



Foto: El Agora de Chihuahua

INCORPORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LAS INUNDACIONES AL ÍNDICE DE POBREZA DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE JUÁREZ

Angélica Herrera Castelazo¹, Jorge A. Salas Plata Mendoza¹, Sergio Saúl Solís¹,
Gustavo Córdova Bojórquez² y Héctor Quevedo Urías¹.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es incorporar el concepto de la vulnerabilidad a las inundaciones como una variable dentro del Índice de Pobreza de Agua (IPA), desarrollado por Lawrence et al (2002). La distribución y disponibilidad de los recursos del agua varían considerablemente de región en región debido a factores geográficos, hidrológicos y socio-económicos. El IPA integra información de una serie de variables aplicadas a un país; estos parámetros incluyen el volumen de agua per cápita de los recursos superficiales y subterráneos; la capacidad del país para satisfacer sus demandas de agua agrícolas, industriales y urbanas; el potencial para comprar, manejar y tratar este recurso; la eficiencia en el uso del agua doméstica, agrícola e industrial con eficiencia y también un factor medioambiental que proporciona una medida de sustentabilidad del agua que incluye registros de calidad, estrategias de regulación medioambientales y el número de especies en peligro de extinción. El objetivo de este estudio es evaluar el IPA para el Municipio de Juárez, Chihuahua, México. En este análisis, la región es considerada como un país y los números se obtuvieron para cada uno de los parámetros mencionado que cubren esta área particular de estudio. Se evalúa cada uno de estos índices y se lleva a cabo un diagnóstico de la situación de los recursos del agua asociado al riesgo de inundaciones en la región.

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

² Colegio de la Frontera Norte

ABSTRACT

The objective of this study is to incorporate the concept of flood risk vulnerability as a variable into the Water Poverty Index (WPI), developed by Lawrence *et al* (2002). The distribution and availability of water resources vary considerably from region to region due to geographical, hydrological and socioeconomic factors. The WPI integrates information from parameters applied to a country, these parameters include: water volume per capita of surface and groundwater resources; capacity of the country to accomplish its agricultural, industrial, and urban water demands; the potential for buying, managing and treating this resource; efficiency in domestic, agricultural and industrial water use without wasting it; and also an environmental factor which provides a measure for water sustainability by including water quality records, environmental regulation strategies, and number of species in danger of extinction. The aim is to evaluate the WPI for the municipality of Juarez, Chihuahua, Mexico. In this analysis the region is considered as a country and the numbers obtained for each of the parameters mentioned are those related to this particular study area. Each index and a diagnosis of the prevailing water resources situation with regard to flood hazard in the region are evaluated.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Problema

Existen varios criterios para evaluar la sustentabilidad hidráulica de una región. Generalmente las instituciones encargadas del manejo del agua consideran que éste es adecuado. Otras fuentes, principalmente académicas, hacen una crítica de la administración del recurso y del desempeño de las instituciones. El presente artículo tiene como objetivo validar un criterio de evaluación que supere el debate anteriormente mencionado, con el fin de implementar las medidas de política correctas para la conservación y preservación de los recursos del agua en la región. Se requiere tener un buen diagnóstico de la situación prevaleciente, el cual debe incluir un índice que otorgue una calificación acerca de la disponibilidad, acceso, capacidad, uso y medioambiente relacionado con el líquido vital.

La explotación del agua

En el centro y norte de país el agua subterránea es de suma importancia, debido a que las ciudades se abastecen en su mayoría de dicha fuente. La explotación de los acuíferos en la zona semiárida trae como consecuencia el abatimiento de los niveles de agua, reducción de la descarga natural, inutilización

de obras de captación, disminución de la calidad y cantidad del agua, así como un incremento en los costos de bombeo de la misma, por lo cual es muy importante conocer las condiciones hidráulicas de una región (Porrúa y Chávez, 2004).

Sustentabilidad

Para que el agua sea un recurso sustentable, se recomienda tener un buen manejo y planeación del recurso por parte de las instituciones, el gobierno y la ciudadanía en conjunto, a fin de optimizar su gestión. Es importante crear un sistema que involucre la planeación, gestión, monitoreo y sistemas de información para mejorar su uso y aprovechamiento. La sustentabilidad del agua subterránea en las zonas semiáridas es una tarea difícil de lograr, debido a la excesiva explotación y a la recarga mínima de los acuíferos (Porrúa y Chávez, 2004).

En Chihuahua existe un Programa Hidráulico de Gran Visión que incluye un diagnóstico sobre la situación y las condiciones de aprovechamiento de los recursos hídricos de la entidad a fin de sustentar la gestión integral y apoyar la elaboración y aplicación de reglamentos de

explotación y uso del agua subterránea (Porrúa y Chávez, 2004).

Índice de Pobreza del Agua

El Índice de Pobreza del Agua (IPA), ha sido elaborado por un grupo de 31 investigadores y más de 100 profesionales en recursos hídricos, con la finalidad de considerar todos los aspectos que estén involucrados con el agua y que afectan las condiciones en las que se encuentra cada país con relación a éste recurso natural, dando a conocer donde existen las peores y mejores situaciones a nivel mundial. Actualmente el índice clasifica a 147 países, tomando en cuenta cinco parámetros importantes: recurso, acceso, capacidad, uso y ambiente.

Dentro del IPA, existe una relación entre pobreza, necesidad social, integridad ambiental, disponibilidad del agua y salud, que permite identificar la problemática en dichos aspectos con relación al agua, ayudando a tomar las medidas necesarias para remediar la situación en caso de ser necesario. Por otro lado, el IPA señala que la cantidad de los

recursos disponibles no es la que determina el nivel de pobreza en un país, sino la eficiencia en el uso de dichos recursos (Sullivan, 2002).

A continuación se detallan cada uno de los parámetros que involucra el IPA para poder cuantificar el recurso en forma general.

Recursos. Se basa en la medición de tres componentes importantes: el agua subterránea, el agua superficial y la precipitación media anual. Se debe tomar en cuenta la inestabilidad de los factores que afectan directamente la disponibilidad y la calidad del agua.

Acceso. Considera tres componentes importantes: el porcentaje de la población con acceso al agua potable, porcentaje de la población con acceso al saneamiento y el porcentaje de la tierra irrigada con relación a la tierra de cultivo. Dicho indicador pretende tomar en cuenta el agua potable y el saneamiento (tratamiento) necesarios para las zonas rurales relativamente pobres donde la disponibilidad de riego es tan indispensable como la del consumo humano y doméstico.

