



Revista Legado de Arquitectura y Diseño  
ISSN: 2007-3615  
ISSN: 2448-749X  
legado@uaemex.mx  
Universidad Autónoma del Estado de México  
México

## DISEÑO EXPERIMENTAL PARA IDENTIFICAR POTENCIAL DE COSECHA DE HUMEDAD AMBIENTAL EN ENSENADA

**Estrella-Castro, Alberto Enrique**

**Fernández-Melchor, Francisco**

**González-Trevizo, Marcos Eduardo**

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA IDENTIFICAR POTENCIAL DE COSECHA DE HUMEDAD AMBIENTAL EN ENSENADA

Revista Legado de Arquitectura y Diseño, vol. 18, núm. 33, 2023

Universidad Autónoma del Estado de México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477974305014>

# DISEÑO EXPERIMENTAL PARA IDENTIFICAR POTENCIAL DE COSECHA DE HUMEDAD AMBIENTAL EN ENSENADA

EXPERIMENTAL DESIGN TO IDENTIFY POTENTIAL HARVESTING OF ENVIRONMENTAL HUMIDITY IN ENSENADA

*Alberto Enrique Estrella-Castro*

*Universidad Autónoma de Baja California, México*

*a160616@uabc.edu.mx*

*Francisco Fernández-Melchor*

*Universidad Autónoma de Baja California, México*

*francisco.fernandez.melchor@uabc.edu.mx*

*Marcos Eduardo González-Trevizo*

*Universidad Autónoma de Baja California, México*

*eduardo.gonzalez35@uabc.edu.mx*

Revista Legado de Arquitectura y  
Diseño, vol. 18, núm. 33, 2023

Universidad Autónoma del Estado de  
México

Recepción: 28 Junio 2022

Aprobación: 12 Septiembre 2022

**Resumen:** Actualmente, la población mundial sufre una creciente escasez de recursos hídricos, particularmente en México, el estado de Baja California y la ciudad de Ensenada acusan un estrés hídrico acuciado por la poca precipitación pluvial y deficiencias en la red de infraestructura, según el Programa Hídrico 2011-2030 de la Comisión Nacional del Agua (conagua). El propósito de esta investigación es aplicar una metodología para la autoconstrucción de dispositivos atrapaniebla de manera accesible y adecuada para el estudio y prospección de la cosecha de humedad ambiental para el aprovechamiento en viviendas de interés social y/o con vulnerabilidad en cuanto a la disponibilidad de agua potable. Para tal objetivo, se instalaron dos neblinómetros en dos diferentes ubicaciones de la ciudad de Ensenada, Baja California, con materiales de bajo impacto económico y una sencilla metodología de autoconstrucción. Se identificaron dos ubicaciones con potencial para poder emplazar los dispositivos aplicando la metodología de índice de factibilidad de sitios por características, físicas, orográficas y de impacto social. Los neblinómetros fueron colocados de manera perpendicular a las direcciones dominantes del viento en cada sitio, con lo cual se busca potenciar la eficiencia de los dispositivos atrapanieblas. Por lo tanto, este procedimiento de identificación del potencial de la cosecha de humedad ayuda a considerar la cosecha de niebla como una fuente de agua alternativa asequible en esta región, al dar como resultado una relación directamente proporcional entre las variables climáticas-ubicación y la cantidad de agua recolectada por los dispositivos.

**Palabras clave:** cosecha de niebla, diseño de atrapanieblas, fuentes alternativas de agua, humedad, recolección de agua.

**Abstract:** Currently the world population suffers from a growing scarcity of water resources, particularly in México, the state of Baja California and the city of Ensenada show water stress exacerbated by low rainfall and deficiencies in the infrastructure network, according to the 2011 Water Program -2030 of the National Water Commission (conagua). The purpose of this research is to apply a methodology for the self-construction of fog-trapping devices in an accessible and adequate way for the study and prospecting of the harvest of environmental humidity for the use in social interest housing and / or with vulnerability in terms of the availability of drinking water. For this purpose, two neblinometers were installed in two different locations in the city of Ensenada, Baja California, with materials of low economic impact and a simple self-construction methodology.

*Two locations with the potential to be able to place the devices were identified by applying the site feasibility index methodology by characteristics, physical, orographic and social impact. The neblinometers were placed perpendicular to the prevailing wind directions at each site, which seeks to enhance the efficiency of the fog trapping devices. Therefore, this procedure of identifying the potential of the moisture harvest helps to consider the fog harvest as an affordable alternative water source in this region, resulting in a directly proportional relationship between the climatic variables-location and the quantity of water collected by the devices.*

**Keywords:** fog harvest, collector design, water alternatives, moisture, water harvest.

## INTRODUCCIÓN

Aunque el agua parece ser un recurso natural omnipresente, las estadísticas demuestran que de 34.65 millones de km<sup>3</sup> de agua dulce en el planeta, sólo el 0.5% de esta agua está disponible para su uso, según la UNESCO (2019). La mayor parte del agua dulce disponible está limitada a regiones específicas y depende de las variaciones climáticas anuales. México cuenta con una disponibilidad aproximada de 5.000 m<sup>3</sup> por habitante al año, clasificada como disponibilidad media. Sin embargo, la mayor proporción del agua dulce se encuentra en el sur del territorio nacional, según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2016). Mientras que estados como Chiapas y Tabasco tienen una disponibilidad de agua superior a los 20.000 m<sup>3</sup> por habitante al año; en Baja California se cuenta con disponibilidad per cápita anual, menor a los 1.000 m<sup>3</sup> en la mayor parte de su territorio, esto también según datos de CONAGUA (2012).

