

MODELO DE TOMA DE DECISIONES DE ABASTO DE AGUA EN UNA COMUNIDAD RURAL

DECISION-MAKING MODEL FOR WATER SUPPLY IN A RURAL COMMUNITY

Benítez-Hernández, J.A.¹; Reta-Mendiola, J.L.¹; Asiain-Hoyos, A.¹; Ruiz-Rosado, O.¹; Campos-Arriaga, L.²; Montané-Azpiri, J.²

¹Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Km 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz. Predio Tepetates. Mpio. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. ²Low Carbon Architecture. Torre 1519, Paseo de la Niña 150-1405, Fracc. Las Américas. CP 94299. Boca del Río, Veracruz, México.

Autor responsable: benitez.javier@colpos.mx

RESUMEN

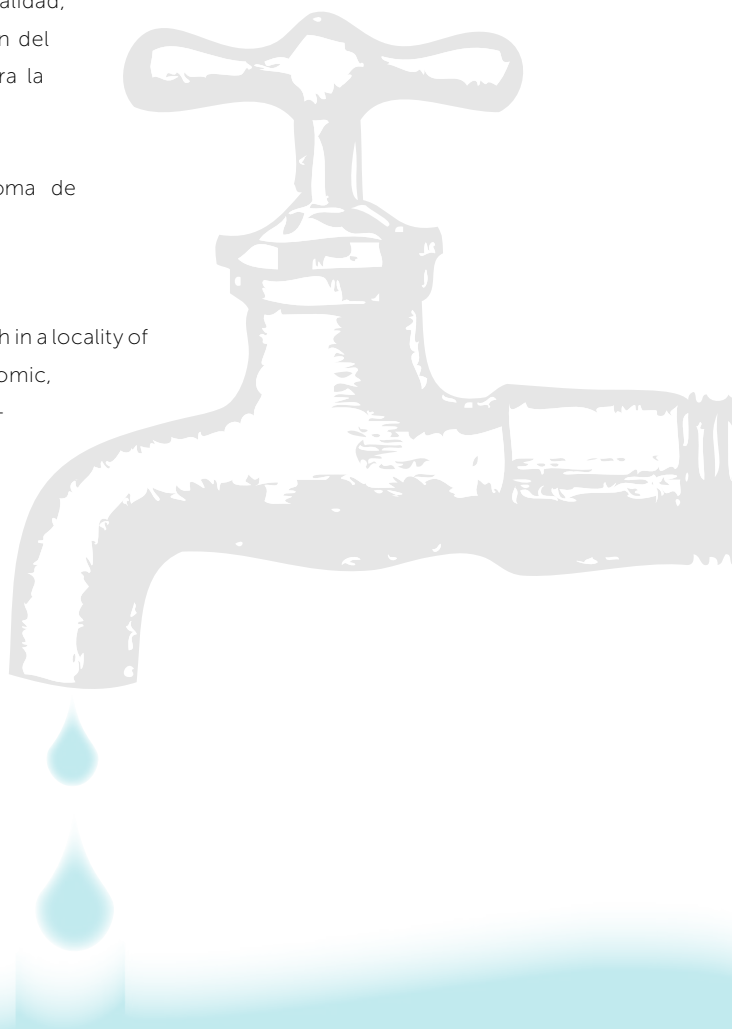
Se evaluó el agua de lluvia como fuente de abastecimiento desde un enfoque sistémico en una localidad de paso de Ovejas, Veracruz, México, estudiando aspectos sociales, técnicos, económicos, ambientales y normativos; El resultado fue un modelo multi-criterio que evidenció ventajas y oportunidades de la lluvia en términos de calidad, cantidad, legalidad, infraestructura necesaria, vulnerabilidad, autonomía y percepción del habitante. Este modelo fue utilizado como una herramienta para la toma de decisiones.

Palabras clave: captación de agua de lluvia, multi-criterio, toma de decisiones.