Capacidad. Los componentes que involucra este parámetro son los siguientes:

- PIB. Ingreso medio per capita de la población ajustado al poder adquisitivo.
- Índice de mortalidad por cada 1000 nacimientos, el cual es un indicador de salud relacionado con el acceso al agua potable.
- Índice de educación, que contempla la alfabetización de adultos y nivel básico, medio, medio superior y superior, dentro del Índice de Desarrollo Humano (HDI, por sus siglas en inglés)).

Éste parámetro toma en cuenta las variables socioeconómicas anteriores que impactan directamente en el acceso y calidad

del agua, para distribuir y ajustar la capacidad de acceso y disposición del agua potable.

Uso. Incluye tres componentes importantes los cuales se mencionan a continuación:

- Uso de agua doméstica, tomando 50 L por persona por día para países en vías de desarrollo. Puede haber países que están por debajo de esta cantidad mínima y otros que se encuentran por encima de ella.

- Uso de agua industrial per capita. La proporción del PIB proveniente de la industria está dividida por la proporción de agua usada por la misma.
- Uso de agua agrícola per capita. La proporción del PIB proveniente de la agricultura está dividida por la proporción de agua usada por la misma.

Ambiente. Este parámetro concentra varios componentes medioambientales que reflejan el manejo y provisión del agua incluido en el Índice de Sustentabilidad Medioambiental (ESI por sus siglas en inglés), considera la calidad y el estrés en que se encuentra el agua en el ambiente, así como los factores de manejo, capacidad de información y biodiversidad. Se calcula con base al promedio obtenido de los cinco elementos que lo componen los cuales se describen a continuación:

- Índice de calidad del agua, el cual considera lo siguiente:
 - Concentración de sales disueltas
 - Concentración de sulfatos [SO₄]
 - Concentración de sólidos disueltos totales [SDT]
 - Concentración de dureza total [CaCO₃]
 - Conductividad eléctrica (CE)
- Índice de estrés del agua, basado en:
 - Consumo de fertilizante por hectárea de tierra cultivable
 - Pesticida usado por hectárea de tierra cultivable
 - Contaminantes orgánicos industriales por agua (riego/dulce/ potable) disponible.
 - Porcentaje de territorio de un país bajo tensión de agua (estresada/severa).
- Índice de regulación y capacidad de administración, considerando lo siguiente:
 - Regulador ambiental de escasez
 - Regulador ambiental de innovación
 - Porcentaje del área de tierra bajo un estado de protección (Áreas Naturales Protegidas)
- Índice de capacidad de información, basado en el desarrollo de información acerca de las medidas de disponibilidad sustentable, estrategias ambientales y de planeación extraídos de los datos públicos.
- Índice de biodiversidad. Basado en el porcentaje de especies en peligro de extinción.

Índice de Vulnerabilidad del Clima (IVC)

La **Vulnerabilidad** es el nivel de exposición de un elemento o conjunto de elementos a sufrir consecuencias negativas como resultado de la ocurrencia de una inundación de origen natural o antropogénico (Stephen O. Bender, 2006). Este estudio plantea una propuesta para integrar la vulnerabilidad humana al cambio climático, debido a que está estrechamente relacionado a la pobreza. La incorporación de la vulnerabilidad permite a las instituciones

gubernamentales considerar los cambios climáticos que hacen vulnerable a una comunidad o país.

El **IVC**, está integrado por seis parámetros importantes, los cinco primeros son los determinados en el IPA (recurso, acceso, capacidad, uso, y ambiente) y el sexto es el parámetro geoespacial, que considera las características geográficas particulares de la región o país que lo hacen vulnerable ante un evento extremo. De esta manera, para ciudades en vías de desarrollo y con zonas montañosas

como en el caso del Municipio de Juárez, el parámetro geoespacial toma en cuenta los siguientes subcomponentes:

- Densidad de población
- Población que habita en viviendas informales
- Dependencia a la comida importada
- Dependencia al almacenamiento de agua
- Caracterización de la región
- Temperatura media
- Grado de degradación del suelo
- Pérdida de vegetación natural
- Infraestructura de protección
- Estado actual de la infraestructura
- Inversión por parte del estado y el municipio (enfrentar eventos)
- Organismos de salud
- Protección civil
- Sectores económicos afectados
- Organismos activos voluntarios en la asistencia humanitaria
- Organizaciones interesadas en la reducción de desastres naturales
- Identificación de cuencas propensas a sufrir daños
- Desarrollo de programas de mitigación
- Análisis hidrológicos para sistemas de alerta
- Sistemas locales de monitoreo
- Planes de emergencia ante situaciones de desastre
- Características hidrológicas de las cuencas vulnerables
- Delimitación de las áreas de inundación
- Información, cultura y nivel de la investigación en el tema

OBJETIVOS

Debido a la falta de herramientas para evaluar el impacto que ha tenido en los últimos años los recursos hídricos en la región y al manejo inapropiado de las fuentes de abastecimiento, se aplicó la metodología del IPA desarrollado por Lawrence, Meigh y Sullivan (2002) en el Municipio de Juárez, Chihuahua, con la finalidad de conocer el grado de sustentabilidad del desarrollo hidráulico de la región. Al mismo tiempo, y

conociendo los cambios climáticos actuales producto de la actividad humana, se determinó el Índice de Vulnerabilidad del Clima que integra la vulnerabilidad del municipio a las inundaciones provocadas por eventos extremos como las lluvias torrenciales. Es relevante destacar la importancia de ésta investigación para los tomadores de decisiones involucrados en la respuesta a emergencias causadas por inundaciones en la región.

METODOLOGÍA

En la obtención de cada uno de los valores de los parámetros del Índice de Pobreza del Agua, se realizaron diferentes procedimientos matemáticos, los cuales se describen a continuación.

1. Recurso. Toma en cuenta la disponibilidad de agua superficial, subterránea y la precipitación media anual que puedan ser aprovechados. El valor para el Municipio de Juárez, se determina haciendo una relación entre los recursos de agua de la región (%), la disponibilidad nacional y regional ($m^3/año$), utilizando la ecuación 1:

$$\text{Recurso Juárez} = \left[\frac{(\text{Recurso México})(\text{Disponibilidad Juárez})}{\text{Disponibilidad México}} \right] \quad (1)$$

El resultado obtenido de la relación anterior corresponde al valor X_i utilizado en la ecuación 19 para la obtención del valor final del parámetro recurso.

