


# Análisis del sistema de atrapanieblas y rocío por medio de una malla tejida de plástico PET

## Analysis of the fog and mist catcher system using a woven PET plastic mesh

Gustavo A. Ortiz-Aguas <sup>a</sup>, Sergio A. Martínez-González <sup>b</sup>, Carlos A. Lucho-Constantino <sup>c</sup>

Carlos A. Bigurra-Alzati <sup>d,\*</sup>

<sup>a</sup> Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Coyoacán, Ciudad de México, CDMX, México

<sup>b</sup> Área de Estudios Ambientales de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México, 57171, Cd. Nezahualcóyotl, México.

<sup>c</sup> Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

<sup>d</sup> Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

### Resumen

El estrés hídrico es una realidad cada vez más acuciante en el mundo, se manifiesta como la escasez o mala calidad del agua dulce disponible para satisfacer las necesidades humanas. La obtención de agua a partir de recursos hídricos alternativos puede ayudar a reducir la presión sobre los recursos hídricos tradicionales y garantizar un suministro de agua confiable. El sistema de captura de agua de niebla es una opción de tecnologías sostenibles, el cual es viable para comunidades con las condiciones físicas adecuadas. Sin embargo, la disponibilidad y el costo de la malla Raschel pueden ser un obstáculo para su implementación. Por este motivo, la implementación de una malla plástica de Tereftalato de Polietileno = PET tejido, se presenta como una oportunidad para integrarse al sistema de captura de agua de niebla, considerando las evaluaciones mecánicas del material y la comparación de su eficiencia en la captura de agua en contra del sistema estándar con malla Raschel.

**Palabras Clave:** Captura de agua de niebla y rocío, Escasez de agua, Recursos hídricos, Tecnologías sostenibles.

### Abstract

Water stress is an increasingly pressing reality in the world; it manifests itself as the scarcity or poor quality of fresh water available to satisfy human needs. Procuring water from alternative water resources can help reduce pressure on traditional water resources and ensure a reliable water supply. The fog water capture system is a sustainable technology option, which is viable for communities with adequate physical conditions. However, the availability and cost of Raschel mesh may be an obstacle to its implementation. For this reason, the implementation of a plastic mesh made of Polyethylene Terephthalate = woven PET is presented as an opportunity to integrate into the fog water capture system, considering the mechanical evaluations of the material and the comparison of its efficiency in capturing water compared to the standard system with Raschel mesh.

**Keywords:** Fog and dew water capture, Water scarcity, Water resources, Sustainable technologies.

## 1. Introducción

Se estima que para el año 2030, la mitad de la población mundial vivirá en regiones con alto estrés hídrico, lo que significa que la disponibilidad de agua será un problema crítico (Rojas Alberto, 2022).

Ahora bien, como parte de las medidas de mitigación propuestas por las instituciones dedicadas a la gestión de los recursos hídricos, la Comisión Nacional del Agua cuenta con

programas de técnicas de captación de agua dirigidas a comunidades para el uso y mantenimiento adecuado de sistemas de captación de agua de lluvia, dejando excluida la posibilidad de obtener agua de otros recursos hídricos como la niebla (CONAGUA, 2016).

El sistema de captura de agua de niebla y rocío es una alternativa para obtener agua en sitios con condiciones físicas adecuadas, técnica reconocida en el año 2000 dentro del Manual de Captación y Aprovechamiento de Agua en Zonas

\*Autor para la correspondencia: carlos\_bigurra@uaeh.edu.mx

**Correo electrónico:** tarantularq@comunidad.unam.mx (Gustavo Arturo Ortiz-Aguas), sergiomartinezl5@aragon.unam.mx (Sergio Alfonso Martínez-González), carlos\_lucho8906@uaeh.edu.mx (Carlos Alexander Lucho-Constantino), carlos\_bigurra@uaeh.edu.mx (Carlos Alfredo Bigurra-Alzati).

Áridas y Semiáridas de América Latina de la Organización de las Naciones Unidas – ONU (FAO, 2000).