Debido al problema latente de agotamiento de fuentes de agua potable convencionales, definiéndose como la extracción de agua de fuentes subterráneas o cuerpos superficiales, se ha optado por buscar diversas alternativas para el abastecimiento de agua en distintas partes del mundo, de acuerdo con Jarimi (2020). De ahí la importancia de buscar alternativas de abastecimiento, es decir, aquellas técnicas que buscan extraer el líquido vital de cualquier otra fuente, excepto de las fuentes convencionales (ríos, lagos, mantos freáticos, pozos, etc.), que se encuentran sobreexplotadas, de acuerdo con el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019 de la UNESCO (2019).

Actualmente, en la ciudad de Ensenada se presenta una situación de estrés hídrico, en particular para los hogares en la periferia de la ciudad. Según la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE), se tenía un déficit de 177 l/s; la precipitación anual promedio en Ensenada es de 250 mm, no llegando a un tercio del promedio nacional (773.5 mm), según datos del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), por lo cual persiste una situación de falta de agua para la población (CICESE, 2018).

Con esta investigación se pretende obtener un diseño experimental para identificar el potencial de recolección de humedad ambiental en la ciudad de Ensenada, Baja California, que sirva como una fuente complementaria de agua para los habitantes de las viviendas de interés social que han sufrido del estrés hídrico ya mencionado.

La cosecha de agua por medio de captadores de niebla es una técnica antigua que ha ayudado como fuente de agua en lugares que, de otra manera, no tendrían fuentes de abastecimiento, según Regalado (2019). Esta técnica se ha utilizado con éxito en lugares como Chile, Perú, Namibia, Marruecos, España, entre otros países, de acuerdo con Echeverría (2020) La obtención de agua a partir de la humedad del aire es una técnica sobre la que existen antecedentes de

larga data, según Algarni (2018). El proceso de la captación de niebla es básicamente el proceso de captar la humedad ambiental por medio de un dispositivo o barrera artificial, que usualmente se constituye a partir de una red o malla, por donde la neblina es conducida por la acción del viento, y pasa a través del dispositivo, proceso por el cual las pequeñas gotas de agua suspendidas quedan atrapadas en la red y terminan por condensarse, según Montecinos et al. (2018). Por capilaridad, estas gotas se conducen hacia un depósito en donde termina por colectarse el agua.

Por medio de la metodología de factibilidad de sitios para recolección de niebla de Medina (2012), se definirán dos sitios con potencial teórico para poder emplazar dos neblinómetros de 1 m<sup>2</sup> cada uno. Los neblinómetros serán construidos con las dimensiones regulares propuestas por Schemanuer y Cereceda (1994), y refrendada en bibliografía más reciente, Camacho (2016), Montecinos (2018), sin embargo, se busca que la construcción de los dispositivos pueda realizarse con materiales económicos y de manera autónoma por cualquier persona.

Esta investigación plantea obtener conocimientos de factibilidad del sistema de captación de agua por medio de la neblina, definiendo una ubicación efectiva a partir de las variables climatológicas y geográficas de la ciudad. Asimismo, se propone trabajar con un prototipo autoconstruible y de materiales asequibles al usuario. Esto permitirá que esta fuente alternativa de abastecimiento de agua sea considerada como una solución viable, tanto funcional como económicamente, y que pueda ser aplicada a otras localidades que tengan las mismas características ambientales de Ensenada, y a la vez ayude a que en esas localidades puedan ubicar los neblinómetros en locaciones óptimas.

## **METODOLOGÍA**

La metodología experimental comenzó con un diagnóstico del clima, en tres pasos principales: 1. Análisis del sitio (IASitio/IAS), 2. Análisis climático y 3. Dimensión del sistema. En la figura 1 se puede observar la metodología experimental y los pasos necesarios para llevar a cabo esta investigación, tomando en cuenta los datos meteorológicos de la región.

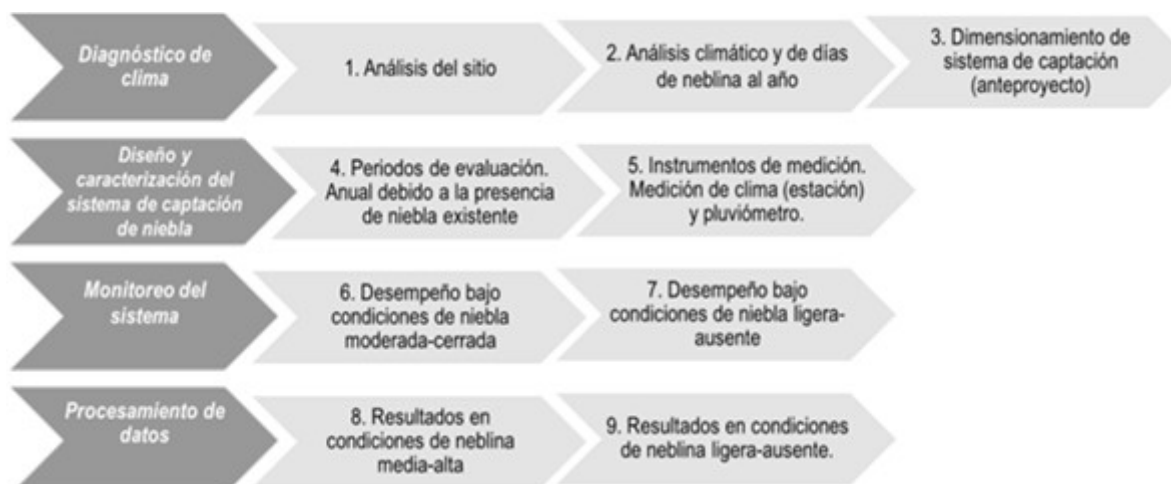


Figura 1. Metodología gráfica del experimento.