2. Acceso. Considera el porcentaje de la Población con Acceso al Agua Potable (PAAP), el porcentaje de Población con Acceso al Saneamiento (PAS) y el porcentaje de Tierra Irrigada (TI) con Relación a la Tierra de Cultivo. El valor se determina con la ecuación 2:

$$\text{Acceso} = \left[\frac{(\%PAAP + \%PAS + \%TI)}{3} \right] \quad (2)$$

El porcentaje de Tierra Irrigada con Relación a la Tierra de Cultivo (TI) es determinada mediante la ecuación 3:

$$\%TI = \frac{\text{Superficie regada efectiva}}{\text{Superficie disponible para cultivo}} \times 100 \quad (3)$$

El resultado obtenido corresponde al valor X_i utilizado en la ecuación 19 para la obtención del valor final del parámetro acceso.

3. Capacidad. Determina la forma de reunir, comprar, y administrar el suministro de agua con base en el Producto Interno Bruto (PIB), el Índice de Mortalidad (IMO) y el Índice de Educación (IDE). Cada uno de los datos anteriores son estandarizados a porcentajes para calcular el valor final del parámetro usando la ecuación 4:

$$\text{Capacidad} = \left[\frac{(\%PIB + \%IMO + \%IDE)}{3} \right] \quad (4)$$

El resultado obtenido corresponde al valor X_i utilizado en la ecuación 19 para la obtención del valor final del parámetro capacidad.

4. Uso. Se refiere al tipo de aplicación que se le de al agua ya sea doméstico, industrial y agrícola.

Uso doméstico (UDO). Debido a que el Municipio de Juárez excede la cantidad de 150L/hab/día para consumo (Organización de Naciones Unidas), es necesario emplear la ecuación 5 como medida de corrección.

$$UDO = \frac{X_i - 150}{X_{\max} - 150} \quad (5)$$

Donde:

UDO: Uso doméstico corregido

X_i : Uso doméstico de la región

X_{\max} : Uso doméstico del país con el valor mayor (Armenia)

Uso Industrial (UI). Se determina mediante la proporción del PIB proveniente de la industria dividido por la proporción de agua usada (Ecuación 6).

$$UI = \frac{\text{PIB Industria}}{\text{Uso Industria}} \quad (6)$$

Uso Agrícola (UA). Se determina mediante la proporción del PIB proveniente de la agricultura dividido por la proporción de agua usada (Ecuación 7).

$$UA = \frac{\text{PIB Agricultura}}{\text{Uso Agricultura}} \quad (7)$$

Una vez establecidos los valores de los tres componentes que integran el parámetro Uso, se determina su valor final, empleando la ecuación 8.

$$\text{Uso} = \left[\frac{(\text{UDO} + \text{UI} + \text{UA})}{3} \right] \quad (8)$$

El resultado obtenido corresponde al valor X_i utilizado en la ecuación 19 para la obtención del valor final del parámetro uso.

5. Ambiente. Mide la calidad, sustentabilidad y regulación del agua, así como la biodiversidad característica de la región. Éste parámetro se determina promediando los valores obtenidos para cada uno de sus componentes.

Índice de calidad del agua (ICA). Para determinar el ICA se utilizaron los datos de los análisis de 10 pozos monitoreados por la JMAS considerando diferentes parámetros fisicoquímicos (Concentración de Sales Disueltas, Concentración de Sulfatos, Concentración de Sólidos Disueltos Totales, Concentración de Dureza Total y Conductividad Eléctrica (CE).

Es importante mencionar que cuando el valor del parámetro fisicoquímico excede la norma, la calidad se determina mediante la ecuación 9.

$$\% \text{ Calidad} = \frac{\text{Valor de la norma}}{\text{Valor del parámetro}} \times 100 \quad (9)$$

En caso de que el valor no rebase la norma, la calidad del agua se considera por arriba del 95% (CNA). En el caso específico de la Conductividad Eléctrica (CE), el Reglamento Municipal de Ecología establece que el valor máximo es de 2500 $\mu\text{mhos/cm}$, de esta forma, la calidad del agua basada en la CE se determina en base a la ecuación 10.

$$\% \text{ Calidad} = \frac{\text{Valor de la CE}}{\text{Valor de la norma}} \times 100 \quad (10)$$

Finalmente, la calidad del agua se determina en base al promedio del valor de los cinco parámetros fisicoquímicos comprendidos dentro del ICA mediante la ecuación (11)

$$\text{ICA} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (11)$$

Donde: X_i : Porcentaje de calidad de cada parámetro
 n : Número de parámetros (5)

Índice de estrés del agua (IEA). Considera el consumo de fertilizante por hectárea (CF), pesticida usado por hectárea (PU), los contaminantes orgánicos industriales (COI) por unidad de agua disponible y el porcentaje de territorio de un país bajo tensión de agua (TBTA). El valor del índice es calculado usando la ecuación 12.

$$\text{IEA} = \frac{(\%CF + \%PU + \%COI + \%TBTA)}{4} \quad (12)$$

Índice de regulación y capacidad de administración (IRCA). Su determinación consiste en evaluar la regulación ambiental de escasez de agua (RAE) e innovación (RAI) y el porcentaje del área de tierra bajo un estado de protección (TBP), mediante la ecuación 13.

$$\text{IRCA} = \frac{(\%RAE + \%RAI + \%TBP)}{3} \quad (13)$$

Los porcentajes del RAE y del TBP se calculan utilizando las ecuaciones 14 y 15 respectivamente.

$$\% \text{ RAE} = \frac{\text{Disponibilidad Regional (m}^3/\text{hab - año)}}{\text{Disponibilidad Nacional (m}^3/\text{hab - año)}} \times 100 \quad (14)$$

$$\% \text{ TBP} = \frac{\text{Superficie protegida}}{\text{Superficie total del municipio}} \times 100 \quad (15)$$

Índice de capacidad de información (ICI). Se encarga de identificar la disponibilidad sustentable (DS), las estrategias ambientales (EA) y la planeación (PN), utilizando para su cálculo la ecuación 16.

$$ICI = \frac{(\%DS + \%EA + \%PN)}{3} \quad (16)$$

Índice de biodiversidad (IB). Toma en cuenta las especies en peligro de extinción (EPE) en relación al número de especies totales (NET) que se encuentran en la región, las cuales se evalúan empleando la ecuación 17.

$$IB = \frac{EPE}{NET} \times 100 \quad (17)$$

Después de haber obtenido los resultados de los cinco índices incluidos en el parámetro ambiente, se procede a calcular su valor final, mediante la ecuación 18.

$$\text{Ambiente} = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (18)$$

Donde: X_i : Valor de cada uno de los cinco índices
 n : Número de índices (5)

Una vez evaluados los parámetros del IPA, se utilizó la ecuación 19 para calcular el valor corregido de los primeros cuatro parámetros (recurso, acceso, capacidad y uso), utilizando los valores máximos y mínimos (presentados en la Tabla 1), mostrando las mejores y peores condiciones a nivel mundial con relación a cada parámetro.

$$I = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (19)$$

Donde: I = Recurso, Acceso, Capacidad y Uso
 X_i = Valor real de cada parámetro para i País (Municipio de Juárez)
 X_{\max} = Valor real de cada parámetro del país con el valor más alto
 X_{\min} = Valor real de cada parámetro del país con el valor más bajo

Tabla 1. Valores máximos y mínimos de los parámetros del IPA
Fuente: Lawrence, Meigh y Sullivan, 2002.

