

## ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN UN PARQUE DE FRACCIONAMIENTO A TRAVÉS DE HERRAMIENTAS DE TOMA DE DECISIONES

### MANAGEMENT OF WATER RESOURCES IN A FRACTIONATION PARK THROUGH DECISION-MAKING TOOLS

Ing. Cristina Quintero Ávila, Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación, E-mail: [quinterocristina492@gmail.com](mailto:quinterocristina492@gmail.com), Tel.: 656-603-8000. Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, C.P. 32500 Cd Juárez, Chih., México.

Dr. Arturo Woocay Prieto, Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación, E-mail: [arturo.wp@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:arturo.wp@cdjuarez.tecnm.mx), Tel.: 656-688-2500. Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, C.P. 32500 Cd Juárez, Chih., México.

M.A. Veronica Sansabas Villalpando, Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación E-mail: [veronica.sv@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:veronica.sv@cdjuarez.tecnm.mx), Tel.: 656-688-2500. Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, C.P. 32500 Cd Juárez, Chih., México.

M.C. Mirella Parada González, Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación, E-mail: [mirella.pg@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:mirella.pg@cdjuarez.tecnm.mx), Tel.: 656-688-2500. Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, C.P. 32500 Cd Juárez, Chih., México.

Dr. Hugo Francisco López Herrera, Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación, E-mail: [hugo.lh@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:hugo.lh@cdjuarez.tecnm.mx), Tel.: 656-688-2500. Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, C.P. 32500 Cd Juárez, Chih., México.

**Resumen** – Ciudad Juárez, Chihuahua se localiza en la región fronteriza en el norte del país donde las características de aridez de esta región hacen que el agua sea un factor limitante. Aunado a esto, es muy probable que las autoridades locales próximamente no permitan el riego de parques con agua potable y por lo tanto se deben evaluar diferentes opciones.

Para este estudio, se aplicó una encuesta a 60 familias habitantes del Fraccionamiento Quinta Esmeralda con el objetivo de determinar las preferencias de los residentes con respecto a cinco alternativas propuestas para el riego de su parque, cada una con distintos atributos (bondades y limitaciones) que se dieron a conocer a los encuestados. Ninguna opción resultó seleccionada directamente por más del 25% de los encuestados. La encuesta también incluyó preguntas específicas sobre la apreciación por parte de los residentes de los distintos atributos asociados con cada opción para usarse como criterios para la selección de la alternativa más adecuada.

Este estudio utiliza la herramienta TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) de Toma de Decisiones Multicriterio para evaluar diferentes alternativas de riego del parque, de tal forma que se encuentra aquella que mejor cumple con los criterios de los residentes para la administración de los recursos hídricos.

Las cinco opciones evaluadas fueron: 1) Reemplazo por zacate artificial, 2) Reemplazo de vegetación actual por vegetación endémica, 3) Riego por agua tratada, 4) Desarrollo de un parque hundido, y 5) Riego por goteo. Los criterios utilizados para evaluación de las alternativas fueron: Costo de instalación, Costo de mantenimiento, Pérdida de vegetación, Pérdida de espacio, Consumo de agua potable, y Pérdida estética del parque.

El análisis indica que la alternativa que mejor cumple con los intereses de los residentes es la de reemplazo de la actual vegetación del parque por la misma cantidad de vegetación endémica que requiere de menor riego y mantenimiento manteniendo así el mismo uso del espacio y aproximadamente la misma estética del parque.

**Palabras Clave:** zona árida, parques y jardines, riego con agua potable

**Abstract** – Ciudad Juárez, Chihuahua is located in the border region in the north of the country where the aridity characteristics of this region make water a limiting factor. In addition to this, it is very likely that local authorities will soon not allow the irrigation of parks with drinking water and therefore different options have to be evaluated.

For this study, a survey was applied to 60 families living in the Quinta Esmeralda Subdivision with the aim of establishing the residents' preferences with respect to five proposed alternatives for their park's irrigation, each with different attributes (benefits and limitations) that were made known to the respondents. No option was directly selected by more than 25% of respondents. The survey also included specific questions about residents' appreciation of the various attributes associated with each option to be used as criteria for selecting the most appropriate alternative.

