2006.** *Cuenca del Río Papalopan: Panorama General.* Veracruz : CNA, 2006. pág. 28.
- CONAPO. 2005.** *Índice de Marginación por Estado y Municipio.* Consejo Nacional de Población y Vivienda. México : Gobierno Federal, 2005.
- Consultoría y Construcción, F&C. 2008.** *Análisis Integral de los Recursos Hidráulicos en la Cuenca del Río Papalopan. Uso Público en comunidades urbanas y rurales en el Estado de Veracruz.* [ed.] F&C. Veracruz : s.n., 2008. pág. 54.
- CSVA. 2006.** *Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Cuenca del Papaloapan.* Veracruz : Gobierno del Estado de Veracruz, 2006. pág. 11.
- Dourojeanni, Axel. 2000.** *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable.* [ed.] CEPAL. Santiago de Chile : Naciones Unidas, 2000. Vol. Serie 10.
- Gibbons, Robert. 1993.** *Un primer Curso de Teoría de Juegos.* [ed.] Manuel Girona. [trad.] Paloma Calvo y Xavier Vilá. Barcelona : Antoni Bosch, editor, S.A. de C.V., 1993. Vol. 1.
- Julia Carabias y Rosalva Landa. 2005.** *Agua, Medio Ambiente y Sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México.* [ed.] Fundación Gonzalo Arronte. D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de México, 2005. Vol. 1.
- López Ramírez, Martín Alfonso. 2008.** *Diversificación Productiva de Cafetales: Un análisis de riesgo y rentabilidad mediante la aplicación de dinámica de Sistemas.* Xalapa : Universidad Veracruzana, Facultad de Economía, 2008. Vol. 1.
- Mankiw, Gregory. 2002.** *Principios de Economía.* México : McGrawHill, 2002. Vol. 2da. Edición.
- Martínez Coll, Juan Carlos. 2001.** *"Los fallos del mercado" en la economía de mercado, virtudes e inconvenientes.* 2007. s.l. : www.eumed.net, 2001.
- Marx, Karl. 1887.** *Capital "The Process of Production of Capital.* Moscow : Progress Publishers, 1887. Vol. 1.
- Oviedo, Jorge Mauricio. 2008.** *Matriz de Insumo- Producto y la Inversa de Leontief.* México : Limusa, 2008.
- Parkin, Michael. 2001.** *Microeconomía Versión para América Latina.* Mexico : Pearson Educación, 2001. Vol. Quinta Edición.
- . **2001.** *Microeconomía Versión para Latinoamérica.* [ed.] Marisa de Anta. [trad.] Gerardo Esquivel. Quinta. México : Pearson Educación, 2001.
- PNUD. 2004.** *Informe para el Desarrollo Humano en México 2004.* México, DF. : United Nations, 2004. Vol. 1.
- PNUD, ONU. 2006.** *Informe para el desarrollo Humano en México.* México, DF. : s.n., 2006. Vol. 1.
- Ricardo, David. 1959.** *Principios de Economía Política y Tributación "Teoría del Valor".* Londres : Cambridge University Press, 1959. Vol. Tomo 1.
- Springall Galindo, Rolando. 2005.** *Los grandes Temas de los Veracruzanos: Agua y Saneamiento.* Xalapa : Fundación Colosio, 2005. Vol. 1.
- Sydsaeter, Knut y Hammond, Peter. 1998.** *Matemáticas para el análisis económico.* [ed.] Pearson Educación. [trad.] José Luis Vicente Córdoba. Tercera Ilustrada. 1998. pág. 774.

**Vázquez González, César. 2008.** *Pobreza y Género en los Municipios de Veracruz, Boca del Río, Alvarado y Medellín de 1990-2005.* [ed.] Facultad de Economía. Xalapa : Universidad Veracruzana, Facultad de Economía, 2008. Vol. 1.

**Von Neumann, John y Morgenstern, Oskar. 1953.** *Theory of Games And Economic Behavior.* Third Edition. Princeton : Princeton University Press, 1953.