País	Recurso	Acceso	Capacidad	Uso
Islandia	19.9			
Kuwait	0			
Finlandia		20		
Eritrea		2.8		
Islandia			19.2	
Sierra Leone			4.3	
Guyana				14.9
Djibouti				3.5

Finalmente, para determinar el nivel de pobreza entre países o regiones, se emplea el modelo de Lawrence *et al.* 2000 para determinar el valor del IPA. Los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros (recurso, acceso, capacidad, uso y ambiente), son sumados para obtener el IPA final empleando la ecuación (20).

$$IPA = \sum_{i=1}^N w_i X_i \quad (20)$$

Donde: IPA = Índice de Pobreza del Agua

X_i = Valor corregido de cada parámetro

w_i = Peso de cada parámetro (20)

El Índice de Pobreza del agua tiene la ventaja de proporcionar de forma sencilla el estado en que se encuentra la región con relación a los recursos hídricos y así poder hacer las comparaciones correspondientes a nivel mundial.

El Índice de Vulnerabilidad del Clima

En este estudio se evaluó la vulnerabilidad del Municipio de Juárez a las inundaciones provocadas por las lluvias torrenciales presentadas en la región. Primero se elaboró una encuesta (Ver Anexo) para identificar los diferentes factores geográficos que hacen vulnerable a la región. Posteriormente la encuesta fue aplicada a 20 personas de las cuales el 40% son expertas en hidrología, el 40 % son estudiantes del Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental del Departamento de Ingeniería Civil (UACJ) y el 20% restante con autoridades encargadas de contrarrestar este tipo de desastres. Cada uno de los puntos tratados en la encuesta fue evaluada en una escala de 1 a 10, para determinar el valor de cada situación presentada en la encuesta. A continuación se calculó el promedio de las 20 calificaciones para obtener el valor de cada uno de las situaciones presentadas.

Para finalizar se realizó el cálculo del parámetro geoespacial, el cual determina el valor promedio de los componentes que lo integran, siendo el factor que nos permite evaluar de forma global la vulnerabilidad del municipio ante este tipo de fenómenos hidrometeorológicos.

$$\text{Geoespacial} = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (21)$$

Donde: X_i = Valor obtenido de cada componente
 n = Número de componentes (25)

Una vez obtenido el valor del parámetro geoespacial y determinados los cinco parámetros contenidos en el IPA (recurso, acceso, capacidad, uso, ambiente), se determina el valor del Índice de Vulnerabilidad del Clima mediante la ecuación 22:

$$\text{IVC} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i X_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (22)$$

Donde: X_i = Valor obtenido de cada parámetro
 w_i = Peso del componente

El IVC obtiene puntuaciones entre cero y cien y es determinado debido a la vulnerabilidad a situaciones extremas causadas por el cambio climático.

RESULTADOS

Aplicación del IPA en el Municipio de Juárez, Chihuahua

El valor obtenido del Índice de Pobreza del Agua para el Municipio de Juárez es de **47.99**, el cual indica una pobreza severa de agua, Sullivan, 2005). Es importante mencionar que el valor del IPA a nivel regional debe ser similar al valor del nivel nacional, si existen similitudes geográficas, físicas y climáticas en las diferentes regiones del país (Lawrence, *et al.* 2002); los datos pueden diferir de acuerdo al periodo de tiempo empleado.

En este caso, el valor obtenido para el Municipio de Juárez se encuentra por debajo del valor nacional (57.5), debido a que el municipio se localiza en una zona desértica del

país, lo que reduce en gran medida el valor del IPA en ésta región como era de suponerse. Otras causas reflejadas en el valor del IPA son la baja eficiencia en el manejo del agua, el agotamiento del acuífero, la falta de autonomía de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento y el uso excesivo del agua por parte de la población.

Los valores de cada uno de los cinco componentes del IPA se muestran en la tabla 2 y de forma grafica en la figura 3 con el propósito de entender el comportamiento de cada uno de los componentes de forma clara y sencilla, lo cual permite la comparación y análisis de los valores obtenidos.

Tabla 2. Valores obtenidos de cada parámetro del IPA

Región	Valor de los Parámetros					IPA
Municipio de Juárez	Recurso	Acceso	Capacidad	Uso	Ambiente	
	3.52	14.26	11.32	11.21	7.68	47.99

A manera de ejemplo se muestran los resultados del Índice de Pobreza del Agua con relación a la cobertura de agua potable y alcantarillado, en viviendas y en áreas para el Municipio de Juárez los cuales se presentan de forma gráfica en las Figuras 1 y 2 respectivamente.

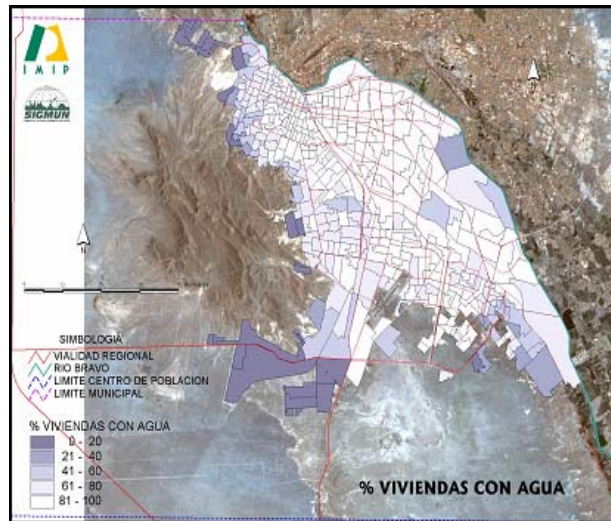


Figura 1. Cobertura de Agua Potable de la zona urbana en el Municipio de Juárez
Fuente: Elaborado por M. Pedro Cital Beltrán, IMIP