Las estructuras estándar para atrapar agua de niebla se componen de dos elementos principales, un bastidor metálico y una malla plástica. El bastidor metálico proporciona soporte estructural a la malla, mientras que la malla es la superficie de impacto de las gotas de agua de niebla.

Uno de los problemas que afecta a los proyectos de recolección de niebla es el mantenimiento de los colectores. Estos son propensos a sufrir daños por vientos fuertes, la exposición al sol y otros factores ambientales que afectan la estructura y sus componentes (Schemenauer et al, 2005).

El bastidor suele estar hecho de acero o aluminio y se fija al suelo con cables y postes. Los perfiles metálicos y cables del bastidor se caracterizan mecánicamente, se conocen sus límites de resistencia a compresión y tracción.

Por otro lado la malla plástica Raschel, se utiliza comúnmente en la agricultura y no presenta características mecánicas específicas.

Cuando la malla se integra a un sistema de recolección se ve sometida a la fuerza del viento. Es entonces cuando el conocimiento de las propiedades mecánicas de la malla toma importancia.

La captación de agua de la niebla depende de las características específicas de la niebla en cada región, como el tamaño de las gotas, la cantidad de agua líquida, la dirección y velocidad del viento, y la eficacia del dispositivo de recolección. Además, factores como la aerodinámica de la malla, la turbulencia, la obstrucción de la malla, las uniones y el arrastre de las gotas influyen de manera no lineal, lo que dificulta la validación de la eficiencia teórica (Regalado y Ritter, 2017).

La producción de agua de niebla depende de dos factores, las características de la niebla y el dispositivo. Según Jindra Goodman, la existencia de más estudios registrados con diversos diseños y metodologías permitiría establecer correlaciones empíricas entre ellos, posibilitando así extrapolar sus hallazgos a nivel global (Goodman, 1985).

### 1.1. Tipos de Mallas

Resulta relevante enfatizar que en la actualidad, el análisis de esta tecnología se encuentra en una fase de maduración. Los últimos cinco años las investigaciones relacionadas a la malla se han centrado en estudiar la influencia de las características de la humectabilidad de la superficie y ha dado lugar a una serie de proyectos de investigación enfocados en la exploración de diversos materiales con miras a aumentar la eficacia en la captación.

Se han estudiado, bajo métodos controlados en laboratorio, la implementación de mallas metálicas, superficies bioinspiradas, diseño de fibras y el estudio de superficies superhidrófilas y superhidrófobas.

En el trabajo del Químico Zhouliang Peng “*Origami-like 3D Fog Water Harvester with Hybrid Wettability for Efficient Fog Harvesting*”, se desarrolló una superficie plana plegada considerando ángulos adecuados para permitir una alta hidrofobicidad y recubierta con una combinación de óxido de zinc y polidimetilsiloxano, un tipo de silicona. Este enfoque busca potenciar la hidrofobicidad y en consecuencia, incrementar significativamente la superficie apta para la

captación de agua (Peng et al., 2023). Sin embargo el tratamiento para la producción de la superficie altamente hidrofóbica, no es accesible para la mayoría de la población, siendo métodos controlados en el laboratorio.

La malla comúnmente usada en los sistemas de captura de agua de niebla está fabricada de distintos materiales como polietileno, polipropileno, poliéster o derivados acrílicos y son elaboradas con distintos grados de transmisión, absorción, porosidad al aire y reflexión de la radiación solar (Barrera, 2017). Además, son derivadas del procesamiento del petróleo, lo que implica un elevado consumo de recursos naturales, como agua y energía eléctrica durante su producción (Rivera, 2020).

### 1.2. Malla de PET

Debido a las dificultades que enfrentan las comunidades rurales alejadas de los centros urbanos para acceder a mallas plásticas, se hace necesario explorar opciones para la construcción y producción de estos dispositivos.