ABSTRACT

Rainwater was evaluated as a supply source from a systemic approach in a locality of Paso de Ovejas, Veracruz, México, studying social, technical, economic, environmental and normative aspects. The result was a multi-criterion model that evidenced advantages and opportunities of rain in terms of quality, quantity, legality, necessary infrastructure, vulnerability, autonomy and perception of the resident. This model was used as a tool for decision making.

Keywords: rain water capture, multi-criterion, decision making.



Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 10, octubre, 2016. pp: 32-37.

Recibido: enero, 2015. **Aceptado:** septiembre, 2016.

INTRODUCCIÓN

Los factores geográficos y geofísicos determinan las condiciones del clima y de lluvia en diversas regiones geográficas que conforman la República Mexicana (Breña, 2004). En la región Central del Estado de Veracruz, México, se presenta un clima sub-húmedo Aw0 (w) (García, 1981), que implica una precipitación media de 925 mm anuales distribuidos en su mayoría en los meses de junio, julio y agosto (CONAGUA, 1998). En consecuencia, y durante ocho meses se tiene una temporada de estiaje que induce a los habitantes de este territorio a definir acciones para el uso y manejo del agua. En esta región y específicamente en la localidad de Angostillo, en Paso de Ovejas, utilizan el bombeo de agua del río para dotarse en primera instancia; y tienen acceso a agua embotellada comercial para consumo humano considerada como potable. La calidad del agua del río no es monitoreada y solo se beneficia ocasionalmente con cloro con la idea de evitar efectos en la salud por bacterias. La calidad del agua del río está sujeta a cambios inadvertidos causados por sustancias provenientes de los afluentes río arriba de actividades de tipo agrícola y por residuos causados por asentamiento humanos. El río que abastece a esta zona es el Paso de Ovejas, perteneciente a la cuenca del río La Antigua (Díaz *et al.*, 2008), y el bombeo de agua del río implica una infraestructura importante comunitaria con inversión del gobierno municipal, estatal, y demanda mantenimiento y vigilancia, su calidad varía dependiendo de la temporada de lluvias y estiaje. En temporada de lluvia presenta turbidez por los arrastres de suelo incrementando sólidos en suspensión que la hace no apta para uso doméstico. La infraestructura de bombeo es vulnerable y ha sufrido pérdidas por eventos climáticos como huracanes que provocan grandes avenidas de agua en el cauce y eventualmente colapsan la infraestructura de bombeo ocasionando pérdidas totales (Hernández *et al.*, 2010). Además de los eventos naturales existen problemas de tipo social que causan un efecto similar, tales como el robo de cables de conducción de la energía eléctrica, lo que impide a las bombas funcionar y abastecer el vital líquido.

A consecuencia de lo anterior, las comunidades afectadas carecen de agua de calidad, afectando la salud física y emocional, así como su economía individual y colectiva. La comunidad se ve obligada a comprar agua en pipas o embotellada, y pasar periodos prolongados incluso de meses sin suministro de agua y cuando esta agua llega, no es apta para uso doméstico, beneficiando únicamente actividades productivas agrícolas y pecuarias de pequeña escala. Es importante mencionar que se tiene el hábito de almacenar agua en depósitos llamados aljibes, que son estructuras de concreto con una capacidad media estándar de 3 m³ a 5 m³ y se construyen en el patio aledaño a la casa habitación. Captar agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano es de gran importancia para las poblaciones con problemas de acceso a este vital líquido (Anaya *et al.*, 2007). No obstante, la comunidad no considera el agua de lluvia como una opción viable de abasto, la dejan caer y correr sin aprovechar volúmenes considerables con

buenas características de uso. La recolecta de agua de lluvia, almacén y distribución ordenada es una opción para disponer de forma autónoma, agua en cantidad y calidad suficientes para satisfacer sus necesidades primarias (Krishna, 2005), y para ello, se requiere de invertir en el diseño, construcción y operación del sistema de abasto de agua de lluvia por lo tanto es necesario estudiar las características específicas y contextuales para la toma de decisiones del uso agua de lluvia como fuente de abasto. Con base en lo anterior, se aplicó un modelo numérico para la toma de decisiones considerando variables y parámetros contextuales del territorio y sociales de la comunidad específica bajo las variables de cantidad, calidad, costo, legalidad, infraestructura, autonomía, vulnerabilidad y percepción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la comunidad de Angostillo, del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México (19° 13' 0" N y 96° 32' 0" O), a 260 m, posee un clima Aw0 (w), definido por Köppen modificado por García (1981). Mediante el método de análisis de involucrados se identificó a informantes clave y se recabó información pertinente a la comunidad de Angostillo. Entendiendo como análisis de involucrados, un instrumento que permite identificar a aquellos grupos y organizaciones interesadas en el éxito de una política o proyecto (Brugha y Varvasovszky, 2000). Para identificar y conocer las particularidades de las alternativas o