This study uses the TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) multi-criteria decision-making tool to evaluate different irrigation alternatives of the park, in such a way that the one that best meets the criteria of the residents for the management of water resources is found. The five options evaluated were: 1) Replacement by artificial grass, 2) Replacement

of current vegetation by endemic vegetation, 3) Irrigation by treated water, 4) Development of a sunken park, and 1) Drip irrigation. The criteria used to evaluate the alternatives were: Installation cost, Maintenance cost, Loss of vegetation, Loss of space, Consumption of drinking water, and Loss of the park aesthetics. The analysis indicates that the alternative that best meets the interests of residents is the replacement of the park's current vegetation by the same amount of endemic vegetation that requires less irrigation and maintenance thus maintaining the same use of space and approximately the same park aesthetics.

**Key words** – arid zone, parks and gardens, potable water irrigation

## INTRODUCCIÓN

En Ciudad Juárez se ha incrementado la construcción de fraccionamientos que ofrecen la ventaja de tener uno o varios parques para uso de todos sus residentes. Estos parques requieren de riego que típicamente se hace con agua potable. El agua es una parte esencial de cualquier economía y sociedad, por lo tanto, su manejo sustentable es una condición necesaria. La Junta Municipal de Agua y Saneamiento está considerando racionar el agua y muy probablemente ya no se permita el riego de los parques con agua potable. Por lo tanto, se tendrán que evaluar diferentes opciones para el riego de estos parques.

Este estudio utiliza la herramienta TOPSIS de Toma de Decisiones Multicriterio para evaluar diferentes alternativas de riego del parque de un fraccionamiento, de tal forma que se encuentra aquella que mejor cumpla con los intereses de los residentes para la administración de los recursos hídricos.

Arcilia [1]relata en su artículo que la escasez de agua potable en países en vía de crecimiento simboliza un problema cada día más grande a nivel mundial, por lo que es preciso buscar opciones que ofrezcan la posibilidad de optimizar la calidad del agua para el consumo humano que sea de simple acceso y obtención para las localidades marginales.

La falta de conciencia que hay en la comunidad por una conveniente administración del agua ya sea por los usos de la ciudadanía, la infraestructura disponible de esta ciudad, la falta de recursos financieros para realizar obras y/o una mejor supervisión por parte de la autoridad correspondiente para cuidar y utilizar el recurso, es lo que ha causado un uso del vital líquido en sitios donde no es necesario que sea potable. Tal es el caso del riego de parques y jardines con plantas decorativas en Ciudad Juárez. El uso eficaz del agua incluye mejoras tecnológicas y cambios culturales dependiendo de las opciones disponibles para el riego de jardines y sitios verdes de la localidad en particular [2].

De acuerdo con INEGI (2014) citado en [3] (Gutiérrez, Captación pluvial en Chihuahua: una alternativa sustentable, 2014) “El estado de Chihuahua, en el norte de México, muestra más de la mitad de su región como un ecosistema árido o semiárido” (p.1). La Junta Municipal de Agua y Saneamiento está considerando como plan racionar el agua y muy probablemente ya no se permita el riego con agua potable de los parques. Por lo tanto, se tendrán que evaluar diferentes opciones para el riego de estos parques.

La zona en que se habita puede convertirse en un área muy diferente al que inicialmente existía años atrás, ya que la urbanización es un proceso que convierte el entorno de modo drástico y a veces a un ritmo muy rápido, de modo que es complicado que se logre concebir a la ciudad como un ecosistema en sí mismo. Pero, la ciudad forma el centro de toda una red de interacciones tan diversas que es capaz de llegar a la región, creando en ella su huella ecológica [4].

Ciertos fundamentos de la jardinería son preservar los recursos naturales (agua, suelo), fomentar la biodiversidad, y atender la demanda ciudadana de áreas verdes más próximas a la naturaleza. Además, existen aspectos positivos como: aprobación teórica, general y pública del beneficio ambiental de las áreas verdes urbanas, incremento valioso de zonas verdes, aumento significativo de la biomasa vegetal, automatización de sistemas de riego, experiencias de cambios de zonas verdes urbanas con vegetación adaptada, por mencionar algunas [5].

Los modelos urbanos de agua en la sociedad están bajo una escasez frecuente y creciente del agua, incremento de demanda, inconstancia y conflicto dado por el cambio climático. Un buen sistema de riego es aquel que proporciona una cobertura completamente uniforme en el sistema radicular sin provocar que parte del agua se pierda por filtración en el terreno ni que se genere un exceso de riego.