La fabricación local de mallas tejidas con plástico PET (Musaddaq et al., 2020), representaría una solución viable, ya que permitiría reducir los costos para implementar el sistema, y de esta manera fomentar el desarrollo económico en la región.

Esta investigación busca evaluar la eficiencia de recolección de agua de niebla con una malla tejida de plástico PET. Para ello, se analizarán las propiedades de la malla, como el tipo de tejido, tamaño de poros, diámetro de fibras y sus características mecánicas, como la resistencia a la tensión y su comportamiento a velocidades máximas de 10 m/s, con la finalidad de verificar que resistirá el viento durante su operación. Además, se evaluará la degradación del material para garantizar su viabilidad en la implementación.

Los plásticos semirrígidos como el PET, se caracterizan por su capacidad de deformarse bajo carga sin romperse, pero manteniendo una forma definida después de la deformación.

La resistencia de un material plástico para contraponerse al viento está directamente relacionada con su capacidad de resistir la deformación. En el caso de la malla de plástico PET, se espera que su alta resistencia a la tracción y buena elongación le permitan resistir la fuerza del viento.

Los ensayos de tracción son pruebas experimentales que se utilizan para determinar las propiedades mecánicas de materiales como: el módulo de Young, límite elástico y ductilidad y se emplean para conocer las propiedades mecánicas de la malla de plástico PET.

## 2. Métodos de evaluación

Se evaluó una serie de probetas de plástico PET para conocer la capacidad de la malla para resistir la fuerza a la que será sometida durante su funcionamiento. Para evaluar esta propiedad, se utilizó el método de tira ancha bajo la norma ASTM D638 (2014), método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos (Figura 1).

Para esta prueba se dimensionaron las probetas y se seleccionó la velocidad adecuada con base en las tablas de categorización del material. Las pruebas se realizaron a dos grupos (A y B) de especímenes de hilo PET. El grupo A, corresponde a 5 probetas de hilo obtenido de botellas de agua

de plástico PET reciclado, el grupo B se integró por 5 probetas de hilo de botellas de agua de plástico PET virgen.

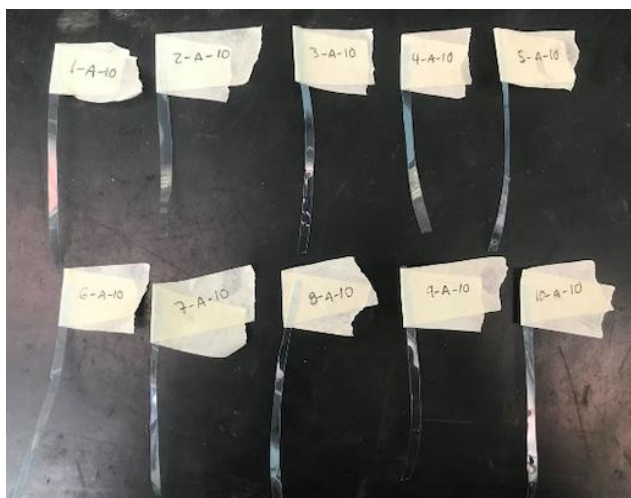


Fig. 1 Elaboración y toma de dimensiones de probetas para pruebas mecánicas a plástico del grupo B, bajo el método de tira ancha, ASTM D638. Fuente: elaboración propia.



Fig. 3 Probetas cuadradas de malla tejida de plástico PET y malla sombra Raschel 35% sombra para pruebas de eficiencia de recolección en cámara de evaporación-condensación Fuente: elaboración propia.

Al interior se montaron las probetas y se colocó un anemómetro con bluetooth que registró la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento durante el periodo de evaluación (Figura 4).



Fig. 4 Montaje de probetas dentro de cámara de evaporación - condensación. Fuente: elaboración propia.

Para conocer la eficiencia de recolección de agua de niebla se creó un ciclo de evaporación y condensación dentro de un volumen dividido en tres cámaras (Figura 2). Al interior se probaron dos probetas, cada una de diez centímetros por diez centímetros, una con malla Raschel 35% sombra y una con malla de plástico PET. Cada probeta se pesó previo al inicio del experimento y al término del experimento para conocer la cantidad de agua obtenida durante el periodo de experimentación de diez minutos (Figura 3).