Fuente: Elaboración propia.

El sitio de estudio propuesto para el desarrollo de esta investigación es en la ciudad de Ensenada, Baja California, cuya problemática de estrés hídrico justifica la investigación y desarrollo de fuentes alternativas de abastecimiento de agua. Los sitios específicos para llevar a cabo el montaje de los experimentos fueron escogidos con base en un estudio de prospección de locaciones con potencial para ubicar el experimento, en donde se consideraron, tanto las condicionantes en la metodología de prospección de sitios propuesta por Medina (2012), como su accesibilidad para llevar los materiales y equipos, seguridad para los equipos dispuestos y cercanía a las zonas con estrés hídrico para la población.

La prospección de sitios experimentales muestra unos índices de adecuación de acuerdo con las características de cada sitio y con lo cual se puede inferir si el sitio es apto o no para la cosecha de niebla. Este modelo funciona a partir de los aspectos de mayor relevancia para construcción de un modelo teórico (servicios ambientales de fuente y soporte de indicadores), definiendo el Índice de Aptitud de Sitio (IA Sitio) como una suma de los índices de Índice de Aptitud Fisiográfica (iaf), índice de Niebla (in), Índice de Aptitud Meteorológica (iam) e Índice de Aptitud Social.

$$IASitio = IAF (2) + IN (3) + IAM (2) + IAS (2)$$

Donde:

A. Índice Aptitud Fisiográfica (IAF) = Suma de cercanía a zona costa (CZC) + Colinas y montañas (CCM)

El índice va en relación a la cercanía, dando un valor de 3 a una distancia de hasta 1 km, y disminuyendo hasta 0 (distancia mayor a 3 km de costas o montañas). Asimismo, la velocidad de viento media tiene un indicador mayor (3) en función de mayor velocidad. La dirección del viento es mayor en función de vientos dominantes de la zona costa. La humedad relativa se cuantifica mayor (5) al ser igual o mayor al 80%, disminuyendo 1 grado cada diez puntos porcentuales menores. La presencia de neblina se clasifica con puntuación de 3 al haber 8 meses o más de presencia en el año, disminuyendo un punto entre 7 y 6 meses.

El Índice de Aptitud Social (IAS) está en función de los usuarios potenciales que carezcan de acceso al agua potable entubada, o que tengan problemas con el abastecimiento del recurso en zonas costeras y que tengan disposición de colaborar en el proyecto desde un principio para que se encarguen de su funcionalidad y mantenimiento. La mayor puntuación (3) corresponde a usuarios potenciales sin acceso al agua potable entubada, disminuyendo en tanto haya mayor acceso a este servicio.

Con base en esta metodología se llegó a la definición de dos sitios, en donde se explorará tanto la niebla de advección por características orográficas de altitud y cercanía relativa al mar, como la niebla generada por el enfriamiento del aire con humedad de la tierra a la costa. El primer sitio propuesto es en una ubicación del fraccionamiento Pedregal Playitas a una distancia aproximada de 1.2 km de la costa, a 140 msnm y la segunda ubicación es en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) campus Ensenada, unidad Sauzal, a 20 metros de la costa y aproximadamente a 4 msnm.



Figura 2. Ubicación de sitios de experimentación.

Fuente: Google Earth.

Con el fin de aplicar la estrategia metodológica sobre una base de datos histórica de acuerdo con las condiciones climáticas del sitio de emplazamiento se optó por consultar los datos de la estación climatológica automatizada (EMA) del Sistema Meteorológico Nacional (SMN), con una consulta de datos normalizados en el periodo de 2011 a 2020.

Debido a la cercanía del océano Pacífico es notable el aumento de la cantidad de evaporación representada en la figura 3, donde se observa una incidencia superior a la media en los meses de mayo a septiembre, alcanzándose el máximo de 142.50 mm en julio. Esta evaporación muestra un aumento por la temporada de altas temperaturas (figura 4), los meses más cálidos con las temperaturas más altas en la ciudad se dan en julio con una temperatura máxima normal de 29°C a septiembre, con una temperatura máxima normal de 27°C, con alguna incidencia en octubre a causa de los vientos de condición

Santana. A causa de este fenómeno, el aire ambiente aumenta su humedad relativa, acercándose a la saturación (figura 5), con índices máximos en julio y agosto, dando como resultado la potencial formación de niebla en la costa de Ensenada (figura 6), observándose los días de presencia de niebla, con prevalencia superior a la media en los meses de junio a octubre.