Una solución parcial al problema de la falta de agua, entre varias contempladas aquí, es el aprovechamiento de la precipitación natural por medio la cosecha (captación) de lluvia, con el propósito de usarla para fines donde no se requiera agua dulce o potable y así proporcionar un suministro adicional de agua aprovechable. La cosecha de agua de lluvia proporciona fuertes elementos sociales, económicos y ambientales [6]. La cosecha de lluvia consiste en la recolección de agua que cae naturalmente sobre superficies naturales como suelos y/o jardines o sobre estructuras hechas por el hombre como azoteas, pavimento o banquetas, así como el transporte de esa agua por medio de canaletas, canales o declives y su almacenamiento directamente en el subsuelo (jardines pluviales) o indirectamente en tanques

o cisternas. El agua almacenada puede ser usada fácilmente para fines no potables como el riego de jardines y de plantas del hogar y por lo tanto se reduce el consumo de agua potable y el costo del servicio municipal. La importancia del agua de lluvia cosechada obtenida a un precio diminuto de la inversión, instalación, sustento, uso de energía más la protección del suelo y el medio ambiente, hacen que esta tecnología sea una atractiva alternativa de abastecimiento hídrico [7]. [8] menciona que la captación de agua de lluvia a baja escala se muestra como una alternativa razonable para áreas áridas y semiáridas. Sin embargo, el mejor aprovechamiento de esta estrategia implica su incorporación desde el inicio del diseño del fraccionamiento de tal forma que la cosecha de lluvia sea parte de la construcción del fraccionamiento, y este no es el caso del fraccionamiento de estudio. Es decir, la implementación de cosecha de lluvia en un fraccionamiento ya establecido requeriría de la construcción de instalaciones y adecuamiento del parque, todo lo cual conlleva un costo y cambio en el uso y funcionamiento actual del parque.

Para este estudio se identificaron cinco distintas alternativas considerando las siguientes bondades y limitaciones para cada una.

- 1) El remplazo de las áreas verdes por pasto artificial muestra resistencia a un uso intensivo y no requiere riego ni recorte, pero los espacios son menos frescos y se pierde la sombra que ofrecían los árboles. Esta opción requiere de un alto costo de compra e instalación del pasto artificial pero posteriormente tiene un bajo costo de mantenimiento.
- 2) El remplazo por vegetación endémica apropiada para un desierto consiste en paulatinamente sustituir los árboles actuales por unos de la región que consumen menos agua, pero en general proporcionan un poco menos sombra y refresca un poco menos.
- 3) El riego por agua de línea morada consiste en utilizar el agua previamente tratada, pero no apta para consumo humano, la cual tiene menor costo, pero puede tener un poco de olor. Aunque el costo de agua tratada es inferior al de agua potable, ésta aún no se distribuye por tubería al fraccionamiento y se incurriría en un costo por su transporte en pipas al fraccionamiento y de la necesidad de un sistema de almacenamiento y distribución del agua suministrada.
- 4) Un parque hundido aprovecha el agua de lluvia y reduce encharcamientos, pero no reemplaza completamente el uso de agua de riego, puede reducir el espacio de estacionamiento y reducir el espacio abierto del parque para eventos grandes (juego de fútbol). También puede en ocasiones tener olor y atraer insectos en los periodos de lluvia. Si el parque hundido se incorpora desde el diseño del fraccionamiento, éste tiene

un costo reducido, pero si se implementa después de la construcción del fraccionamiento, la implementación puede llegar a tener un alto costo debido a excavaciones e instalación de canales pluviales necesarios para conducir el agua.

5) El riego por goteo consiste en instalar en las zonas áridas equipo de distribución para regar solo a la vegetación deseada pues permite la utilización óptima de agua, pero el equipo es costoso y requiere de mantenimiento frecuente y posiblemente de un sistema de almacenamiento y presurización para el suministro del agua.

Dado el gran número de alternativas a evaluar, cada una con diferentes características, este trabajo propone utilizar herramientas de Toma de Decisiones para seleccionar la opción que mejor cumpla con los intereses de la mayoría de los residentes para la administración de los recursos hídricos de su parque a través de diferentes estrategias de reducción de consumo de agua potable para el riego. Se requiere encontrar la manera de cambiar el sistema de riego con agua potable por otra alternativa más viable/aceptable para los residentes de un fraccionamiento residencial donde se realizó este estudio.