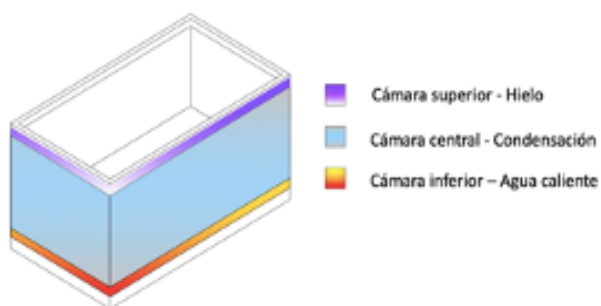


Fig. 2 Secciones de volumen. Cámara de evaporación - condensación. Fuente: elaboración propia.

En la cámara inferior se colocó agua caliente a una temperatura entre 65 °C y 68 °C. En la parte superior de la cámara se colocó una tapa de hielo. El agua caliente del fondo pasó a vapor de agua que se encontró con el aire frío del hielo. El aire frío provocó la condensación del agua convirtiéndola en agua líquida, el agua líquida cayó y quedó suspendida en pequeñas gotas en la cámara central. Mientras se produjo este cambio físico, se generó viento en la cámara central mediante un ventilador con control de velocidad.

### 3. Resultados

Al determinar el módulo de elasticidad, se pudo evaluar la resistencia y rigidez de la malla. Un valor alto de este parámetro garantiza una mayor capacidad de la malla para soportar cargas de viento sin deformarse significativamente además de indicar su límite de carga antes de la falla.

Las pruebas se realizaron en una máquina electromecánica de ensayo universal AGS-Shimadzu, con los parámetros de velocidad indicados en la norma ASTM D638 (2014).

Los resultados se integraron a una gráfica de esfuerzo-desplazamiento, también conocida como curva de tensión y deformación.

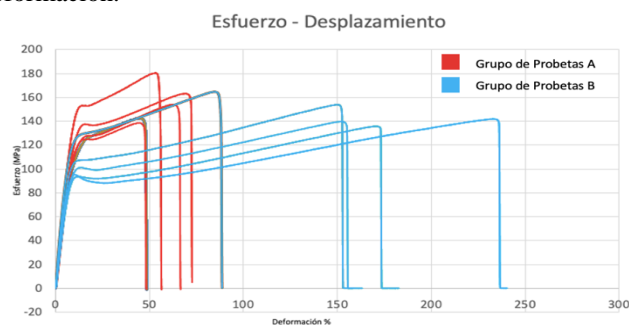


Fig. 5 Gráfica de Esfuerzo - Desplazamiento, superposición de resultados de probetas del grupo A y grupo B. Fuente: elaboración propia.

Para efectuar un análisis detallado de las diferencias en la resistencia a la tracción entre los dos grupos de probetas, se realizó una superposición gráfica de los valores máximos de esfuerzo registrados para cada grupo. Esta representación permitió visualizar de manera clara las variaciones en la capacidad de cada grupo para soportar fuerzas de tensión antes de fracturarse (Figura 5).

Adicionalmente, se integraron a la gráfica las líneas que representan el esfuerzo máximo promedio que cada grupo de probetas puede soportar antes de romperse. Estas líneas de referencia proporcionan un valor de la media cuantitativa de la resistencia a la tracción general de cada grupo, facilitando la comparación entre ellos y la evaluación de su desempeño individual (Figura 6).