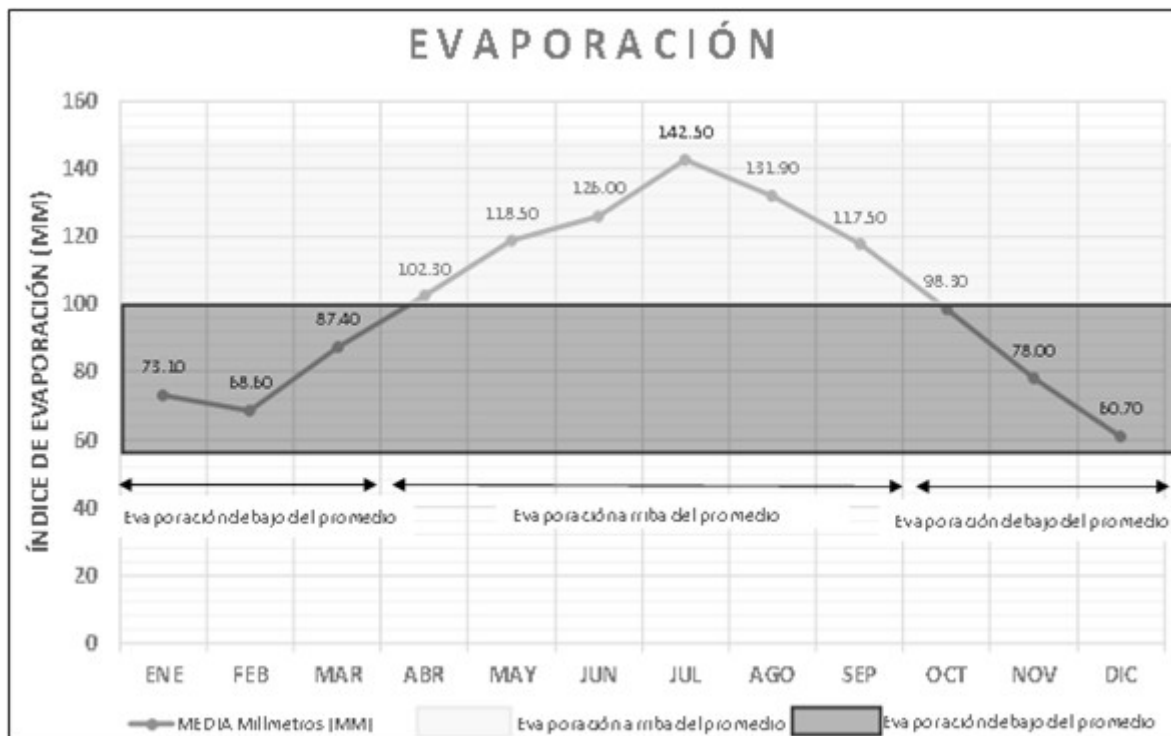


Figura 3. Índice de evaporación anual.  
Fuente: Datos normalizados EMA La Presa, Ensenada BC.

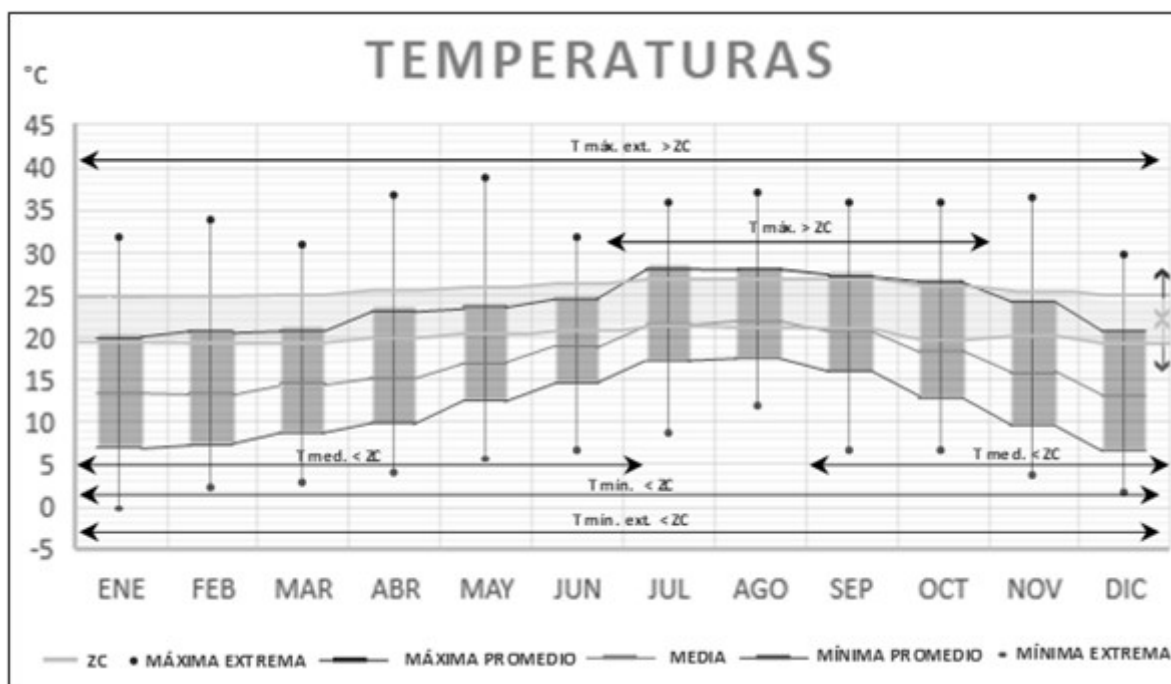


Figura 4. Temperatura bulbo seco anual.  
Fuente: Datos normalizados EMA La Presa, Ensenada BC.