La toma de decisiones puede aparecer en cualquier contexto de la vida cotidiana. El proceso, en sí, consiste en solucionar los diferentes retos a los que se debe enfrentar una persona y por lo tanto debe incluir un amplio conocimiento del problema que se desea solucionar.

Las estrategias de Toma de Decisiones permiten evaluar diferentes alternativas de una manera sistemática, lógica, estructurada y racional para determinar la que mejor convenga según los criterios o necesidades de selección establecidas por las partes interesadas.

La Evaluación Multicriterio comprende un conjunto de técnicas que evalúan varias opciones de elección a la luz de múltiples criterios y prioridades. Las alternativas, en base a la información y el conocimiento que se tenga sobre ellas, se evalúan en relación con los criterios de selección. Para lograr una efectiva toma de decisiones se debe primero aclarar el objetivo que se quiere alcanzar, luego tomar en cuenta las distintas alternativas evaluando sus ventajas, limitaciones y finalmente adoptar la que se considere más apropiada para lograr el objetivo propuesto.

Para considerar simultáneamente toda la información de diversos criterios en la evaluación de los escenarios, se hace necesario el uso de algún método de decisión multicriterio que la agregue de forma conveniente y obtenga un ranking que permita ordenarlos de una forma más razonable que la ordenación en base solamente a su probabilidad de aparición. Se propone el uso del método

TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) ya que es un método de análisis de decisión de criterios múltiples utilizado con frecuencia porque su lógica es racional y entendible, el proceso es simple y estructurado en un algoritmo con una fórmula matemática sencilla, permitiendo así la búsqueda de las mejores alternativas para cada criterio, en donde en el proceso de cálculo se tienen en cuenta los valores de los pesos de cada criterio, así como si el criterio es un coste o una ganancia [10].

El método TOPSIS, es una técnica para ordenar preferencias por similitud a la solución ideal y se desea que una alternativa determinada se ubique ya sea como la Menor distancia respecto de una alternativa ideal que representa lo mejor (ideal positivo o simplemente ideal); o la Mayor distancia respecto de una alternativa Anti-ideal que representa lo peor (ideal negativo o anti-ideal) [11].

A grandes rasgos TOPSIS permite hacer la evaluación utilizando términos lingüísticos, una serie de opciones en base a un conjunto de criterios, a cada uno de los cuales del mismo modo se les puede dar un peso lingüístico que los pondere según su importancia. El resultado es una ordenación de las alternativas según su bondad general [9].

## DESARROLLO

Actualmente el parque del fraccionamiento de estudio es un importante centro de actividades y se desea evitar el deterioro de éste buscando fomentar la participación de vecinos trabajando de manera colaborativa. Para lo anterior, se llevó a cabo una encuesta aplicada a 60 familias habitantes del Fraccionamiento Quinta Esmeralda, contestando una persona por familia, con el objetivo de conocer las preferencias de los residentes con respecto al riego del parque. El perfil de los participantes fueron usuarios del parque interesados en el tema, dispuestos a dar su opinión a través de una encuesta línea por medio de SurveyMonkey.

La encuesta consistió en 28 preguntas en escala Likert de cinco niveles con respecto a la opinión de los encuestados sobre los distintos factores (bondades y limitaciones) que diferencian a alternativas de riego, tales como preferencia entre costos de instalación y costos de mantenimiento, cantidad y calidad de la vegetación, uso del espacio del parque y estacionamiento perimetral, condiciones del parque (temperatura, humedad, olor y limpieza) y uso de agua potable para riego, entre otros. Estas preguntas se utilizaron para determinar la ponderación relativa de los criterios de decisión.

Dado que se desea seleccionar la mejor opción de riego según los habitantes del fraccionamiento residencial, se les dio a conocer las cinco alternativas identificadas, 1) Reemplazo por zacate artificial, 2) Reemplazo de vegetación actual por vegetación endémica, 3) Riego por agua tratada, 4) Desarrollo de un parque hundido, y 5) Riego por goteo; y así mismo se les presentaron las limitaciones y bondades de cada alternativa (descritas aquí anteriormente).