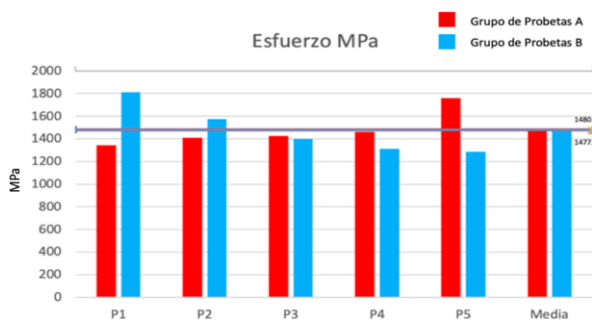


Fig. 6 Gráfica de Esfuerzo MPa, superposición de resultados de probetas del grupo A y grupo B con valor de Media de 1480.662 Mpa para grupo A y 1477.474 Mpa para grupo B. Fuente: elaboración propia.

Esta información es fundamental para comprender el comportamiento mecánico de los materiales utilizados y para seleccionar el material adecuado para su implementación en el sistema de captura de agua de niebla.

Las resultantes de los porcentajes de deformación y el valor de la media de cada grupo de probetas se integraron a una gráfica de barras para analizar las diferencias. El análisis de los datos de deformación reveló diferencias significativas entre los grupos de probetas. Las probetas del grupo B mostraron una deformación a la tensión considerablemente mayor (232.83%), en comparación con las del grupo A (69.31%). Esta mayor capacidad de deformación del grupo B es un factor para resistir las fuerzas de tracción que el viento ejerce sobre las estructuras. Se espera que la deformación actúe como un mecanismo de disipación de energía, absorbiendo una parte de la fuerza del viento y reduciendo el riesgo de rotura (Figura 7).

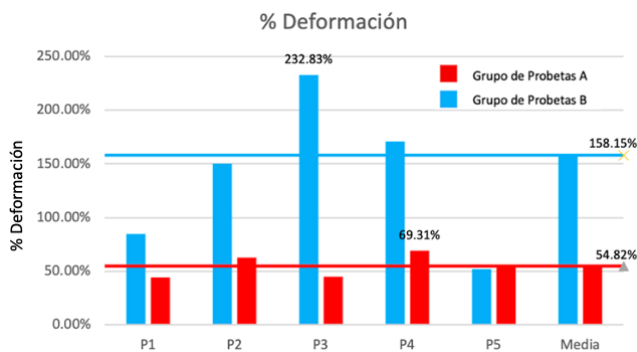


Fig. 7 Gráfica de porcentaje de deformación, superposición de resultados de probetas del grupo A y grupo B y valor de Media de 54.82% para grupo A y 151.15% para el grupo B. Fuente: elaboración propia.

La eficiencia de recolección de agua de niebla depende de la interacción entre el tamaño de las gotas, la velocidad del viento y las características de la malla. Las condiciones ideales para la captura de niebla implican gotas pequeñas, alrededor de 11  $\mu\text{m}$ , vientos moderados, entre 3.5 y 6.5 m/s y una malla Raschel 35% sombra. La eficiencia aumenta con la densidad de los filamentos de la malla, pero también aumenta el riesgo de obstrucción (Schemenauer, 2015).

Durante la prueba se registraron las condiciones físicas que se generaron al interior de la cámara de condensación y evaporación.

Se obtuvieron los siguientes datos, suficientes para correlacionarse y de esta manera conocer la temperatura adecuada para la formación de rocío.

La temperatura promedio del ambiente durante el periodo de evaluación fue de 26.33  $^{\circ}\text{C}$ . De la misma manera se monitoreó la relación entre la humedad relativa y la presión atmosférica lo que permitió registrar la temperatura adecuada para la formación de rocío. En la Figura 8, se indica en color rojo la temperatura ambiente, la línea en color azul la temperatura adecuada para la formación de rocío y la línea amarilla el promedio de temperatura durante la evaluación.