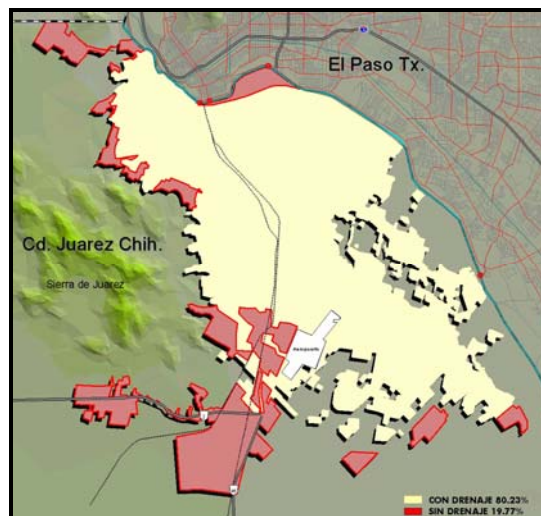


Figura 2. Cobertura de Drenaje para la zona urbana del Municipio de Juárez
Fuente: Elaborado por M. Pedro Cital Beltrán, IMIP

Los resultados muestran las diferentes situaciones de pobreza de agua dentro del Municipio de Juárez, donde el suministro de agua potable está cubierto al 98%. Por otro lado, el área urbana del Municipio presenta un rezago del servicio de alcantarillado en las zonas poniente y poniente sur, debidos principalmente a las características del terreno y a los altos costos de urbanización.

Valores generados para el IPA en el Municipio de Juárez

Con base a los datos existentes se realizó la estandarización de los mismos para poder calcular los valores de cada uno de los componentes de los cinco parámetros del IPA. En la Tabla 1 se muestran el valor de cada componente y el valor final para los cinco parámetros.

Tabla 3. Valores obtenidos de cada parámetro del IPA

Parámetro IPA	Componente	Datos	Fuente de Información	Valor IPA
Recurso	Precipitación media	518,000 m ³ /año	CNA	3.52
	Agua Superficial	74 Mm ³ /año	JMAS	
	Agua Subterránea	4,276 Mm ³ /año	JMAS	
	Población	1'313,338 hab.	INEGI	
Acceso	% Población con acceso al agua potable	98%	JMAS	14.26
	% Población con acceso al saneamiento	98%	JMAS	
	% De tierra irrigada	72%	JMAS	
		56%	CNA	
Capacidad	PIB per capita	44%	INEGI	11.32
	Índice de Mortalidad	4.5%	INEGI	
	Índice de Educación	51.40%	COLEF	
Uso	Doméstico	332 L/hab/día	JMAS	11.21
	Industrial	24'244,309m ³ /toma/mes	JMAS	
	Agrícola	48'781,676m ³ /toma/mes	CNA	
Ambiente	Í C A	86.64%	JMAS	7.68
	I E A	16.65%	CNA/JMAS	
	I R C A	31.12%	CNA/JMAS	
	I C I	50%	CNA/JMAS	
	I B	7.7%	SEMARNAT	

Los valores de cada uno de los cinco componentes del IPA pueden mostrarse en un pentagrama para entender el comportamiento de cada uno de ellos de forma clara y sencilla, lo cual permite la comparación y análisis de los valores obtenidos.

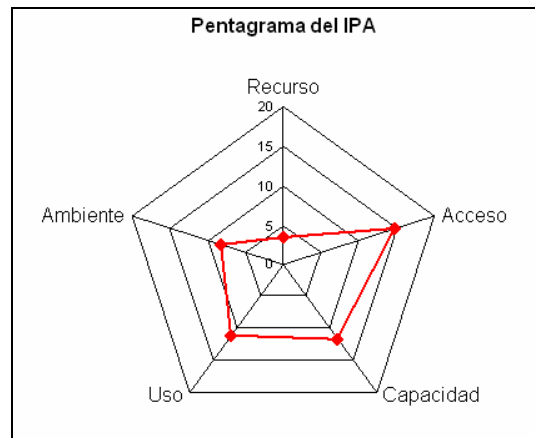


Figura 3. Resultados para cada componente del IPA

Índice de Vulnerabilidad del Clima aplicado al Municipio de Juárez

El IVC se calculó tomando como base los valores obtenidos de los parámetros que incluye el IPA, además de incluir el parámetro geoespacial, el cual determina la vulnerabilidad de la región. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros que componen el IVC.

Tabla 4. Valores generados de cada parámetro del IVC

Región	Valor de los Parámetros						
Municipio de Juárez	Recurso	Acceso	Capacidad	Uso	Ambiente	Geoespacial	IVC
	17.62	71.28	56.58	56.05	38.40	65.12	50.85

De la misma forma que en el IPA, los valores de cada uno de los seis componentes del Índice de Vulnerabilidad del Clima (IVC) pueden mostrarse de forma gráfica en un hexagrama el cual permite entender el comportamiento de cada uno de ellos lo cual ayuda a la comparación y análisis de los valores obtenidos entre diferentes países y regiones.

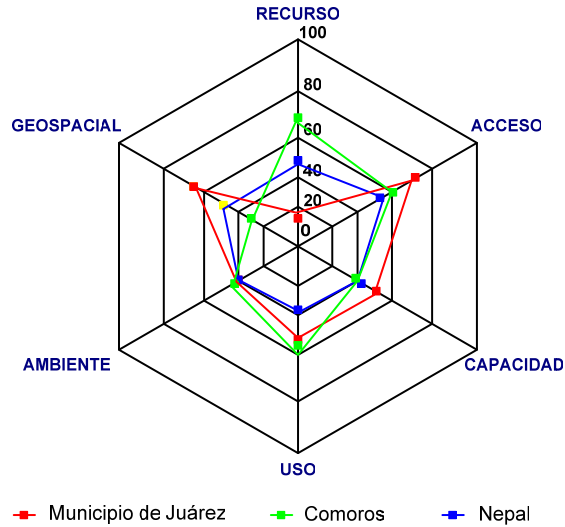


Figura 4. Hexagrama mostrando los resultados derivados del IVC

El IVC se estima tomando como base los valores obtenidos de los parámetros que incluye el IPA, además de incluir el parámetro geoespacial, el cual determina que tan vulnerable es la región. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros que componen el IVC.