Una matriz de preferencia es una tabla que permite calificar una o diferentes opciones de acuerdo con varios criterios, es decir que se dispone de diferentes factores a considerar. Para este estudio utilizamos seis criterios (costo de instalación, costo de mantenimiento, pérdida de vegetación, pérdida de espacio, consumo de agua potable, y pérdida estética) para evaluar las alternativas, como se muestra en la Tabla 1 la cual presenta los valores relativos para cada criterio por alternativa. Dentro de cada columna de la Tabla 1, la puntuación muestra el orden relativo de las alternativas y se indica si es ascendente o descendente.

Con el método TOPSIS se proporciona la jerarquía que permite seleccionar la mejor alternativa de riego. Es decir, este método lo que hace es definir la solución ideal como aquella que está más cerca de la solución ideal positiva y más lejos de la solución ideal negativa donde la solución ideal negativa está compuesta por todos los peores valores.

**Tabla 1.** Tabla matriz de preferencia.

Opciones	Costo de Instalación	Costo de Mantenimiento	Perdida de Vegetación	Perdida de Espacio	Uso de Agua Potable	Perdida de Estética
Reemplazo por zacate artificial	5 (más caro)	1 (menos caro)	1 (mayor)	5 (menor)	5 (menor)	5 (mayor)
Reemplazo de vegetación	2	2	3	5	4	3
Riego por agua tratada	3	3	5	4	3	2
Parque hundido	3	2	3	3	2	2
Riego por goteo	4	3	5	4	3	4

En este método el orden de las opciones cambia cuando una alternativa es añadida o eliminada del problema de decisión. En algunos casos, podría llegar a darse el orden inverso, donde el orden de las preferencias es invertido totalmente, es decir, que la alternativa que se consideraba la mejor, con la inclusión o la eliminación de alguna alternativa, se convierte en la peor. Los motivos principales del orden inverso en TOPSIS son debidas al cálculo de la norma y a la elección de la solución ideal positiva y la solución ideal negativa.

A continuación, se presentan los pasos utilizados en el desarrollo del método TOPSIS.

Paso 0. Identificar tipo de variables y ajustar valores cuantitativos a cualitativos.

Paso 1. Obtener la matriz de decisión normalizada, mediante:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad \text{Ec. (1)}$$

**Paso 2.** Obtener la matriz de decisión normalizada y ponderada, mediante:

$$(w_j) (\bar{x}_{ij}) \quad \text{Ec. (2)}$$

Esto consiste en dividir el valor inicial de cada criterio entre la suma de cada columna. Cada observación tendrá un mejor rendimiento, cuanto más cerca esté de la solución ideal positiva y más se aleje de la solución ideal negativa.

**Ponderación:** En la encuesta realizada a los habitantes se hicieron preguntas asociadas con cada criterio, de tal forma que las preguntas se agruparon a través del factor al que hace referencia y cuidando que las respuestas tuviesen una distribución semejante, entre sí. Las preguntas tenían respuesta en una escala de Likert de Muy de Acuerdo, De Acuerdo, Neutral, En Desacuerdo y Muy en Desacuerdo. A la respuesta de Muy de Acuerdo se le asignó un valor de 5 el cual se multiplico por el número de respuestas que estaban muy de acuerdo. Así se hizo sucesivamente teniendo la respuesta de Muy en Desacuerdo un valor de 1 y luego se sumaron los valores de cada pregunta. Por cada agrupación de preguntas semejantes que miden el mismo criterio se calculó el promedio (para cada criterio) por último los resultados obtenidos para cada criterio se convirtieron su porcentaje del total de todos los criterios y este promedio se utilizó como el peso de ponderación  $[(w) \_j]$ .

Paso 3. Calcular los valores ideales utilizando  $v_j^+$  para el mejor y  $v_j^-$  para el peor, esto para cada uno de los criterios.