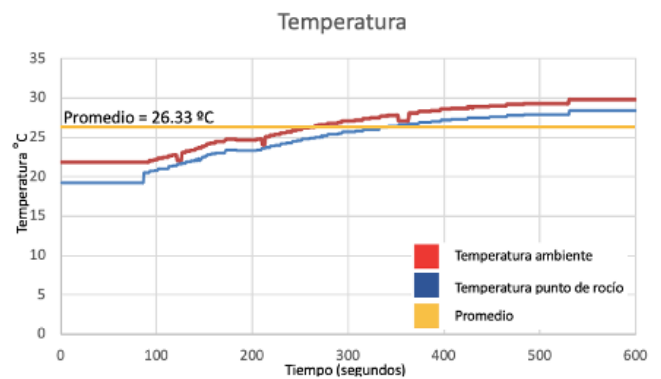


Fig. 8 Gráfica de temperaturas durante periodo de evaluación de 600 segundos. Se indica la línea de promedio de 26.33  $^{\circ}\text{C}$ . Fuente: elaboración propia.

Se registró la velocidad del viento que se generó al interior de la cámara de evaporación. Durante la evaluación la producción de viento fue importante, ya que permitió que las gotas de agua tuvieran un flujo con dirección a las probetas para permitir el impacto en la superficie de las mallas. Se presentaron variaciones en la velocidad del viento (Figura 9).

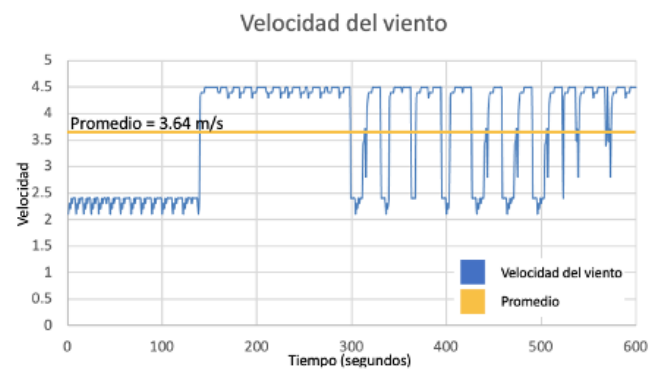


Fig. 9 Gráfica de velocidad del viento durante periodo de evaluación de 600 segundos. Se indica la línea de promedio de 3.64 m/s. Fuente: elaboración propia.

También se registró el porcentaje de humedad relativa (HR%) al interior de la cámara de evaporación. Los datos de HR% se relacionaron con la temperatura ambiente y la presión atmosférica para obtener la temperatura en la cual se lleva a cabo la formación de rocío. Se obtuvo un promedio de porcentaje de humedad relativa de 98.64% (Figura 10).

Se registraron los pesos de cada probeta previo al inicio del experimento y posterior al término del experimento obteniéndose una diferencia de peso de 1.2 gramos para la probeta de malla Raschel y una diferencia de peso de 1.8 gramos para la probeta de malla PET (Figura 11).

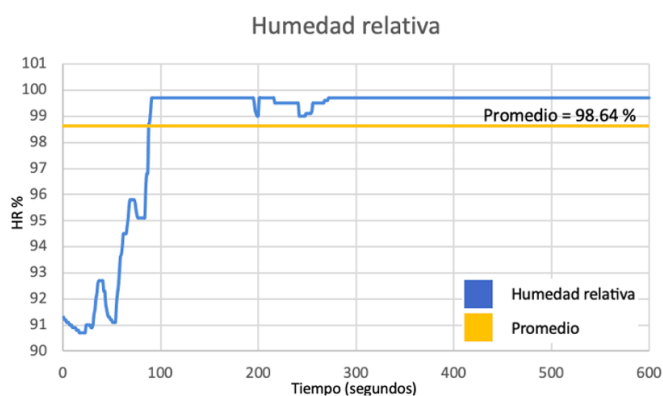


Fig. 10 Gráfica de humedad relativa durante periodo de evaluación de 600 segundos. Se indica la línea de promedio de 98.64 %. Fuente: elaboración propia.