Tabla 5. Valores obtenidos de cada parámetro del IVC

Componente	Valor (%)
Densidad de población	66%
Población que habita en viviendas informales	64%
Dependencia a la comida importada	36%
Dependencia al almacenamiento de agua	41%
Caracterización geomorfológica, geográfica y topográfica de la región	65%
Temperatura	56%
Grado de degradación del suelo	71%
Pérdida de vegetación natural	70%
Infraestructura social y económica	56%
Estado actual de la infraestructura	85%
Inversión por parte del estado y del municipio	68%
Organismos de salud disponibles en caso de desastres	60%
Protección Civil	68%
Sectores económicos afectados	0.57%
Organismos activos voluntarios en la asistencia humana	44%
Organizaciones interesadas en el desarrollo sostenible y la reducción de desastres naturales	57%
Identificación de cuencas propensas a sufrir daños	81%
Programas de mitigación	72%
Análisis hidrológicos para sistemas de alerta	73%
Sistemas locales de monitoreo (estaciones meteorológicas) planes de contingencia, etc.	68%
Delimitación de las áreas de inundación	82%

El IVC obtenido es **50.85** encontrándose en la clasificación de vulnerabilidad media alta y entre países como Nepal con 46.3 y Comoros 51.2. El IVC muestra la vulnerabilidad de las personas ante situaciones extremas como las lluvias torrenciales ocurridas en el 2006 en el Municipio de Juárez, causadas por el cambio climático como consecuencia del calentamiento global. Los daños producidos por las inundaciones tienen considerables costos sociales, económicos y ambientales que son difíciles de eliminar, pero es posible minimizarlos mediante programas, proyectos y actividades que estén dirigidos a reducir la vulnerabilidad de la infraestructura económica y social.

CONCLUSIONES

La sustentabilidad del agua subterránea en las zonas semiáridas es una tarea difícil de lograr, debido a la excesiva explotación del recurso y a la recarga mínima de los acuíferos. Se recomienda mejorar la eficiencia en el uso, la reutilización del agua y el tratamiento terciario del agua residual (previo) para poder inyectarla al acuífero, lo cual resulta más factible que otras opciones como la desalinización, la transferencia de agua entre cuencas y otras alternativas que implican demasiados costos.

El Índice de Pobreza del Agua obtenido de 57.99 refleja la precaria situación del Municipio de Juárez en materia de agua como resultado de la mala administración del recurso, el uso excesivo del agua en los tres sectores (doméstico, industrial y agrícola), la falta de autonomía de la JMAS y de estrategias de reutilización de agua y la relativa escasez de recursos hídricos de la región lo que disminuye el valor del índice con el IPA a nivel nacional (57.5).

Debido al crecimiento industrial, se ha generado una fuerte inmigración que se ve reflejada en el crecimiento poblacional del 4.35% anual, lo cual ha incrementado la demanda de agua para diversos sectores. Como consecuencia de lo anterior y a las deficiencias en la planeación y administración del recurso, el Bolsón del Hueco está en vías

de agotarse (alrededor del año 2030). Aunado al agotamiento del acuífero, se presenta una distribución desfavorable del agua superficial del Río Bravo debido a la inequidad del reparto de dichas aguas entre México y EU.

Es importante hacer énfasis en establecer planes y políticas de conservación y cuidado del líquido vital en la región que mejoren la situación actual. De este modo, efectuando las acciones correspondientes en el cuidado del agua, se pueden mejorar los valores de los parámetros Acceso, Uso, Capacidad y Ambiente, ayudando a optimizar el valor del Índice de Pobreza del Agua considerablemente.

Por otro lado, el Índice de Vulnerabilidad del Clima de 50.85 es uno de los más altos a nivel mundial, lo que hace del municipio una región vulnerable a las inundaciones. Finalmente el Índice del Vulnerabilidad del Clima como complemento de IPA, proporciona los elementos necesarios para generar modelos que estimen la vulnerabilidad de la región en situaciones futuras. El Índice de Vulnerabilidad del Clima es una herramienta importante que ayuda a la construcción de planes eficientes por parte de las instituciones gubernamentales correspondientes con ayuda de las académicas para resguardar a la población contra desastres ocasionados por inundaciones, sequías y

escasez de agua, etc., como resultado de fenómenos meteorológicos inesperados. La presencia de estos fenómenos minimizan la

producción industrial y agrícola, trayendo como consecuencia la disminución del valor del Índice de Pobreza del Agua.

RECOMENDACIONES

La situación de pobreza de agua puede mejorar en algunos aspectos, optimizando el uso eficiente y la administración del agua, disminuyendo la cantidad diaria de consumo, reciclando y reutilizando el agua de las plantas de tratamiento para diversos usos sanitarios en industrias, comercios, escuelas, etc., y mejorando el valor de los componentes ambiental y uso.

Sin embargo, lo más importante es la planeación del desarrollo económico del municipio ya que el crecimiento expansivo que se le ha impuesto a la ciudad, no corresponde con la capacidad de carga del ecosistema en el que se ubica el Municipio de Juárez. De esta forma el valor del índice de Pobreza del Agua puede empeorar o mejorar empleando nuevas políticas sobre el cuidado y administración del recurso.

Es importante dar a conocer a las autoridades que administran el agua la situación prevaleciente de la misma dentro del municipio a fin de sensibilizar a la ciudadanía en general y lograr el cuidado del líquido vital, elevando el valor del componente capacidad.

Asimismo, es de suma importancia mejorar las condiciones de calidad del agua y la administración del recurso por parte de las instituciones encargadas del manejo del mismo, así como hacer pública la información generada con relación a la regulación, administración, planeación y estrategias sustentables relacionadas con el cuidado de los

recursos naturales y con el líquido vital para ayudar a disminuir la situación de pobreza.

Con relación al Índice de Vulnerabilidad del Clima se puede realizar la valoración de los datos, haciendo una evaluación física para corroborar con resultados obtenidos de la encuesta y, de esta manera, obtener un valor más certero acerca de la vulnerabilidad.

Debido a que las inundaciones son un peligro latente en la región y traen consigo un impacto social y económico, es necesaria la creación de programas por parte de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en conjunto con las autoridades gubernamentales, Protección Civil y la Comisión Nacional del Agua y la población afectada para retomar los cauces naturales de los arroyos aguas abajo de los diques, evitando así las inundaciones provocadas por los eventos hidrometeorológicos extremos. Además, es necesario desarrollar obras de captación hidráulicas con capacidades mayores de acuerdo a los periodos de retorno estimados.