fuentes de abastecimiento de agua se realizaron visitas a la comunidad además de entrevistas semi-estructuradas a los informantes clave, según Martínez (2006) este tipo de entrevistas permiten aclarar términos, descubrir las ambigüedades, definir los problemas, orientar hacia una perspectiva, patentizar los presupuestos y las intenciones, evidenciar la irracionalidad de una proporción, ofrecer criterios de juicio o recordar hechos necesarios. Una vez identificadas las alternativas, se construyó un modelo multi-criterio para la toma de decisiones que permita conocer la viabilidad del agua de lluvia como fuente de abastecimiento en la comunidad Angostillo. Su construcción consta de las siguientes etapas: Definición, valoración, y ponderación de criterios así como la estructuración de una matriz de valoración y en su etapa final la valoración de alternativas, estas se explican a continuación. Mediante una revisión bibliografía y la opinión de los informantes clave, se buscaron los principales criterios que intervienen en el uso de fuentes de abastecimiento de agua en América Latina y países con problemas de escasez y; la utilización de agua de lluvia para comunidades rurales, en base a aspectos económico, político, técnico, ambiental y social.

Una vez definidos los criterios, se realizaron escalas de valoración nominales determinadas según las propiedades de cada criterio (Orlandoni, 2010). La ponderación es asociada a cada uno de los criterios, está se determinó mediante el método de asignación directa, donde los informantes clave asignaron un valor a cada aspecto en forma de tasación simple (1 a 8) en una encuesta. El número de encuestados fue de 24, elegidos mediante un muestreo aleatorio simple. Una vez establecidos los criterios y sus pesos asociados, se procedió a dar un valor numérico a cada alternativa, con respecto a cada criterio, y está fue representada como una matriz de valoración (X_{ij}) como se muestra en el Cuadro 1.

Cada fila de la matriz expresa valoraciones de alternativa A_i , con respecto a los n criterios. Cada columna de la matriz recoge las evaluaciones o juicios emitidos por el decisor de todas las alternativas respecto al criterio C_j (García, 2009). Se utilizó el método de suma ponderada de acuerdo con García (2009), que asume que

la función buscada se puede descomponer y asimilar a un método aditivo como se presenta en la siguiente ecuación.

$$v = \lambda_1 \cdot v_1 + \lambda_2 \cdot v_2 + \dots + \lambda_n \cdot v_n$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró identificar 20 informantes clave, interesados en el progreso comunitario de Angostillo entre los cuales se encuentran: habitantes usuarios, autoridades, operativos y asesores académicos. Con ayuda de los informantes clave se identificaron tres alternativas de abasto o fuentes de abastecimiento de agua:

Agua de lluvia: Se registró una precipitación media anual de 925 mm de 1987 a 1997 (CONAGUA, 1998). La temporada de lluvias es únicamente de cuatro meses, de julio a octubre. Desafortunadamente, no existe información meteorológica actual en la comunidad lo que restringe conocer la precipitación anual con mayor precisión. El uso del agua de lluvia en la comunidad es para las actividades agrícolas, sobre todo de maíz (*Zea mays* L.), en algunos casos existen ollas de agua para abastecer la actividad pecuaria, y para uso doméstico y

consumo humano la práctica de captación de agua de lluvia es nula.

