

# ÍNDICE DE RESILIENCIA URBANA EN EL ABASTECIMIENTO DEL AGUA POTABLE EN LERMA Y SAN MATEO ATENCO, ESTADO DE MÉXICO

*Martín Vázquez Sánchez<sup>1</sup>*

*José Juan Méndez Ramírez<sup>2</sup>*

*Carlos Alberto Mastachi Loza<sup>3</sup>*

## RESUMEN

La resiliencia con enfoque urbano es relativamente reciente, se orienta a las ciudades con problemas ocasionados principalmente por el cambio climático, uno de estos problemas es la demanda, disponibilidad y suministro del agua potable, por ello diferentes estudiosos evalúan la resiliencia urbana. Con respecto a la vulnerabilidad del agua Sales, (2009) considera que se asocia a la tala inmoderada, propicia la desertificación y el azolve de los cuerpos de agua; las cuencas están contaminadas por las aguas residuales no tratadas; los mantos freáticos se agotan por la sobreexplotación para uso agrícola, industrial y doméstico; y cada año el calentamiento global aumenta la crisis del agua ya que han cambiado los ciclos del agua y de sequía. Esto significa que el problema del agua se relaciona con la escasez, el cual se ve influenciado por la disponibilidad y demanda del recurso para su abastecimiento como el caso de Lerma y San Mateo Atenco, Estado de México.

La investigación realizada aplica el índice de resiliencia urbana en el abastecimiento del agua potable construida mediante dos conceptos la transformación y la adaptación utilizando tres categorías (alto, moderado y bajo), compuesto por 24 variables, analizados mediante la

---

<sup>1</sup> Mtro. En C.A. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Email: nirvana777utopia@gmail.com

<sup>2</sup> Dr. En C.S. UAEMex. Email: cidfino@yahoo.com

<sup>3</sup> Dr. En Ing. Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), UAEMex. Email: camastachil@uaemex.mx

normalización de los datos y posteriormente con el análisis factorial utilizando el método varimax. El resultado obtenido desde el enfoque urbano, la transformación y la adaptación en el abastecimiento del agua potable son diferentes procesos que no van a la par, sino que existe un desfase. Mientras la transformación es lenta y constante la adaptación presenta altas y bajas, es probable que se deba a las múltiples vulnerabilidades que presentan los municipios no solo internas sino externas que en gran medida condicionan la resiliencia urbana.

**Palabras claves:** resiliencia urbana, índice, abastecimiento del agua.

### **Enfoques de la resiliencia**

La amplitud del tema de resiliencia ha permitido que se retomen desde varias disciplinas como: la psicología, ecología, ingeniería, física y en algunas otras áreas como en la salud, en la construcción, también se esta relacionando con la planeación (Shaw et al., 2012), sustentabilidad (Milman and Short, 2008) con sistemas complejos (Berkes et al., 2008), con la entropía (Di Nardo et al., 2010) y algunos autores la han denominado la nueva austeridad (Shaw et al., 2012) y la teoría del colapso (Timmerman, 1981). En el ámbito de la ecología (Holling, 1973) es el exponente principal del tema con el estudio de resiliencia y estabilidad en los sistemas ecológicos, pero en los últimos años los estudios en resiliencia se ha enfocado más en la psicología.

También la Food Security Information Network (FSIN, 2014) menciona que la resiliencia representa un conjunto de capacidades, que es definida en términos de niveles aceptables de bienestar. Por ende, permite reducir los factores negativos detonantes de estresores y adaptarse a los cambios, no solo regresando a su estado anterior al evento, sino también saltar hacia adelante a un continuo desarrollo.

Asimismo, la resiliencia es retomada desde el Cambio Climático para afrontar problemas de desastres como: inundaciones, sequías y la afectación sobre el suministro de recursos naturales como el agua que afectan a las ciudades, el cual se busca afrontar desde el enfoque de la resiliencia urbana con el objeto de afrontar, superar o lidiar con la vulnerabilidad. Es decir, favorecer la capacidad de adaptación y transformación de los afectados en áreas urbanas.

La resiliencia con enfoque urbano es relativamente reciente, se orienta a las ciudades con problemas ocasionados principalmente por el cambio climático, uno de estos problemas es la demanda, disponibilidad y suministro del agua potable, por ello diferentes estudiosos evalúan la resiliencia urbana. Para efectos de este trabajo la resiliencia urbana se entiende como: el grado que las ciudades pueden tolerar alteraciones antes de reorganizarse alrededor de un nuevo ambiente de estructuras y procesos, esto depende de las habilidades de la ciudad y simultáneamente mantener los ecosistemas y funciones humanas (Alberti et al., 2003)

Con base a la definición anterior se pretende evaluar la resiliencia urbana mediante dos propiedades que son la transformación y adaptación en materia del abastecimiento del agua potable. Rockström et al., (2014) consideran que el agua es una variable de control para la resiliencia y el número de actividades humanas y procesos ambientales determinan el impacto o estado del recurso agua.