Es de suma importancia detectar las zonas vulnerables a las inundaciones, para evitar asentamientos humanos en las áreas de riesgo, así como la difusión de dichas zonas ante la población por parte de Protección Civil, para la reubicación de las personas que se encuentran asentadas en zonas de inundación y poder evitar la pérdida de vidas humanas.

REFERENCIAS

- Bender, Stephen O. 2006. *Análisis de Riesgo y Vulnerabilidad*. Oficina de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Organización de los Estados Americanos. Disponible en: <http://www.oas.org/nhp/informacion.html> (Consulta: Marzo 28, 2006). Washington D. C.
- Boston University. 2006. *Show Indicator Information*. Disponible en: <http://www.ShowIndicatorInformation.htm> (Consulta: Agosto 14, 2006)
- Brugués, R. A. 2005. Relaciones económicas y niveles de bienestar en Ciudad Juárez: un enfoque de género. En Ernesto Cervera (Coordinador) *Diagnóstico Geo-Socioeconómico de Ciudad Juárez y su Sociedad*. Colegio de la Frontera Norte e Instituto Nacional de las Mujeres. Ciudad. Juárez, Chih. México. Capítulo IV. Pág. 66–111.
- Castillo, C. et. al. 2001. *Medición de Desigualdades en Salud: Coeficiente de Gini e Índice de Concentración*. Boletín Epidemiológico, Vol 22. No.1. Disponible en: http://www.paho.org/spanish/sha/be_v22n1_gini.htm (Consulta: Marzo 30, 2007)
- CEH. Centre for Ecology and Hydrology. *Water Poverty Index*. Disponible en: <http://www.CentreforEcologyandHydrologywaterPovertyIndex.htm> (Consulta: Agosto 14, 2006)
- Cervera, G. L. 2005. Atlas de Ciudad Juárez. En Ernesto Cervera (Coordinador) *Diagnóstico Geo-Socioeconómico de Ciudad Juárez y su Sociedad*. Colegio de la Frontera Norte e Instituto Nacional de las Mujeres. Ciudad. Juárez, Chih. México. Capítulo X. Pág. 315–345.
- Cital, B. P. 2005. Desarrollo urbano. En Ernesto Cervera (Coordinador) *Diagnóstico Geo-Socioeconómico de Ciudad Juárez y su Sociedad*. Colegio de la Frontera Norte e Instituto Nacional de las Mujeres. Ciudad. Juárez, Chih. México. Capítulo II. Pág. 12–37.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. *Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Región VI Río Bravo*. CNA. México, 2003. Pág. 6–65.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. Antecedentes. Contenido en: *Programa Hidráulico de Gran Visión del Estado de Chihuahua 1996-2020*. CNA. México. Tomo I. Capítulo 2. Pág. 2–27.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. Diagnóstico. Contenido en: *Programa Hidráulico de Gran Visión del Estado de Chihuahua 1996-2020*. CNA. México. Tomo I y II. Capítulo 5. Pág. 2–117.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. Marco de Planeación. Contenido en: *Programa Hidráulico de Gran Visión del Estado de Chihuahua 1996-2020*. CNA. México. Tomo I. Capítulo 3. Pág. 2–56.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. Prognosis. Contenido en: *Programa Hidráulico de Gran Visión del Estado de Chihuahua 1996-2020*. CNA. México. Tomo II. Capítulo 6. Pág. 2–40.
- Comisión Nacional del Agua. 2003. Programa Hidráulico. Contenido en: *Programa Hidráulico de Gran Visión del Estado de Chihuahua 1996-2020*. CNA. México. Tomo II. Capítulo 8. Pág. 2–128.
- CONAPO. 2002. *La distribución territorial de la población y los flujos migratorios internos: el sistema nacional de ciudades*. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/prensa/carpetas/carpetas2002_13.htm. (Consulta: Enero 25, 2008)
- CONDUSEF. 2002. *Comunicado 43. Crecimiento Poblacional*. Disponible en: www.condusef.gob.mx/sala_de_prensa/comunicados_2002/comunicado_43.html (Consulta: Enero 25, 2008)
- Coronado, R. J. 2005. Diagnóstico de salud en Ciudad Juárez. En Ernesto Cervera (Coordinador) *Diagnóstico Geo-Socioeconómico de Ciudad Juárez y su Sociedad*. Colegio de la Frontera Norte e Instituto Nacional de las Mujeres. Ciudad. Juárez, Chih. México. Capítulo VI. Pág. 142–190.
- Creel, B., Crooks, L., Hamlyn, E., Ibáñez, O., Mathis, M., Michelsen, A., Rincón, C., Schmandt, J., Siqueiros, L., Solís, S. and Valencia, N. 2001. *Water Planning in the Paso del Norte: Toward Regional Coordination*. Paso del Norte Water Task Force. El Paso, Tx. USA.
- De la Maza, R. y Marcó del Pont, R. 2003. *Áreas Naturales Protegidas de México con Decretos Federales*. SEMARNAT. INE. S y G Editores. México.
- Esty, D., Marc, L., Tanja, S., and Alexander S. 2005. *2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship*. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy. Yale University. Disponible en: www.yale.edu/esi (Consulta: Agosto 12, 2006)
- Gatica, A. y Díaz, M. R. 2000. *El complejo Médanos de Samalayuca, Sierra Presidio y Sierra Samalayuca, Chih., una propuesta como Área Natural Protegida*. UACJ. Disponible en: <http://www.uacj.mx/Publicaciones/sf/Vol3num2/Area.html> (Consulta: Febrero 5, 2006)
- Granados O. A. y Kennedy J. 2003. *Sistema de Información Geográfica para la Planeación del Agua en la Región Paso del Norte*. Fundación William and Flora Hewlett. Disco compacto preparado por Paso del Norte Water Task Force.
- Find Articles. 2003. *Water Poverty Index yields surprising results Environment*. Disponible en: <http://www.WaterPovertyIndexyieldsurprisingresultsEnvironment-FindArticles.htm> (Consulta: Agosto 14, 2006)
- H. Cámara de Diputados LIX Legislatura, Porrúa, M. A., Chávez R. A., 2004. Hacia una gestión integral del agua en México: retos y alternativas. *La explotación racional de las aguas subterráneas: comentarios sobre la situación actual*. Pág. 159-199. México, D. F.
- Heidecke, C. (2006). *Development and evaluation of a regional water poverty index for Benin*. International Food Policy Research Institute. Disponible en: <http://www.ifpri.org/divs/eptd/dp/papers/eptdp145.pdf> (Consulta: Enero 27, 2007)
- IMTA, SAGARPA. 2005. *Estudio Hidrogeológico Regional de los Acuíferos del Noroeste del Estado de Chihuahua*. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/subagri/info/sust/suelo/acui_chih.pdf (Consulta: Febrero 12, 2007)
- INE. 2005. *Situación geográfica y aspectos socioeconómicos del Municipio de Juárez*. Disponible: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/233/cap3.html> (Consulta: Enero 25, 2008)
- INEGI. 2005. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000. II Conteo de Población y Vivienda 2005*. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx> (Consulta: Enero 25, 2008)
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2005. *Censo 2005*. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx> (Consulta: Marzo 7, 2007)
- Junta Municipal de Agua y Saneamiento. 2000. *Plan Maestro para el Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Juárez, Chih.* JMÁS. Actualización. Chihuahua, México.
- Lawrence, Peter, Jeremy Meigh and Caroline Sullivan. 2002. *The Water Poverty Index: International Comparisons*. Keele University, and Centre for Ecology & Hydrology. Disponible en: <http://www.nwl.ac.uk/research/WPI> (Consulta: Agosto 14, 2006)
- Meigh, J. and Sullivan, C. (2003a) *Considering the Water Poverty Index in the context of poverty alleviation*. Centre for Ecology & Hydrology. Disponible en: <http://www.watermonitoringalliance.net/index.php?id=522> (Consulta: Enero 27, 2007)
- Meigh, J. and Sullivan, C. (2003b) *Using the Water Poverty Index to monitor progress in the water sector*. Centre for Ecology & Hydrology. Disponible en: http://www.ceh.ac.uk/sections/hrr/documents/WPI4pageleaflet_000.pdf (Consulta: Enero 27, 2007)