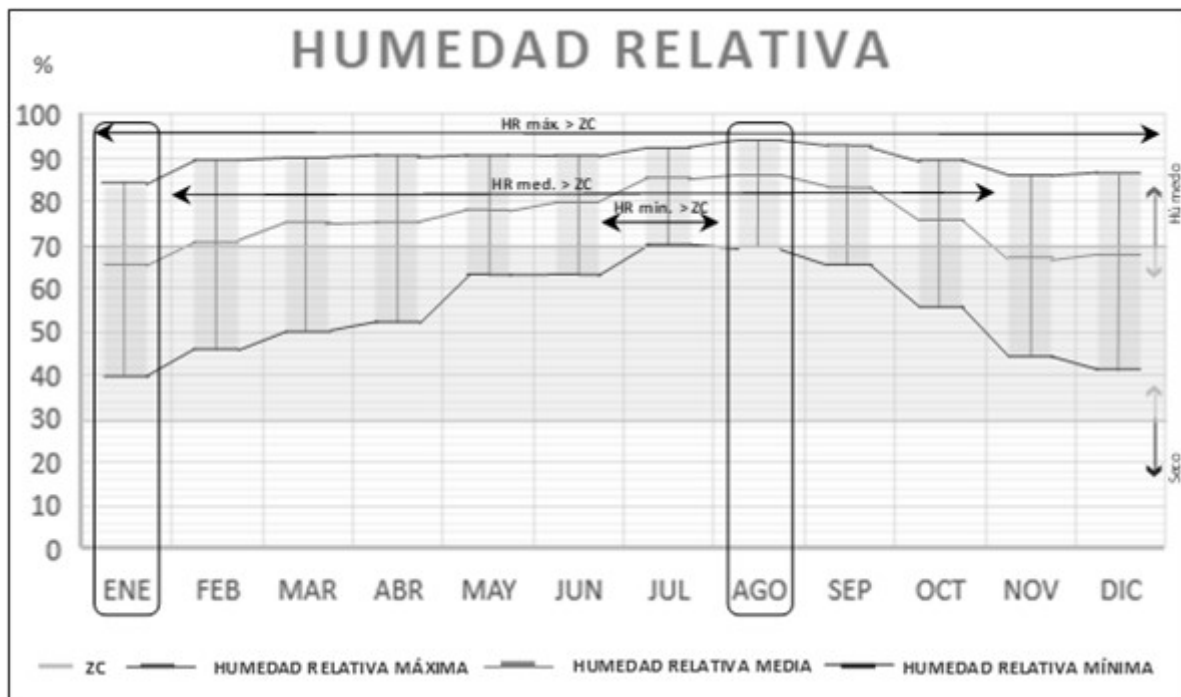


Figura 5. Porcentaje de Humedad relativa mensual.  
Fuente: Datos normalizados EMA La Presa, Ensenada BC.

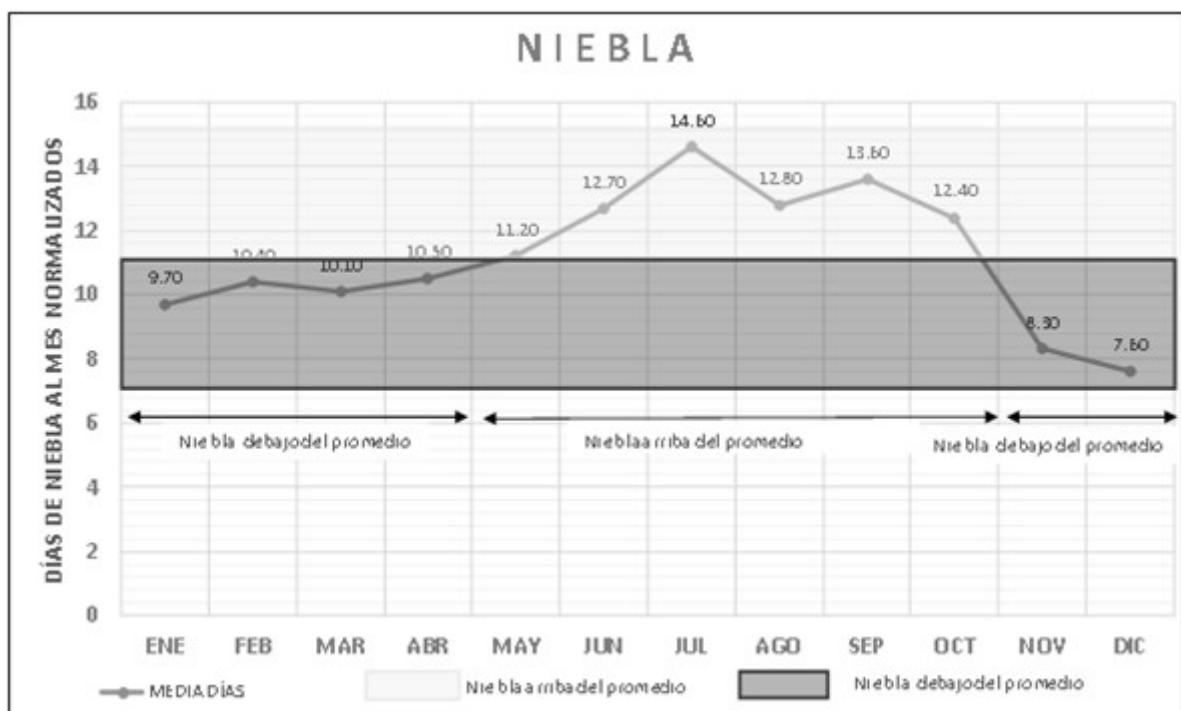


Figura 6. Días con presencia de niebla al mes.  
Fuente: Datos normalizados EMA La Presa, Ensenada BC.