La capacidad de transformación es definida como: capacidad de un sistema para reorganizar un nuevo sistema cuando ya no puede hacer frente en su forma actual. Y la adaptación se entiende como: capacidad de los sistemas, los hogares, las personas, las comunidades, los ecosistemas, las naciones para generar nuevas formas de operar (Martin-Breen and Anderies, 2011)

La capacidad de transformación y adaptación como parte de la resiliencia urbana se presenta como proceso que tiene como fin reconstruir su contenido, para avanzar hacia adelante a un desarrollo continuo, esto favorece a la incorporación de nuevas funciones y habilidades que permiten que el afectado o afectados se adapten a las nuevas condiciones del entorno. Uno de los puntos importantes a retomar en la adaptación es la integración de instituciones en la planeación urbana para atenuar la vulnerabilidad en el abastecimiento de agua potable.

Con respecto a la vulnerabilidad del agua Sales, (2009) considera que se asocia a la tala inmoderada, propicia la desertificación y el azolve de los cuerpos de agua; las cuencas están contaminadas por las aguas residuales no tratadas; los mantos freáticos se agotan por la sobreexplotación para uso agrícola, industrial y doméstico; y cada año el calentamiento global aumenta la crisis del agua ya que han cambiado los ciclos del agua y de sequía. Esto significa que el problema del agua se relaciona con la escasez, el cual se ve influenciado por la disponibilidad y demanda del recurso para su abastecimiento como el caso de Lerma y San Mateo Atenco, Estado de México.

Ante dichas vulnerabilidades Milman and Short, (2008) proponen el estudio de la resiliencia urbana mediante indicadores para el sector del agua con el objeto de desarrollar la sustentabilidad urbana. Rockström et al., (2014) también propone evaluar la vulnerabilidad del agua con indicadores entre estrés y escasez como umbral en la evaluación del agua de escasez física a nivel regional, el indicador considera la fracción del total anual de escurrimiento disponible para uso humano. Estos indicadores son utilizados por Perveen and James, (2011) para comparar la vulnerabilidad del recurso agua asociado con otro método de Relación de Criticidad para el uso y disponibilidad del recurso agua.

Del mismo modo se ha evaluado la red de distribución del agua por la falta de mantenimiento que afecta su calidad y confiabilidad para los pobladores Yazdani et al., (2011). En el caso de México Helmer and Hespanhol, (1997) consideran problemas de escasez donde enfrenta un desequilibrio entre la demanda de agua gracias a la insuficiencia y una distribución desigual.

Para afrontar el problema de escasez del agua Díaz-Delgado et al., (2009) propone la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, esta guía describe el uso de instrumentos metodológicos para interactuar con los involucrados en la problemática de la cuenca para su recuperación y desarrollo sostenible. Alvarado et al., (2016) propone un análisis a través de decisión multicriterio con la ayuda de SIGs para priorizar la protección del agua basada en su vulnerabilidad a la contaminación.

A manera de conclusión los estudios descritos anteriormente se han enfocado solamente a indicadores del agua, en otros en la red de distribución, en gestión. Pero, no se ha considerado un índice de resiliencia urbana donde se incorporen indicadores sociales y ambientales, por ello en este trabajo se pretende implementar el índice de resiliencia urbana en el abastecimiento del agua potable a través de dos propiedades de la resiliencia urbana que son la transformación y adaptación.

### **Área de estudio**

En lo que atañe a la investigación San Mateo Atenco está dentro del Valle de Toluca, perteneciente al Sistema Neo volcánico Transversal y se localiza a una altitud de 2,570 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) (GEM, 2013a). Y Lerma de Villada ocupa parte del Valle de Toluca-Lerma con el Monte de Las Cruces, a una altura promedio de 2,855 msnm (GEM, 2013b). Los municipios presentan aumento de población y el desarrollo económico probablemente favorece la expansión de la ciudad, esto implica que a medida que se expande

también requiere de bienes y servicios para satisfacer la demanda de los pobladores. Uno de estos servicios es la demanda y disponibilidad de agua potable que implica la introducción de redes hidráulicas, mantenimiento y abastecimiento.

Existen otros elementos que vulneran el abastecimiento del agua potable en Lerma y San Mateo Atenco como: la falta de tratamiento del agua, deficiente distribución, baja cobertura y la falta de mantenimiento de la red hidráulica, escasa aplicación de medidas de gestión en torno al control y uso del vital líquido, la contaminación del río Lerma impide hacer pozos aledaños, pérdida de vegetación y la contaminación de manantiales y ríos.

El abastecimiento del agua es afectado también por condiciones externas y a media que crece la población, la demanda de agua aumenta; por ello, para incrementar el abastecimiento de agua potable a la ciudad de México, se inició, en 1976, la construcción del sistema Cutzamala (proveniente de los estados de México y Michoacán). En ese momento, la cuenca de Lerma ya presentaba agotamiento (CDMX, 2016) A raíz de ello, los municipios se ven afectados para el abastecimiento del agua potable.

## **Metodología**

Para obtener el índice de resiliencia urbana se recurre al análisis factorial que tiene como objeto estudiar la estructura de correlación entre un grupo de variables medidas, asumiendo que la asociación entre las variables puede ser explicada por una o más variables latentes, que en el caso del análisis factorial se les reconoce como factores. Supongamos que tenemos un conjunto de variables observadas  $X_1, X_2, \dots, X_p$  y se asume que en este conjunto subyacen  $k$  factores (el número de factores debe ser estrictamente menor al número de variables observadas). Los factores son variables latentes que explican la asociación entre las variables manifiestas (en este caso las  $X$ 's), (Zamora et al., 2009).