Agua embotellada: En la región existen varias embotelladoras que provén el líquido a la comunidad entre las que se encuentran las empresas: Continental, Piscis, Acatepec, San Francisco, Ciel, Santorini,

Jallapan y Cristal. Con ayuda de los informantes clave se seleccionaron las principales embotelladoras que abastecen a la comunidad:

Agua Continental: La purificadora del agua Continental se encuentra en la cabecera del Municipio de Paso de Ovejas, está hace un recorrido de 14.6 km o 21 min aproximadamente para llegar a la comunidad de Angostillo. Con una venta semanal de veinte a cuarenta garrafones y un costo de \$12.00 garrafón de 19 litros.

Agua Acatepec: Esta purificadora se ubica en la cabecera del municipio de Huatusco, y hace un recorrido de 68.7 km o un tiempo estimado de 57 min aproximadamente para llegar a la comunidad de Angostillo. Tiene

Cuadro 1. Matriz de valoración.

	W_1	W_2	...	W_n
	C_1	C_2	...	C_n
A_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}
A_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2n}
A_m	X_{m1}	X_{m2}	...	X_{mn}

A: alternativa, W: ponderación, C: criterio.

una venta de cien garrafones de 19 litros semanales a un precio de \$15.00 cada uno.

Agua de río: El río Atliyac o Paso de Ovejas, es la principal fuente de abastecimiento de agua en la comunidad, a través de tubería recorre una distancia de 500 m y llega directamente a las llaves de agua en las casas. Cabe mencionar que la mayoría de las casas cuentan con tanques reservorios de agua en los patios, debido a que existen constantes problemas de abasto en la comunidad. El agua del río es utilizada para todas las actividades dentro del hogar (baño, cocina, regadera). Está requiere de un contrato para poder hacer uso de la misma, tiene una tarifa de \$74.80 por mes. Durante una entrevista a un informante clave de Paso de Ovejas, encargado del agua potable y alcantarillado comentó que el abastecimiento de agua en la comunidad corresponde a 10 m³ por familia mes y que el agua tiene un proceso de cloración antes de llegar a la comunidad. De acuerdo con la metodología se identificaron los siguientes criterios mencionados por los informantes clave:

- i. **Calidad.** Definida como los requerimientos mínimos para que la fuente de abastecimiento de agua sea útil para uso y consumo humano.
- ii. **Cantidad.** Definida como la capacidad de garantizar el abastecimiento de agua en la comunidad.
- iii. **Costo.** Definido como el gasto económico en forma unitaria que paga el usuario por el agua.
- iv. **Legalidad.** Definido como las cláusulas para lograr tener acceso a cada fuente de abastecimiento de agua.
- v. **Autonomía.** Definido como la independencia de algún tercero que opere o distribuya alguna fuente de abastecimiento de agua.
- vi. **Infraestructura.** Definido como el conjunto de elementos y servicios necesarios para poder hacer uso de cada fuente de abastecimiento de agua.
- vii. **Vulnerabilidad.** Definido como la ocurrencia de algún fenómeno extremo que perjudique el abastecimiento de alguna fuente de abastecimiento de agua.
- viii. **Apreciación.** Definido como el suministro considerado necesario de las fuentes de abastecimiento de agua.

Se utilizaron escalas de valoración para cada criterio considerado en el modelo multi-criterio para la toma de decisiones para el uso del agua de lluvia (Cuadro 2).