Para criterios directos:

$$\begin{aligned} \text{Mejor valor} &= \text{Max } (x_{ij}) \\ \text{Peor valor} &= \text{Min } (x_{ij}) \end{aligned}$$

Para criterios inversos:

$$\begin{aligned} \text{Mejor valor} &= \text{Min } (x_{ij}) \\ \text{Peor valor} &= \text{Max } (x_{ij}) \end{aligned}$$

Paso 4. Calcular la distancia euclidiana de cada alternativa con respecto a los valores  $v_j^+$  +  $v_j^-$  obtenidos previamente, utilizados.

$$S_i^+ = \left( \sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2 \right)^{1/2} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$S_i^- = \left( \sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2 \right)^{1/2} \quad \text{Ec. (4)}$$

Para determinar el grado de similitud relativa calculamos la distancia euclídea entre la solución ideal positiva y solución ideal negativa para cada observación Paso 5. Calcular el puntaje de desempeño, mediante:

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad \text{Ec. (5)}$$

Paso 6. Obtener la jerarquía de las alternativas en base al valor Pi obtenido previamente.

Se calculó la distancia euclidiana de cada alternativa con respecto a los valores  $v_j^+$  y  $v_j^-$  obtenidos previamente Donde  $S_i^+$  y  $S_i^-$  representan la distancia euclidiana de cada alternativa con respecto a los valores  $v_j^+$  y  $v_j^-$  y  $\frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$  representa el score de desempeño.

Finalmente se calculó la cercanía relativa a la solución ideal positiva. Cuanto más el valor de Ci se acerque a 1 más cerca estará de la solución ideal.

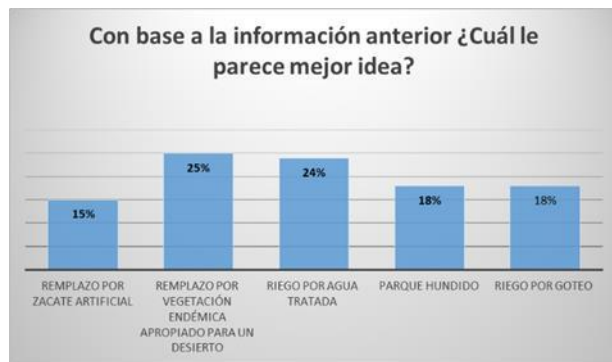
Finalmente se calculó la cercanía relativa a la solución ideal negativa. Cuanto más el valor de Ci se acerque a 1 más cerca estará de la solución ideal.

## DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cuando se les preguntó en la encuesta cuál alternativa les parecía mejor basándose en sus relativas bondades y limitaciones presentadas en la Tabla 1, no hubo una opción seleccionada por la mayoría de los participantes.

La alternativa de reemplazo por vegetación endémica seleccionada por el 25% de los encuestados, seguida por la de riego por agua trata por el 24%, ambas riego por goteo y parque hundido fueron seleccionadas por 18% de los participantes y en último lugar la de reemplazo por zacate artificial por el 15%. Al tomar en cuenta las segundas opciones de cada encuestado tampoco se obtuvo una opción dominante que garantizase la satisfacción de la mayoría de los residentes. Esta información se presenta en la Figura 1 donde se ve que no hubo una opción seleccionada por la mayoría de los residentes.

La falta de consenso se atribuye a la complejidad de factores a considerar para cada una de las alternativas (Tabla 1).



**Figura 1.** Gráfica de la selección de mejor alternativa correspondiente a una encuesta que contestaron los residentes del fraccionamiento.

En el análisis comparativo por TOPSIS como herramienta para la toma de decisiones, la Tabla 2 muestra los resultados obtenidos y, por lo tanto, la mejor alternativa de decisión obtenida, considerando los criterios de decisión de los residentes, fue la de reemplazo por vegetación endémica.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos del método TOPSIS.

Alternativa	$S_i^+$	$S_i^-$	$S_i^+ + S_i^-$	$P_i$	Jerarquizar
1	0.2346	0.2417	0.4763	0.5073	2
2	0.0392	0.3912	0.4305	0.9088	1
3	0.3392	0.0741	0.4133	0.1793	4
4	0.3143	0.1118	0.4261	0.2624	3
5	0.4098	7.20E-18	0.4098	1.75E-17	5

$S_i^+$  = Distancia Euclidiana de cada alternativa con respecto a cada valor

$S_i^-$  = Distancia Euclidiana de cada alternativa con respecto a cada valor

$P_i$  = Puntaje de desempeño.

Estos resultados demuestran que la alternativa de reemplazo por vegetación endémica es tanto la alternativa seleccionada basándose en los criterios individuales de los encuestados como la que fue seleccionada por el mayor número de encuestados.