El análisis factorial permite simplificar los resultados, proporciona mayor información importante y presenta como tienden a agruparse las variables. Cuando se obtiene los resultados con el método varimax simplifica la matriz para hacerlo más fácilmente interpretable, simplifica las columnas. Las variables; se maximizan la varianza de las columnas (Morales, 2013). Para la obtención del índice de resiliencia urbana se clasificaron los datos de acuerdo a las propiedades de la resiliencia (adaptación y transformación). Las variables propuestas se enumeran en la tabla 1y 2.

Tabla 1. **Variables para la obtención del índice de resiliencia urbana en el abastecimiento del agua potable**

<b>Transformación</b>		<b>Adaptación</b>	
<b>Variable</b>	<b>Efecto</b>	<b>Variable</b>	<b>Efecto</b>
Población ocupada	+	Población total	-
Población desocupada	-	Población de 0-49 años de edad	+
Población que asiste a la escuela	+	Población de 50-64 años de edad y más	-
Población que no asiste a la escuela	-	Hogares	+
Viviendas	-		
Viviendas habitadas	+		
Viviendas con agua entubada	+		
Viviendas sin agua entubada	-		
Viviendas con acceso a agua	+		
Viviendas con sanitario	+		
Viviendas sin sanitario	-		
Viviendas con lavadora	-		

Fuente: indicadores seleccionados con base a autores citados

Estos indicadores propuestos fueron seleccionados con base a los autores citados en la parte teórica y con base a la disponibilidad de información con la que se cuenta en México. Para esto se recurrió al Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010) el cual proporciona los datos de los indicadores establecidos y se les asigno el efecto que tiene: es positivo cuando contribuye al aumento de la resiliencia y negativa cuando no favorece y afecta la adaptación y transformación, es decir, la falta de capacidad de enfrentar una crisis, en este caso la débil de capacidad de afrontar el abastecimiento de agua potable.

Además de las variables de la tabla 1, también se incorporó datos espaciales para ubicar los índices en cartografía y reflejados dentro de las zonas urbanas y rurales el grado de resiliencia con base al abastecimiento del agua potable, los datos están a nivel nacional (México) y las bases de datos se actualizan, es decir tienen continuidad. La cartografía se realiza mediante el programa ArgGis 10.2 y las variables seleccionadas son:

Tabla 2. **Variables espaciales para la obtención del índice de resiliencia urbana en el abastecimiento del agua potable**

Transformación		Adaptación	
Variable	Efecto	Variable	Efecto
Tasa de infecciones intestinales	-	Profundidad del acuífero	-
Índice de desarrollo humano	+	Disponibilidad natural media per-cápita	+
Densidad de población	-	Precipitación promedio	+
		Estacionalidad de la temperatura	+
		Índice de marginación	-

Fuente: indicadores seleccionados con base a autores citados

Las variables de la tabla 1 y 2, son 24 de 42 posibles 15 para la transformación y 9 para la adaptación, la elección de los indicadores se realizó con base al efecto que tienen en la resiliencia y la disponibilidad de información incluyendo variables de medición social, económica y ambiental de la resiliencia. Las 24 variables se aplicaron en 110 espacios compuestos por Áreas Geo-estadística de Información Básica (AGEB) y áreas rurales. Posterior a la selección de las variables se normalizaron los valores.

Los valores de cada variable se estandarizaron con base a su efecto sobre la resiliencia ya sea como positivo o negativo a fin de que la escala normalizada cubra exactamente el intervalo [0, 1], es decir que para cada criterio, el peor valor es 0 y el mejor valor es 1. Para modular el efecto del indicador, se consideró que, si el aumento de una variable es positivo para la resiliencia al abastecimiento de agua, la modulación (1) consiste en la función:

$$f(X_i) = \frac{X_i - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)} \dots \dots \dots (1)$$



Donde  $f(X_i)$  representa el valor modulado para el indicador  $X$  en pixel  $i$ ,  $\min(X_i)$  y  $\max(X_i)$  los valores mínimos y máximos para un indicador. Complementariamente, si el decremento de la variable tiene un efecto positivo, se modula de la forma siguiente (2) (Tan et al., 2011):

$$f(X_i) = \frac{\max(X_i) - X_i}{\max(X_i) - \min(X_i)} \quad (2)$$

Posterior al proceso de estandarización de los datos se determina el índice de resiliencia urbana en el abastecimiento del agua mediante el análisis factorial con el método varimax que simplifica la interpretación de los indicadores. El análisis factorial se realiza con el paquete estadístico Systat 12.02.

Después del proceso estadístico y previa ubicación de los índices de la capacidad de transformación y adaptación se ubicaron tres categorías (alto, moderado y bajo) por cada capacidad para mejor manejo de la información, ya que se realizaron en 110 unidades de análisis, 47 AGEB y 63 áreas rurales con 24 indicadores cada uno para los municipios de Lerma, San Mateo Atenco y comunidades rurales, 2010.