- i. **Calidad,** determinado de acuerdo a la norma NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, que establece los límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Asumiendo el valor de 1 si la fuente de abastecimiento cumple con el parámetro evaluado (nitratos, nitritos, amonio, dureza total, sólidos disueltos, cloruros, turbidez, coliformes totales y *E. coli.*) y cero en caso contrario.
- ii. **Cantidad,** determinada por las recomendaciones de la UNESCO en diferentes usos y obteniendo un valor de 1 si la fuente de abastecimiento de agua cumple con la recomendación (inodoro, regadera, lavar, cocina, preparación de alimentos y varios) y cero en caso contrario.
- iii. **Costo,** determinado por el precio en pesos mexicanos para cada fuente de abastecimiento de agua (\$/m³), asumiendo un valor de acuerdo al orden de menor a mayor otorgando el valor de 1 al que tuvo el costo más elevado y 4 al menor.
- iv. **Legalidad,** determinado mediante encuestas a los pobladores de la comunidad, donde se preguntó si la fuente de abastecimiento requiere de algún contrato para hacer uso, asumiendo el valor de 2 para la fuente que no encuentra impedimento legal que tiene el consumidor para hacer uso del agua y un valor de 1 en caso contrario.
- v. **Autonomía,** determinado por la dependencia de un tercero que opere o distribuya alguna fuente de agua (operador o distribuidor), asumiendo el valor de 2 cuando la fuente de abastecimiento es autónoma y el valor de 1 en caso contrario.
- vi. **Infraestructura,** determinado de acuerdo con las normas complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas del Distrito Federal, obteniendo el valor de 1 cuando la fuente de abastecimiento de agua requiere de alguna obra o instalación (gastos de diseño, tubería, tanque o sistemas de almacenamiento, equipo de filtración, válvulas, bombeo e instalación de bombeo, plantas de potabilización, estructura de concreto o mampostería, tanques y recipientes, equipos de transportación, prefabricados y ensamble y servicio eléctrico) y en caso de que no lo requiera un valor de 2.
- vii. **Vulnerabilidad,** determinado por problemas de la fuente de agua para llegar al usuario, asume valores mediante el resultado de una encuesta realizada en la población, donde se preguntó si la fuente

de abastecimiento de agua tiene problemas para llegar a la comunidad y de esta manera es afectado el suministro de agua. Obteniendo el de 1 si la mayoría de los encuestados menciona que la fuente de abastecimiento siempre tiene problemas para llegar a la comunidad, 2 si algunas veces y 3 si la respuesta es nunca.

viii. **Apreciación**, determinado mediante una encuesta a los habitantes de la comunidad, preguntando

si la fuente abastecimiento cubre las necesidades del usuario, asumiendo los valores de 3 para la respuesta de siempre, 2 para algunas veces y 1 para nunca.

Los resultados que los informantes clave asignaron (1 a 8) se sumaron y se calculó el porcentaje para darle el valor ponderado a cada criterio. A cada valor calculado se le denomina valor ponderado de los criterios (Cuadro 3).

Cuadro 2. Escala de valoración asignada por los informantes clave para cada criterio.

Criterio/Parámetro/Fuente de abastecimiento		Río	Agua Continental	Agua Acatepec	Lluvia
Cantidad	Inodoro (40 l)	1	0	0	1
	Regadera (30 l)	1	0	0	1
	Lavar (12 l)	1	0	0	1
	Cocina (6 l)	1	1	1	1
	P. Alimentos (5 l)	1	1	1	1
	Varios (4 l)	1	0	0	1
Total		6	2	2	6
Calidad	<i>E. coli</i>	0	0	0	0
	Coliformes Totales	0	0	0	0
	Turbidez	1	1	1	1
	Sólidos Disueltos	1	1	1	1
	Cloruros	1	1	1	1
	Nitratos	1	1	1	1
	Nitritos	1	1	1	1
	Amonio	1	1	1	1
	Dureza total	1	1	1	1
Total		7	7	7	7
Costo	Total	3	1	2	4
Legalidad	Total	1	2	2	2
Infraestructura	Gastos de Diseño	1	1	1	2
	Tubería	1	1	1	1
	Tanque o cisterna de almacenamiento	1	1	1	1
	Equipo de filtración	1	1	1	1
	Válvulas	1	1	1	1
	Bomba e instalación de bombeo	1	2	2	1
	Plantas de potabilización	1	1	1	2
	Estructura de concreto y mampostería	1	2	2	1
	Tanques y recipientes	2	1	1	2
	Equipo de transportación	2	1	1	2
	Prefabricados y ensambles	2	1	1	1
	Servicio eléctrico	1	1	1	1
Total		15	14	14	16
Autonomía	Total	1	1	1	2
Vulnerabilidad	Total	1	3	3	1
Percepción	Total	3	3	3	2

Cuadro 3. Ponderación de criterios.