Para el diseño, planeación y construcción de los experimentos, se optó por experimentar con neblinómetros estándar de 1 x 1 metros, los cuales se construyeron de acuerdo con las dimensiones que se mencionan en la literatura consultada, principalmente de los trabajos de Schemanuer y Cereceda (1994) (figura 7). También se tomó en cuenta las consideraciones acerca de la conducción de agua en la parte inferior de los dispositivos, mediante canaletas con pendiente, y el

cuidado para sujetar la malla atrapaniebla a la estructura principal de montaje.

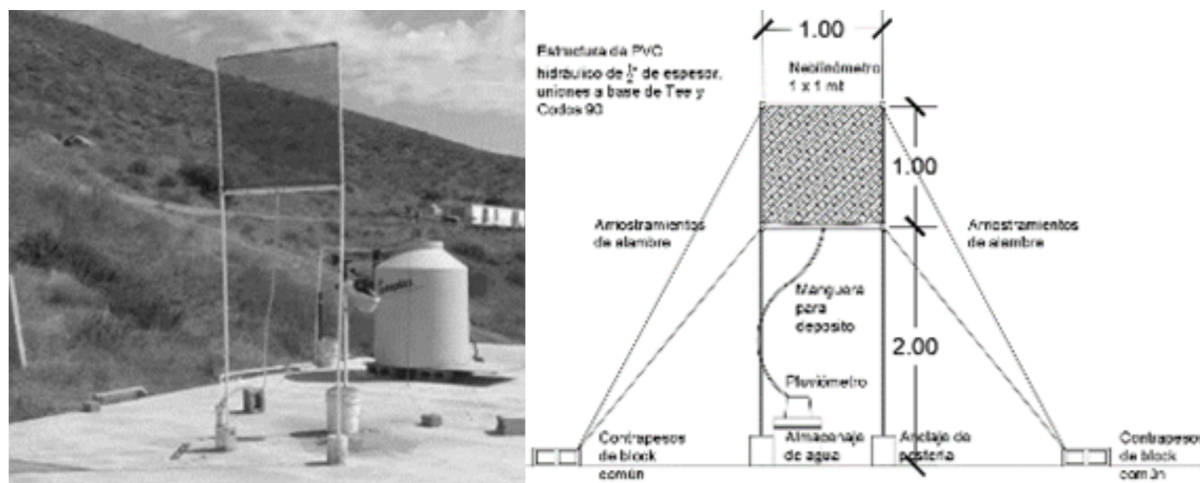


Figura 7 . Esquema de neblinómetro y puesta en sitio.  
Fuente: Diseño propio basado en dimensiones S. Cereceda (1994).

Para considerar el material con el cual se llevaría a cabo la red atrapaniebla, de acuerdo con Schemanuer y Cereceda (1991), se coincide que la malla que regularmente es utilizada por su desempeño, facilidad de instalación, economía y características de diseño es la malla Raschel con un coeficiente de sombra de 35%. Los demás elementos del diseño del atrapanieblas fueron propuestos, consultados y analizados por los autores del presente artículo en función de sus características físicas, facilidad de instalación, economía y ajuste a las características principales del diseño.

Para poder lograr una medición fidedigna de los datos en sitio, se monitorearon tanto las variables climáticas como de la cantidad de agua colectada por los dispositivos atrapanieblas. En el sitio 1 se instaló una estación meteorológica con capacidad para registrar datos de temperatura de bulbo seco, humedad relativa, radiación, y viento (velocidad y dirección), datos guardados a cada media hora. Para registrar la cantidad de agua captada por el neblinómetro se instaló un pluviómetro con captador basculante autovaciado. Se contempló además utilizar depósitos de 19 litros para coleccionar el agua de los dispositivos.

Tanto los dispositivos como la estación climática se colocaron de acuerdo con los estándares de la norma ISO 7726: 1998, dispuestos a una altura al menos a 1.20 metros del nivel del suelo, con el fin de poder medir los datos sin que se interfiera por emisividad de las superficies radiativas, buscando asimismo que no interfieran sombras de elementos aledaños.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis mencionado en la metodología, así como en la literatura clásica consultada, se dieron como resultado 2 sitios con características favorables para la experimentación: en primer lugar una casa-habitación en la colonia Pedregal Playitas, coordenadas

31°52'32.6"N 116°39'41.5"W (31.875708, -116.661530), cuyas características de factibilidad de sitio se enumeran a continuación.

El sitio está a 0.9 km de la costa donde habitan personas que eventualmente sufren de escasez de agua. Los monitoreos muestran que la velocidad del viento promedio es de 11 Km/H provenientes del O (oeste) y una Humedad relativa de 80% con 7 meses de presencia de niebla. Se explora la niebla proveniente del mar, conducido por la topografía con elevaciones próximas a nivel del mar y encañonamientos (figura 8).

Aplicándose el modelo teórico de indicadores se tiene lo siguiente:

$IASitio = IAF(2) + IN(3) + IAM(2) + IAS(2)$ :

Índice Aptitud Fisiográfica (IAF):  $2(3)=6$

Índice Aptitud Meteorológica (IAM): Velocidad viento (VV)+ dirección del viento (DV)+ humedad relativa (H) (2):  $5+5+5(2)=20$

Índice de Niebla (IN): Presencia Media= 2

Índice de Aptitud Social (IAS): 2

$IASitio = 6+20+2+2: 30$



Figura 8 . Características favorables sitio 1 (Pedregal Playitas).

Fuente: Esquematización propia y fotografía Google Earth.

El sitio que se tomó como ejemplo, según el modelo de indicadores, es muy apto para que se instale un atrapanieblas en ese punto, con la clasificación de los sitios, según Medina (2012) resultaría de esta manera:

>30 Muy aptos

25-29 Aptos

<25 No recomendables.