En lo referente a la escala de categoría utilizada en el trabajo se ubicaron de manera espacial con el programa Arc-gis 10.2 por Ageb y área rural. Cada categoría es descrita para la resiliencia urbana en el abastecimiento de agua potable en torno a cada una de sus propiedades (adaptación y transformación). Se entiende como transformación alta cuando la población cuenta con la toma de agua domiciliaria, esta empleada y puede pagar el servicio, presenta un mayor desarrollo humano, está concentrada en el territorio, cuentan con lavadora y sanitario lo que les permite utilizar el agua y probablemente se esté reciclando, además se ven reducido problemas de salud como infecciones intestinales.

Para la transformación moderada se entiende que la población presenta avances en materia social: empieza a tener un mayor nivel educativo, las tomas de agua para su abastecimiento cada vez tienen mayor cobertura, el abastecimiento del agua es difícil de obtenerse por lo accidentado del territorio, presentan un grado de infecciones intestinales, la población está dispersa y escaso mantenimiento de la red hidráulica.

En lo que se refiere a la transformación baja la población presenta problemas de abastecimiento por el escaso acceso de tomas de agua a la vivienda y no cuentan con una lavadora y es probable que tampoco un sanitario por lo que son afectados por infecciones intestinales, no cuentan con un nivel aceptable de educación escolar, las viviendas están más dispersas alejadas del centro de la ciudad, es posible también que no se le de mantenimiento a la red de agua y presente fugas.

La siguiente propiedad de la resiliencia urbana que se evaluó es la adaptación al abastecimiento al agua potable, al igual que la propiedad anterior también se describe en tres categorías, la primera corresponde a la adaptación alta que son aquellas viviendas que concentran varios hogares y por ende comparten el vital líquido, la población que consume el agua cuenta con diferentes requerimientos de acuerdo con (Álvarez et al., 2008) a la edad de 0-49 años el agua corporal total en promedio es de 59% del peso total y de 50-64 y más es de 51.5%, el agua se encuentra a menor profundidad del acuífero, las precipitaciones son constantes y la población presenta un índice de marginación baja.

Respecto al índice de adaptación moderada, la población de los municipios de Lerma, San Mateo Atenco y comunidades rurales presenta una alta concentración de población que hace difícil la dotación equitativa de agua, de igual manera las población por rangos de edad se ven afectados para consumir el agua, el tamaño de la vivienda como factor limitante al albergar

varios hogares, la extracción del agua en los acuíferos se ven mermados conforme aumenta los habitantes y presentan una débil coordinación.

Por último, el tercer índice de adaptación baja para la resiliencia urbana en el abastecimiento del agua potable presenta falta de disponibilidad de agua potable por fuente de abastecimiento para la población, por lo que se ven la necesidad de buscar fuentes más alejadas, así también en la extracción a mayor profundidad. En el siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos de la investigación.

## **Resultados**

Los diagramas de Box plot indican la distribución y concentración de los datos por cada nivel (alto, moderado y bajo) de resiliencia urbana en el abastecimiento del agua potable. Se presentan dos diagramas, la primera indica el nivel de transformación y la segunda de adaptación, en conjunto engloban el proceso de la resiliencia urbana, compuesta por diferentes indicadores de cada propiedad de la resiliencia urbana.

Para describir las categorías por cada propiedad de la resiliencia urbana, se recurrió a los Box plot. Los Box plot son cada uno de las variables propuestas que definieron el grado de resiliencia urbana conforme a sus propiedades y niveles de concentración de los datos. Los resultados obtenidos mediante el análisis factorial con el método varimax usando el programa Systat 12.02 se presentan en las tablas 3, 4, 5 y 6. También se realizó en Box plot los resultados en la imagen 1 y 2 con base a la estandarización de los datos e índices determinados. Los resultados obtenidos con el programa Systat 12.02 son el porcentaje de la varianza (tabla 3 y 5) y la tabla de varimax (tabla 4 y 6) por cada propiedad de la resiliencia urbana para el abastecimiento del agua potable son las siguientes.

Tabla 3. Porcentaje total de la varianza explicada de la **Capacidad de transformación**

1	2	3	4
54.114	18.904	9.144	6.2
61.24	21.39	10.35	7.02
0.612412576	0.21393812	0.1034834	0.07016591

Tabla 4. **Capacidad de Transformación**  
 Rotated Loading Matrix (VARIMAX, Gamma = 1.000000)

Variable	1	2	3	4
Población total	-0.895	0.28	-0.121	-0.3
Población de 0 a 49 años de edad	-0.102	-0.083	0.826	0.182
Población de 50 a 64 años de edad	-0.351	0.206	-0.619	0.219
Población ocupada	0.321	0.023	0.869	0.098
Población desocupada	0.772	0.444	-0.018	0.173
Población que no asiste a la escuela	-0.923	0.149	-0.116	-0.298
Población que asiste a la escuela	0.489	-0.835	0.125	0.126
Total de viviendas	-0.929	-0.056	-0.106	-0.229
Total de viviendas habitadas	0.941	0.031	0.103	0.274
Viviendas con agua	0.968	0.025	0.127	0.039
Viviendas sin agua	-0.414	0.073	0.006	-0.803
Acceso al agua	0.955	-0.153	0.142	0.061
Viviendas con escusado	0.916	-0.264	0.134	0.244
Viviendas sin escusado	0.239	0.91	-0.067	0.086
Viviendas con lavadora	-0.066	0.955	-0.103	0.079
Infecciones intestinales	0.78	0.442	0.256	0.158
Índice de desarrollo humano	-0.782	-0.451	-0.216	-0.151
Densidad de población municipal	-0.264	-0.202	-0.148	-0.77