Aspecto	Costo (C3)	Legalidad (C4)	Cantidad (C1)	Vulnerabilidad (C7)	Percepción (C8)	Calidad (C2)	Autonomía (C6)	Infraestructura (C5)
Total No.	84	91	96	80	102	93	79	95
Valor ponderado de los criterios	11.67	12.64	13.33	11.11	14.17	12.92	10.97	13.19

Los valores en la matriz de valoración, son el resultado de la multiplicación del valor de los criterios determinado por las escalas de valoración, por el valor ponderado de los criterios y finalmente la suma de estos para cada fuente de abastecimiento de agua (García, 2009) (Cuadro 4).

Finalmente, de acuerdo con la matriz de valoración y la suma ponderada, el valor obtenido para cada fuente de abastecimiento ordenando de mayor a menor fue: Agua de lluvia 514.6; Río 480.3; Agua Acatepec 437; Agua Continental 425.3, interpretando el puntaje más elevado como mejor alternativa de abasto de agua en la comunidad, es decir el agua de lluvia.

CONCLUSIONES

Se mostró que el modelo multi-criterio para la toma de decisiones es aplicable como herramienta para solucionar problemas complejos como lo es el abastecimiento de agua en las comunidades rurales, y funcionó en términos de la selección de una forma diferente de abasto de agua a la comunidad, con características de calidad, en comparación a las fuentes convencionales. Asimismo, el dar una opción de abasto de agua con características de autonomía ha sido un factor motivante para que los usuarios tomen interés y el sistema permanezca y mejore.

LITERATURA CITADA

- Anaya G. M., Ramírez C.V., Martínez J.J. 2007. III Diplomado Internacional Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia (SCALL) para consumo humano y uso doméstico. COLPOS. México.
- Breña A. 2004. Precipitación y Recursos Hidráulicos en México. Coordinación General de Vinculación y Desarrollo Institucional de la Rectoría General de la Universidad Autónoma Metropolitana, Tlalpan. D.F. México.
- Brugha R., Varvasovszky Z. 2000. Stakeholder analysis: a review. *Health Policy and Planning* 15(3): 239-246.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 1998. ERIC II. Extractor rápido de información climatológica. Servicio meteorológico nacional (SMN).
- Díaz J.I., Nava T.M.E., Gallardo L.F., García. A.J.C., Fajersson P. 2008. Potencial para el turismo alternativo del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 8(2): 199-208.
- García C.M. 2009. Métodos para la comparación de alternativas mediante un sistema de ayuda a la decisión (S.A.D.) y "soft Computing". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena de Indias, Colombia.
- García E. 1981. Modificación al sistema de clasificación de Köppen. 3ra. Ed. Instituto de geografía. UNAM. México, DF.
- Hernández A., Bravo C., Díaz, J. 2010. Reseña del Huracán "Karl" del Océano Atlántico. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Gerencia de Meteorología y Climatología. Subgerencia de Pronóstico Meteorológico. Recuperado el 12 de noviembre del 2012 en: <http://smn.cna.gob.mx/ciclones/tempo2010/atlantico/Karl2010a.pdf>.
- Krishna H. 2005. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Texas Water Development Board. Third Edition. Austin, Texas.
- Martínez M. 2006. La Investigación Cualitativa (síntesis conceptual). *Revista de Investigación en Psicología*. 9(1): 123-146.
- Orlandoni M. 2010. Escalas de medición en Estadística. *Maracaibo, Venezuela. Telos*. 12(2): 243-247.

Cuadro 4. Matriz de valoración de las fuentes de abastecimiento de agua.

Alternativa	Criterio								Total
	Cantidad	Calidad	Costo	Legalidad	Infraestructura	Autonomía	Vulnerabilidad	Percepción	
Río	79.98	90.37	34.98	12.63	197.85	10.97	11.11	42.4	480.3
Agua Continental	26.66	90.37	11.66	25.26	184.66	10.97	33.33	42.4	425.3
Agua Acatepec	26.66	90.37	23.32	25.26	184.66	10.97	33.33	42.2	437.0
Agua de lluvia	79.98	90.37	46.64	25.26	211.04	21.94	11.11	28.3	514.6