El segundo sitio de experimentación (figura 9), como resultado del proceso de investigación de la factibilidad de sitios, fue en las inmediaciones de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) campus Ensenada-Sauzal, coordenadas 31°51'43.2"N 116°40'03.7"W (31.861992, -116.667702), esto para explorar la niebla de advección a nivel del mar y en una ubicación a menos de 20 metros de la bahía. En este caso, la cercanía del cuerpo de agua del Océano Pacífico con temperaturas inferiores a la temperatura del aire

(la temperatura de la superficie del mar), incide directamente en la condensación de la humedad del aire, con lo cual se tienen características deseables para el experimento.



Figura 9 . Características favorables sitio 2 (UABC).

Fuente: Esquematización propia y fotografía GoogleEarth.

Se tiene como punto de interés un sitio que está a 0.02 km de la costa, sin embargo, no hay pobladores en las inmediaciones, al ser instalaciones de la UABC. Los datos muestran que la velocidad del viento promedio es de 10 Km/H provenientes del SO (suroeste) y una Humedad relativa de 80% con 7 meses de presencia de niebla. Aplicándose el modelo teórico de indicadores se tendría lo siguiente:

$$IASitio = IAF(2) + IN(3) + IAM(2) + IAS(2):$$

$$\text{Índice Aptitud Fisiográfica (IAF): } 2(3)=6$$

$$\text{Índice Aptitud Meteorológica (IAM): Velocidad viento (VV)+ dirección del viento (DV)+ humedad relativa (H) (2): } 5+5+5(2)=20$$

$$\text{Índice de Niebla (IN): Presencia Media}= 2$$

$$\text{Índice de Aptitud Social (IAS): } 0$$

$$IASitio = 6+20+2+0: 28$$

El sitio que se tomó como ejemplo según el modelo de indicadores es apto para que se instale un atrapanieblas en ese punto, con la clasificación de los sitios, según Medina (2012) resultaría de esta manera:

>30 Muy aptos

25-29 Aptos

<25 No recomendables

Realizando un análisis de los factores climáticos que favorecen la formación de neblina se identificaron dos periodos de monitoreo principales, que son el monitoreo en condiciones de neblina ligera-ausente, de octubre a enero y condiciones de neblina moderada-cerrada, en los meses de junio a septiembre. En este caso, el monitoreo principal se realizó en el periodo de neblina ligera-ausente, a partir de mediados de septiembre a la fecha.

En cuanto a la disposición del prototipo experimental se siguieron directrices básicas de la literatura clásica en cuanto al dimensionamiento de los neblinómetros, en este caso una estructura

básica de un marco de 1 x 1 metros, cuyo volumen de captación puede ser extrapolado fácilmente a manera de estimar el volumen necesario para contribuir al gasto de agua de una vivienda promedio.

Los materiales propuestos para el montaje de los neblinómetros fueron los mostrados en la tabla 1, con costos a la fecha de agosto de 2021, en pesos mexicanos, costos comerciales en ferreterías con acceso al público en la ciudad de Ensenada.

Tabla 1 . Costos aproximados por 1 Neblinómetro.

| Material                                     | Precio unitario | Total           |
|----------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 8 ml de tubería de PVC hidráulico ½"         | \$20.00         | \$160.00        |
| 2 tees de PVC hidráulico ½"                  | \$5.00          | \$10.00         |
| 2 Yees de PVC hidráulico ½"                  | \$6.00          | \$12.00         |
| 4 kg cemento                                 | \$15.00         | \$60.00         |
| Bolsa cinchos plástico                       | \$25.00         | \$25.00         |
| 1 kg. de alambre recocido                    | \$30.00         | \$30.00         |
| 1 m <sup>2</sup> de malla raschel 35% sombra | \$200.00        | \$200.00        |
| 12 clavos de 4"                              | \$0.50          | \$6.00          |
| 1 vr #3 20'                                  | \$120.00        | \$120.00        |
| Manguera transparente ¾"                     | \$30.00         | \$30.00         |
|                                              | <b>TOTAL</b>    | <b>\$653.00</b> |

Fuente: precios agosto de 2021 en ferretería Loyola, Ensenada, Baja California.

El diseño de los dispositivos consta de un marco de 1 x 1 metros hecho con estructura de tubería de PVC de  $\frac{1}{2}$ " a la cual se fijó 1 m<sup>2</sup> de malla raschel de índice de sombreado (IDS) de 35%, sujeta a todo el perímetro con cinchos de plástico de  $\frac{1}{4}$ " a cada 15 centímetros. Este marco se fijó a dos postes de 2 metros de altura contruidos en este caso también con tubería PVC de  $\frac{1}{2}$ " rigidizada con una varilla de  $\frac{3}{8}$ " al interior de la tubería.

Para recolectar el agua, se adaptó una canaleta de PVC en la parte inferior, conduciendo el agua con una manguera de nivel de  $\frac{3}{4}$ " que caerá por gravedad (goteo) hacia un pluviómetro, y posteriormente a un depósito de 19 litros, con el fin de recolectar el agua captada.

El experimento de la locación 1 (Pedregal Playitas-PP) está montado en la azotea de una vivienda prototípica unifamiliar (figura 10). En la estructura se adaptaron amarres o arriostramientos en las esquinas del marco de malla en perpendicular hacia la superficie del montaje. Estos arriostramientos están hechos de alambre recocido, y su función es absorber los esfuerzos a los que está sometida la estructura por la acción del viento.