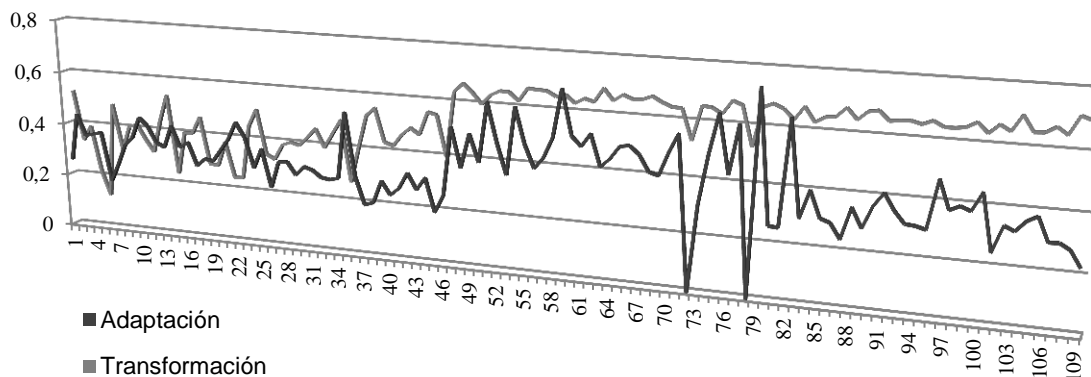
Tabla 5. Porcentaje total de la varianza explicada de la **Capacidad de adaptación**

1	2	3
44.873	15.876	11.53
62.083039	21.9648861	15.9520746
0.6208304	0.21964886	0.15952075

Tabla 6. Capacidad de Adaptación			
Rotated Loading Matrix (VARIMAX, Gamma = 1.000000)			
Variable	1	2	3
Población total	-0.278	0.664	-0.475
Población de 0-49 años	0.529	0.545	-0.044
Pob50-64	-0.089	0.792	0.129
Total-hogares	0.359	-0.616	0.57
Acuífero	0.246	-0.022	0.801
VAR_DISP NAT_SCNC	0.825	-0.171	0.224
VAR_A_PRC PROM1_C	-0.829	0.119	-0.215
VAR_A_ETEMP_CLIP	0.489	-0.415	0.589
VAR_S_MARGI1_CLI	0.043	0.021	0.853

Posterior a los resultados obtenidos para cada propiedad se ubicaron los índices en Box plot para poder describir cada categoría en transformación y adaptación de la resiliencia urbana en el abastecimiento del agua potable. De igual manera, se compararon los datos correspondientes de transformación y adaptación. La comparación se realizó mediante una gráfica donde muestra el comportamiento de los índices de manera general por cada AGEB de los dos municipios, ver gráfica 1.

Gráfica 1. Comparación de los índices de las propiedades de la Resiliencia Urbana, para el abastecimiento del agua potable



Fuente: elaboración propia con base a (INEGI, 2010) y Systat 11.0

La gráfica uno presenta notorias diferencias entre las propiedades de la resiliencia urbana, las cuales se manifiestan en diferentes condiciones, quizás se deba al ritmo de desarrollo de los habitantes y no permea por igual en todos los sectores sociales. No necesariamente las propiedades se manifiestan al mismo tiempo, sino que existe un desfase marcado por condiciones de vulnerabilidad.

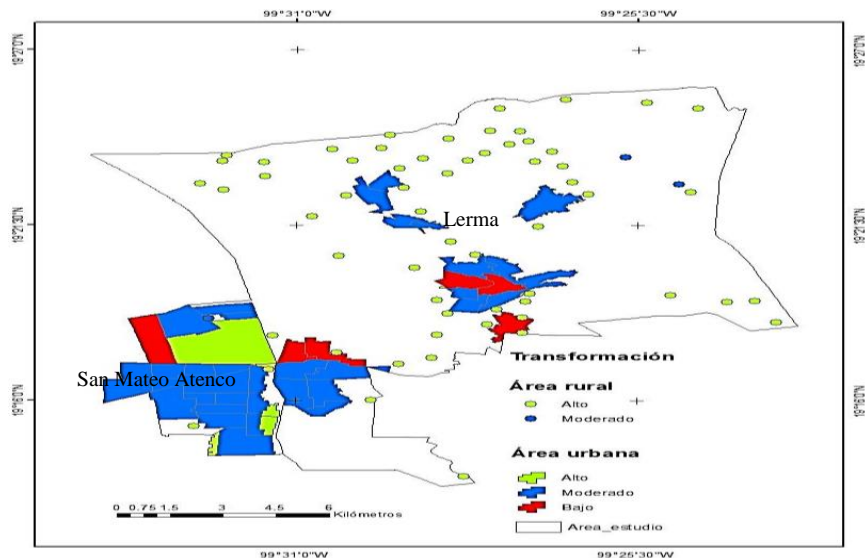
También existe una diferencia drástica entre los índices de transformación, el cual se mantiene constante sin altibajos notorios, esto significa que se mantiene un proceso social y que la transformación es lenta, no así en la adaptación posiblemente se deba a que los pobladores no estén asimilando rápidamente los cambios o las estrategias de respuesta conllevan a un proceso lento de acción ante el abastecimiento del agua potable y está condicionada por factores de disponibilidad del agua por la fuente y disposición natural. Es posible también que los mecanismos de coordinación entre grupos sean escasos o las condiciones de desarrollo entre áreas urbanas y rurales manifiestan marcadas diferencias entre lo que es la adaptación y transformación para la resiliencia urbana.