También se muestra como una alternativa puede cumplir con los criterios individuales, pero ser rechazada por los interesados, ya que la alternativa de reemplazo por zacate artificial es la segunda óptima según TOPSIS pero fue la menos preferida por los encuestados.

## CONCLUSIONES

El método TOPSIS permitió utilizar un procedimiento lógico, simple y estructurado por medio de un algoritmo matemático sencillo aplicado a alternativas muy distintas con criterios complejos de decisión para los residentes de un fraccionamiento al intentar encontrar la mejor alternativa de riego para su parque. Los pesos de los criterios de decisión de los interesados se determinaron por medio de una encuesta.

La complejidad de estos criterios se muestra en la Tabla 1 que presenta un resumen tabulado de las bondades y limitaciones de cada alternativa de forma relativa, es decir, presenta la matriz original de preferencias.

El análisis TOPSIS indica la alternativa que mejor cumple con los intereses de los residentes es la de reemplazo de la actual vegetación del parque por la misma cantidad de vegetación endémica a la región árida y que por lo tanto que requiere de menor riego y mantenimiento, conservando así el mismo uso del espacio y aproximadamente la misma estética del parque.

El análisis efectuado por la metodología TOPSIS, basado en encuestas aplicadas a los interesados sobre sus criterios de decisión, es una herramienta valiosa mediante la cual se puede hacer frente a al escenario actual que comprende aspectos relacionados con cambio climático, escasez de agua potable, aumento de la población, y la necesidad de un espacio natural donde convivir. Resulta una tarea importante el aprovechar eficientemente los recursos naturales en beneficio del ambiente por medio de alternativas tecnológicas que sean del consenso de los interesados, determinado por herramientas como TOPSIS, de tal forma que sean fáciles de implementar y de bajo costo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arcilia, H. R. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Facultad de ciencias básicas .
- [2] Vanoye, P. A. (2016). Uso de agua gris y agua pluvial en desarrollos urbanos de alto poder adquisitivo en Mexico.
- [3] Gutiérrez, M. (2014). Captación pluvial en chihuahua: una alternativa sustentable. El científico frente a la sociedad.

[4] Ivette, S. R. (2010). Los parques como elementos de sustentabilidad de las ciudades. Fuente .

[5] Antoni, F. (2008). Espacios verdes para una ciudad sostenible. Materia Verde.

[6] Zamora, D. T. (2018). Cosecha de agua de lluvia como alternativa para la resiliencia hídrica en León, Guanajuato: una reflexión desde la nueva cultura del agua. Expresión Económica.

[7] Casadevall, M. P. (2016). Manejo del agua con el uso de cero energía. Ingeniería Agrícola.

[8] Villacorta, P. J. (s.f.). Análisis Morfológico difuso lingüístico en el ámbito de la Planificación de Escenarios.

[9] Ceballos, B. (2013). El Método TOPSIS Relativo Vs. Absoluto. Revista Electronica de Comunicaciones y trabajos de ASEPUMA.

[10] Izhizaka, A. (2013). Multi-Criteria Decision Analysis. Portsmouth UK.

### ROLES DE CONTRIBUCIÓN

ROL DE CONTRIBUCIÓN	AUTOR (ES)
Conceptualización	Dr. Arturo Woocay Prieto Cristina Quintero Ávila
Curación de datos	Cristina Quintero Ávila Verónica Sansabas Villalpando Dr. Arturo Woocay Prieto
Metodología	Dr. Arturo Woocay Prieto Cristina Quintero Ávila
Administración del proyecto	Dr. Arturo Woocay Prieto Cristina Quintero Ávila
Recursos	Dr. Hugo Francisco López Herrera Cristina Quintero Ávila
Software	Cristina Quintero Ávila Verónica Sansabas Villalpando Dr. Arturo Woocay Prieto
Supervisión	Dr. Arturo Woocay Prieto
Validación	Dr. Arturo Woocay Prieto M.C. Mirella Parada González
Visualización	Cristina Quintero Ávila
Redacción	Cristina Quintero Ávila
Redacción	Dr. Arturo Woocay Prieto M.C. Mirella Parada González Verónica Sansabas Villalpando Dr. Hugo Francisco López Herrera



Esta obra está bajo  
una licencia internacional  
Creative Commons Atribución 4.0.