Figura 10 . Experimento en ubicación Pedregal Playitas.

Fuente: Fotografía propia.

El experimento en la locación 2, Universidad Autónoma de Baja California (UABC), se montó con las mismas características. Tomándose en cuenta la dirección dominante del viento en esta zona, es decir, suroeste, y adaptando arriostramientos de alambre en las esquinas del dispositivo (figura 11).



Figura 11 . Experimento ubicación 2 UABC, arriostramientos diagonales.

Fuente: Fotografía propia.

## CONCLUSIONES

Es importante el proceso de medición del potencial de la cosecha de humedad ambiental con dispositivos neblinómetros de poco impacto económico, estructural y ecológico como pieza fundamental al proceso previo de dimensionamiento de atrapanieblas de mayores dimensiones que permitan contribuir al gasto de agua de los hogares con problemática de falta de agua y aporte hídrico en la región.

Con base en las observaciones realizadas, durante el desarrollo de este experimento, se recomienda cuidar de manera especial de la estructura de los dispositivos, sobre todo en relación a la acción del viento. Es posible trabajar este tipo de estructuras con materiales económicos y ligeros, aún sin fijaciones permanentes o anclajes en la estructura, pero es necesario cuidar de la estabilidad del dispositivo.

En el caso de estos experimentos, ha sido importante para la recolección de agua la disposición de la malla atrapaniebla perpendicularmente hacia la dirección dominante del viento. Esto ayuda a que la recolección de agua sea más eficiente en las condiciones de presencia de niebla. También se concluye y recomienda que siempre se realice un arriostramiento, y en el caso de este experimento fue suficiente con alambre recocado colocado de manera perpendicular y unida a los puntos de unión del dispositivo.

Para este fin, es posible utilizar materiales de fácil acceso y recurrir a estrategias estructurales con apoyo de tutores o bibliografía dedicada a estructuras sometidas a esfuerzos por viento. En este caso los dispositivos son muy pequeños, pero en el caso de tener éxito y requerirse mayores superficies de mallas atrapanieblas, es prudente recurrir a un estructurista experto para calcular los refuerzos necesarios.

También se recomienda que los futuros investigadores dediquen un tiempo a estudiar la logística de los sitios donde emplazar los atrapanieblas, ya que esta experiencia nos ha mostrado que a veces los sitios en donde se observa mayor presencia de niebla son agrestes y de difícil acceso, por lo que es necesario considerar también esta posible complicación en el desarrollo de esta tecnología, asimismo considerar

la logística para hacer llegar el agua de estas locaciones a donde se ocupe.

## Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma de Baja California, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

Asimismo, a varias personas que apoyaron directa e indirectamente a este proyecto, Annabel Rodríguez Gamboa, Mauricio Razo Casillas, Guillermo Castro Verdugo y Eduardo Castro Freyre.

## FUENTES DE CONSULTA

- Algarni, S. (2018), "Assessment of fog collection as a sustainable water resource in the southwest of the Kingdom of Saudi Arabia", *Water and Environment Journal*, vol. 33, núm. 2. Print ISSN 1747-6585. doi:10.1111/wej.12330.
- Camacho, A. (2016), Análisis de las estrategias de adaptación a la escasez hídrica de las empresas vitivinícolas del Valle de Guadalupe, B.C. Disponible en <https://www.colef.mx/posgrado/tesis/20141170/>, consultado el 12 de mayo de 2021
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (cicese) (2018), Agua en Ensenada: Más abasto, pero persiste la escasez. Disponible en <https://centrosconacyt.mx/objeto/agua-en-ensenada/>, consultado el 1 de marzo de 2021.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2012), Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California.
- Echeverría, P., Domínguez, C., Villacís, M. & Violette, S. (2020), "Fog harvesting potential for domestic rural use and irrigation in San Cristobal Island, Galapagos, Ecuador", *Geographical Research Letters*, vol. 46, núm. 2, pp. 563-580.
- ISO 7726:1998 Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas. Disponible en <https://www.iso.org/standard/14562.html>, consultado el 18 de febrero de 2022.
- Jarimi, H., Powell, R. & Riffat, S. (2020), "Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting", *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 15, núm. 2, pp. 253-276.
- Medina Domínguez D. (2012), Propuesta de modelo teórico de indicadores para la implementación de atrapanieblas como fuente alterna de obtención de agua: Caso de estudio en Ensenada, Baja California, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas.
- Montecinos, S., Cereceda, P. & Rivera, D. (2018), "Fog collection and its relationship with local meteorological variables in a semiarid zone in

Chile”, *Atmosfera*, vol. 31, núm. 2, pp.143-153. <https://doi.org/10.20937/ATM.2018.31.02.03>.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2019), *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. Disponible en <https://es.unesco.org/water-security/wwap/wwdr/2019#download>, consultado el 20 de septiembre de 2020.

Regalado, C. M. & Ritter, A. (2019), “On the estimation of potential fog water collection from meteorological variables”, *Agricultural and Forest Meteorology*, 276-277(June), 107645. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107645>.

Schemenauer R.S., Cereceda P. (1994), “A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions”, *J. Appl. Meteorol*, 33, pp. 1313-1322. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033%3C1313:APSFCF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033%3C1313:APSFCF%3E2.0.CO;2).

Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua (SMN-CONAGUA) (s.f.), *Normales Climatológicas del periodo 2011-2020*[Alberto E13], Observatorio Sinóptico de Ensenada, Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua, Ensenada, B.C.