Estos municipios presentan marcadas diferencias en cuanto a respuestas para mantenerse y ser flexibles a las condiciones del territorio para abastecerse de agua potable. Es probable que los que tengan rápida transformación sean en áreas rurales que las urbanas por los procesos urbanos que no han afectado los mantos acuíferos y presenten pocos habitantes con baja demanda de agua para abastecer sus requerimientos básicos dentro de los municipios de Lerma y San Mateo Atenco.

Asimismo, es probable que la demanda y disponibilidad para el abastecimiento del agua potable presenta afectaciones, quizás se deba al aumento de la población, contaminación, pérdida de cubierta vegetal y la creciente expansión urbana que acapara espacios naturales de recarga e

impide la filtración para la recarga de los mantos acuíferos. De manera espacial los índices por AGEB y área rural se presentan en las figuras 2 y 3 con base a la transformación y adaptación.

Figura 2. Índice de transformación urbana, Lerma y San Mateo Atenco para el abastecimiento de agua potable



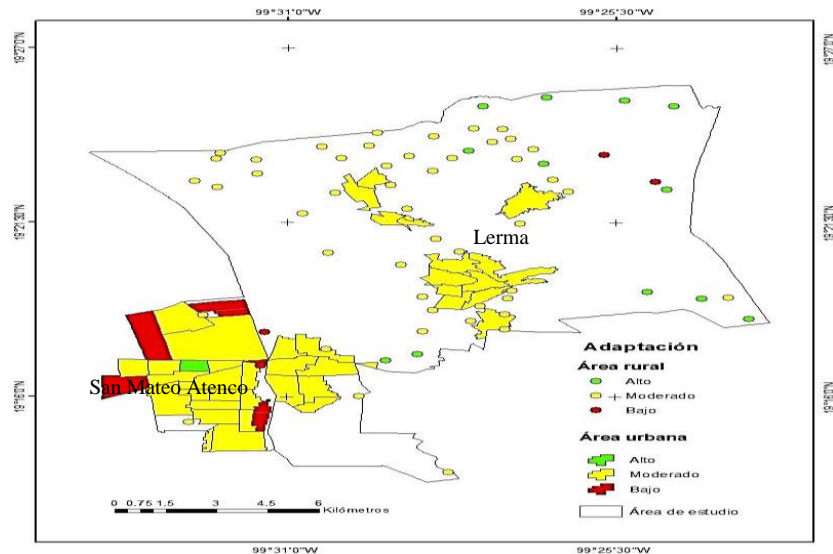
Fuente: elaboración propia con base a (INEGI, 2010)

Con base al índice de transformación entre Lerma y San Mateo Atenco presenta condiciones desiguales a pesar de estar ubicado en áreas lacustres y cercanas a las fuentes de abastecimiento de agua potable. En transformación alta (0.632-0.661) se cuenta con el 17% en áreas urbanas y rurales, la mayor parte de la capacidad de transformación se concentran en áreas rurales, le sigue la moderada (0.355-0.440) con el 73.64% que están ubicadas especialmente en zonas urbanas con la mayor parte en San Mateo Atenco por la cantidad de industrias que alberga.

Para la capacidad de transformación baja (0.190-240) le corresponde el 9% del total de los dos municipios, esto indica que los habitantes se han mantenido a pesar de los problemas en el abastecimiento del agua potable, es probable que estos pobladores se ubiquen lejanos a los

centros de población con difícil acceso y escasa cobertura del servicio de agua potable. La figura 3 presenta las condiciones de adaptación en materia de resiliencia urbana para el abastecimiento del agua potable.

Figura 3. Índice de adaptación urbana, Lerma y San Mateo Atenco para el abastecimiento de agua potable



Fuente: elaboración propia con base a (INEGI, 2010)

Con respecto a la capacidad de adaptación alto (0.526-0.538) representa el 33.64% del total de los municipios que han mantenido su capacidad de acoplarse al nuevo contexto y a los cambios sufridos durante las condicionantes en el abastecimiento del agua potable, se destaca que los que asimilan más rápidos los cambios son las ubicadas en área rurales. En el caso de moderado que tiene un rango entre 0.304-0.314 le corresponde el 60.91% del total del municipio y finalmente la capacidad de adaptación baja (0.195-0.235) le corresponde solo el 5.45% del total municipal que reúne una condición desfavorable para la resiliencia urbana.