- Meigh, J. and Sullivan, C., et al. (2003) *The Water Poverty Index: Development and application at the community scale*. Disponible en: <http://www.soas.ac.uk/waterissues/occasionalpapers/OCC65.pdf> (Consulta: Enero 27, 2006)
- Montero, M. T. 2005. Estado actual de la educación en Ciudad Juárez. En Ernesto Cervera (Coordinador) *Diagnóstico Geo-Socioeconómico de Ciudad Juárez y su Sociedad*. Colegio de la Frontera Norte e Instituto Nacional de las Mujeres. Ciudad. Juárez, Chih. México. Capítulo VIII. Pág. 229–269.
- Nava, N. M. 2006. CNA. *Características del Distrito de Riego 009 Valle de Juárez*. Conferencia presentada dentro del Seminario del Agua. Enero – Agosto 2006. CAEA – UACJ. Ciudad. Juárez, Chih. México.
- Rubio, S. R. 2005. Características Socio-Demográficas. En Ernesto Cervera (Coordinador) *Diagnóstico Geo-Socioeconómico de Ciudad Juárez y su Sociedad*. Colegio de la Frontera Norte e Instituto Nacional de las Mujeres. Ciudad. Juárez, Chih. México. Capítulo III. Pág. 38–65.
- Salas Plata, J. A. Compilador. 2005. *Nuevos Estudios sobre Agua y Medio Ambiente en Ciudad Juárez*. Vol. II. UACJ. Cd. Juárez, Chih. México.
- Salas Plata, J. A. Compilador. 2006. *Nuevos Estudios sobre Agua y Medio Ambiente en Ciudad Juárez*. Vol. III. UACJ. Cd. Juárez, Chih. México.
- Salas Plata, J. A. 2006. *Problemática del Agua y Crecimiento Urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua*. CULCyT. Año 3. No. 14-15. Cd. Juárez, Chih. México.
- SEMARNAT. 2005. *Disponibilidad de Agua en el Estado de Chihuahua*. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx> (Consulta: Marzo 7, 2007)
- Secretaría del 3er. Foro Mundial del Agua. 2002. *Nuevo Índice de Pobreza del Agua*. Disponible en: http://www.ucv.ve/cenamb/articulos/indice_agua.html (Consulta: Agosto 14, 2006)
- Sullivan, C. (2002). *Calculating a Water Poverty Index*. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/college> (Consulta: Enero 29, 2007)
- Sullivan, C. (2002). Centre for Ecology and Hydrology. *Criteria for the Water Poverty Index*. Disponible en: <http://www.CentreforEcologyandHydrologywaterPovertyIndex.htm> (Consulta: Agosto 14, 2006)
- Sullivan, C. (2005). *Herramientas para el monitoreo en el manejo del agua: Los ejemplos de El índice de Pobreza de Agua y el índice de Vulnerabilidad del Clima*. Centre for Ecology & Hydrology. Disponible en: www.geog.ox.ac.uk/~mnew/teaching/.../Sullivan_Water_Poverty_Index.pdf (Consulta: Enero 27, 2007)



Culcyt en Internet

ANEXO

Encuesta sobre la Vulnerabilidad del Municipio de Juárez ante una situación extrema causada por efectos del cambio climático

Califique con una “X” del 1 al 10, las siguientes situaciones y factores que determinan la vulnerabilidad del municipio ante situaciones extremas como las lluvias torrenciales. El nivel 1 significa muy poco vulnerable y el 10, extremadamente vulnerable

Situación		Calificación									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Densidad de población										
2	Población que habita en viviendas informales										
3	Dependencia a la comida importada										
4	Dependencia al almacenamiento de agua										
5	Caracterización geomorfológica, geológica y topográfica de la región										
6	Temperatura media										
7	Grado de degradación del suelo										
8	Perdida de vegetación natural										
9	Infraestructura de protección económica y social										
10	Estado actual de la infraestructura										
11	Inversión por parte del estado y el municipio para enfrentar el evento										
12	Organismos de Salud										
13	Protección Civil										
14	Sectores económicos afectados										
15	Organismos activos voluntarios en la asistencia humanitaria										
16	Organizaciones interesadas en el desarrollo sostenible y la reducción de desastres naturales										
17	Identificación de cuencas propensas a sufrir daños por inundación										
18	Desarrollo de programas de mitigación basados en desastres anteriores de la región										
19	Análisis hidrológicos para sistemas de alerta (modelos de pronóstico de inundación)										
20	Sistemas locales de monitoreo (estaciones meteorológicas)										
21	Planes de emergencia ante situaciones de desastre										
22	Características hidrológicas de las cuencas susceptibles										
23	Delimitación de las áreas de inundación										
24	Información y cultura en el tema										
25	Nivel de la investigación en el tema										