## **Conclusiones**

Los índices desarrollados presentan diferencias en cada propiedad de la resiliencia urbana, por un lado no se presenta una igualdad y similitud de comportamiento haciendo ver que los procesos se dan de manera distinta, la capacidad de transformación es constante, lenta y se mantiene, mientras que la adaptación presenta un proceso probablemente más rápido que no le permite a los municipios asimilarlo.

También se tiene una diferencia notable entre las zonas urbanas y rurales evaluadas, ya que presentan las mejores condiciones las rurales, quizás se deba a las condiciones de urbanización y niveles de afectación a las fuentes de abastecimiento del agua potable, hace entrever que el abastecimiento del agua potable se concentra solo en algunos lugares del territorio esto debe porque tienen la solvencia económica para pagarlo y al uso como principal insumo en las industrias como en el caso de Lerma y parte de San Mateo Atenco.

La aplicación de los índices presento un panorama general de las condiciones de los municipios evaluados, pese a estar ubicados en zonas lacustres y cercanos al Río Lerma presentan niveles diferentes de resiliencia urbana, esto se debe por la concentración de industrias de Lerma y San Mateo Atenco que requieren de grandes consumo de agua y a la vez son contaminados y enviados al Río Lerma.

No obstante, la calidad del agua es otro factor que reduce el abastecimiento ya que no se cuentan con plantas de tratamiento o de fuentes confiables para su extracción o simplemente se requiere de mayor profundidad para su extracción lo que implica mayor costo, esto hace más difícil el abastecimiento del agua potable para los municipios y a medida que la población incrementa se requiere de más fuentes de abastecimiento.

Con respecto a la adaptación se presenta de manera lenta, no así para las fuentes de abastecimiento del agua potable que funge como regla y condicionan las ciudades o quizás la adaptación es repentina que no se observa en las acciones en cuanto a la flexibilidad de adaptarse y transformarse.

Po último, la resiliencia urbana para ser mejor evaluado es necesario desagregar aún más sus características y componentes que permiten puntualizar y disminuir la ambigüedad de la resiliencia, así mismo, analizar las condiciones de vulnerabilidad que permiten determinar las estrategias de resiliencia urbana. El uso excesivo de la resiliencia en gran parte a contribuido que sea ambigua, es decir se ha utilizado en diferentes disciplinas, los cuales la definen de diversas maneras sin llegar a un consenso que permita su aceptación y no solamente sea entendida desde la ciencias duras.

### **Agradecimientos**

A beca CONACyT por haber hecho posible la realización de la presente investigación durante el programa de posgrado del Doctorado en Urbanismo que imparte la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México. También a los profesores investigadores que participaron en la realización de dicho trabajo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **REVISTAS**

- Alberti, M., Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C., Zumbrunnen, C.,** (2003). Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. *BioScience* 53, 1169–1179. doi:10.1641/0006-3568(2003)053[1169:IHIEOA]2.0.CO;2
- Alvarado, A., Esteller, M.V., Quentin, E., Expósito, J.L.,** (2016). Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination. *Water Resour. Manag.* 30, 1549–1566. doi:10.1007/s11269-016-1239-4
- Álvarez, J.R.M., Marín, A.V., Allué, I.P., Rosado, C.I., Gregorio, P.G., Cordero, P.R., Rocha, A.L., Casado, J.M.R., Arce, J.C.L.,** (2008). Recomendaciones de bebida e hidratación para la población española. *Nutr. Clínica Dietética Hosp.* 28, 3–19.
- Berkes, F., Colding, J., Folke, C.,** (2008). *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change.* Cambridge University Press.
- Díaz-Delgado, C., Fonseca, C.R., Esteller, M.V., Guerra-Cobián, V.H., Fall, C.,** (2014). The establishment of integrated water resources management based on emergy accounting. *Ecol. Eng.* 63, 72–87. doi:10.1016/j.ecoleng.2013.12.034
- Di Nardo, A., Greco, R., Santonastaso, G., Din Natale, Michele,** (2010). Resilience and Entropy Indices for Water Supply Network Sectorization in District Meter Areas, in: ResearchGate. Presented at the Proceedings of 9th International Conference on Hydroinformatics.
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S., Walker, B.,** (2002). Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations. *AMBIO J. Hum. Environ.* 31, 437–440. doi:10.1579/0044-7447-31.5.437
- Gómez, C., Ernesto, L.,** (2007). Indicadores de uso sustentable del agua en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Estud. Front.* 8, 9–41.

**Helmer, R., Hespanhol, I.,** (1997). *Water Pollution Control: A Guide to the Use of Water Quality Management Principles*, 1st ed. CRC Press, Great Britain.

**Holling, C.S.,** (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 4, 1–23.

**Martin-Breen, P., Anderies, J.M.,** (2011). Resilience: A Literature Review.

**Milman, A., Short, A.,** (2008). Incorporating resilience into sustainability indicators: An example for the urban water sector. *Glob. Environ. Change, Local evidence on vulnerabilities and adaptations to global environmental change* 18, 758–767. doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.08.002

**Perveen, S., James, L.A.,** (2011). Scale invariance of water stress and scarcity indicators: Facilitating cross-scale comparisons of water resources vulnerability. *Appl. Geogr., Hazards* 31, 321–328. doi:10.1016/j.apgeog.2010.07.003

**Sales, F.,** (2009). La crisis del agua, in: *Resporte CESOP. Publicación mensual del Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública de la Cámara de Diputados*, pp. 1–4.

**Shaw, K., Davoudi, S., Haider, L.J., Quinlan, A.E., Peterson, G.D., Wilkinson, C., Fünfgeld, H., McEvoy, D., Porter, L., Davoudi, S.,** (2012). Resilience: A Bridging Concept or a Dead End? “Reframing” Resilience: Challenges for Planning Theory and Practice Interacting Traps: Resilience Assessment of a Pasture Management System in Northern Afghanistan Urban Resilience: What Does it Mean in Planning Practice? Resilience as a Useful Concept for Climate Change Adaptation? The Politics of Resilience for Planning: A Cautionary Note. *Plan. Theory Pract.* 13, 299–333. doi:10.1080/14649357.2012.677124

**Tan, L., Liu, H., Ma, Y., Wu, L., Min, Q., Gao, S., Liu, J.,** (2011). Quantification of spatial difference of sustainability in the Taihang Mountain area of Hebei Province, China, with its information platform and GIS. *J. Food Agric. Environ.* 9, 740–747.

**Timmerman, P.,** (1981). *Vulnerability, resilience and the collapse of society: a review of models and possible climatic applications.* institute for Environmental Studies, University of Toronto, Toronto.

**Tyler, S., Moench, M.,** (2012). A framework for urban climate resilience. *Clim. Dev.* 4, 311–326.

doi:10.1080/17565529.2012.745389

**Vargas-Velázquez, S.,** (2007). Agua y sociedad en el Alto Lerma: el módulo Tepetitlán. *Agric.*

*Soc. Desarro.* 4, 1–17.

**Walker, B.,** (2005). A resilience approach to integrated assessment. *Integr. Assess.* 5.

**Yazdani, A., Otoo, R.A., Jeffrey, P.,** (2011). Resilience enhancing expansion strategies for water distribution systems: A network theory approach. *Environ. Model. Softw.* 26, 1574–1582.

doi:10.1016/j.envsoft.2011.07.016

## **LIBROS**

**Díaz-Delgado, C., Esteller, V., Velasco, A., Martínez, J., Arriaga, C., Vilches, A., Manzano, L., Colín, M., Miranda, S., Uribe, L., Peña, A.,** (2009). Guía de Planeación Estratégica participativa para la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, Capítulo Estado de México, 1st ed. Centro Interamericano de recursos del agua, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México y Red Interinstitucional e Interdisciplinaria de Investigación, Consulta y Coordinación Científica para la recuperación de la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago (RED LERMA)., Toluca, Estado de México.

**Rockström, J., Falkenmark, M., Folke, C., Lannerstad, M., Barron, J.,** (2014). *Water Resilience for Human Prosperity.* Cambridge University Press.

## **PÁGINA ELECTRÓNICA**

**CDMX,** (2016). Cuidar el agua es cosa de todos [WWW Document]. El Agua Lerma-Cutzamala. URL <http://www.cuidarelagua.cdmx.gob.mx/cutzamala.html> (accessed 6.24.16).

**DIMSUR,** (2016). City Resilience Action Planning Tool [WWW Document]. Dimsur. URL <http://www.dimsur.org/publication/city-resilience-action-planning-tool/> (accessed 4.1.16).

**FSIN**, (2014). Resilience Measurement Principles toward an Agenda for Measurement Design [WWW Document]. URL <http://www.fsnnetwork.org/resilience-measurement-principles-toward-agenda-measurement-design> (accessed 3.29.16).

**GEM**, (2013a). Plan Municipal de Desarrollo Urbano de San Mateo Atenco [WWW Document]. URL  
<file:///C:/Users/SATELLIGTE/Downloads/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20MUNICIPAL%202013-2015.pdf> (accessed 6.14.16).

**GEM**, (2013b). Plan de Desarrollo Municipal de Lerma 2013 [WWW Document]. URL [http://www.lerma.gob.mx/wp-content/uploads/docs-pages/plan\\_desarrollo\\_municipal\\_lerma.pdf](http://www.lerma.gob.mx/wp-content/uploads/docs-pages/plan_desarrollo_municipal_lerma.pdf) (accessed 6.14.16).

**INEGI**, (2010). Censo de Población y Vivienda 2010 [WWW Document]. INEGI. URL <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx> (accessed 3.29.16).

**Lance Gunderson Ann Kinzig, Allyson Quinlan, Brian Walker**, (2010). Assessing Resilience in Social-Ecological Systems: Workbook for Practitioners [WWW Document]. Resil. Alliance. URL <http://www.resalliance.org/resilience-assessment> (accessed 4.1.16).

**Morales, P.**, (2013). El análisis factorial en la construcción e interpretación de tests, escalas y cuestionarios [WWW Document]. URL <http://web.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/AnalisisFactorial.pdf> (accessed 5.17.16).

**Zamora, S., Monroy, Lucía, Álvarez, César**, (2009). Análisis factorial: una técnica para evaluar la dimensionalidad de las prueba Cuaderno técnico 6 [WWW Document]. URL <http://www.cidpae.org.mx/documentos/documentos01.pdf> (accessed 4.18.16).