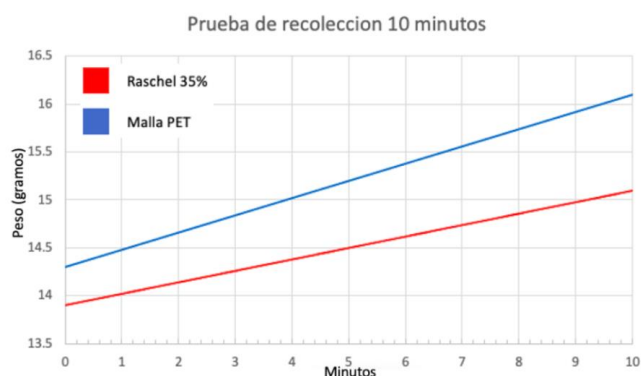


Fig. 11 Gráfica de superposición de diferencia de pesos de probetas durante el periodo de prueba. Fuente: elaboración propia.

#### 4. Discusión

En etapas posteriores de la investigación se determinará la eficiencia de recolección del dispositivo atrapanieblas con malla tejida de PET en comparación con un dispositivo de malla Raschel 35% sombra. El dispositivo de control será un colector de niebla estándar - SFC (Montecinos et al., 2018), con malla Raschel 35% sombra de 1.00 m<sup>2</sup>, colocado a un metro sobre el nivel del piso, que será testigo para comparar la eficiencia de recolección contra el dispositivo construido con malla tejida con PET. De acuerdo con la literatura, esta comparación es uno de los dos métodos válidos para conocer la eficiencia de recolección de agua con relación a la superficie y tiempo de niebla.

Se llevará a cabo el análisis de las condiciones climáticas en el caso de estudio, permitiendo identificar los periodos con

mayor presencia de niebla, así como el tipo de niebla que predomina. Para ello, se consultaran estudios climáticos existentes y se interpolaran datos meteorológicos locales con apoyo de programas climáticos como Meteororm y Climate Consultant, apoyados también en el uso de las normales meteorológicas obtenidas del Instituto Meteorológico Nacional.

Para el tejido de la malla PET se debe de considerar que no se obstruyan los poros entre la malla debido a la saturación por las gotas de agua.

La eficiencia de deposición aumenta al disminuir el diámetro de la fibra y aumentar la velocidad del viento. (Rivera et al, 2015).

En el marco de evaluación de la malla tejida de PET para su aplicación en un sistema de captura de agua de niebla, se procederá a realizar un análisis detallado de secciones cuadradas de 20cm x 20cm. La metodología empleada se basará en el método de prueba estándar para las propiedades de tracción de geotextiles mediante el método de tira ancha, tal como se establece en la Norma ASTM-4595 (2017). Esta norma proporciona un marco riguroso para la evaluación de las propiedades mecánicas de materiales textiles.

Rivera demostró que el patrón de tejido de la malla Raschel genera una anisotropía significativa en sus propiedades mecánicas, especialmente en relación a la resistencia al viento. Según su estudio, la dirección longitudinal del tejido presenta filamentos continuos, mientras que la sección transversal de estos son discontinuos y se encuentran anudados a los longitudinales, lo que influye directamente en su comportamiento mecánico. A lo largo de la dirección de tejido longitudinal, hay filamentos continuos, mientras que, en la sección transversal, los filamentos no son continuos y están anudados a los longitudinales (Rivera et al, 2015).

La malla también es propensa a dañarse bajo radiación UV. En general, las mallas tienen una vida útil de 5 a 10 años, excluyendo los daños ambientales (Verbrugge, 2023).

El envejecimiento acelerado se convierte en una herramienta para estimar la vida útil de este componente dentro del sistema. La técnica permite simular controladamente y en un lapso de tiempo corto los efectos del deterioro que, en condiciones de uso real, tardarían años en manifestarse. Mediante la aplicación de factores de estrés como la exposición a la radiación ultravioleta, alta temperatura, humedad y otros agentes agresivos, es posible provocar en la malla de plástico una degradación similar a la que experimentará en su entorno operativo habitual.

Las normas ASTM G151-19 (2019) y ASTM G154-16 (2016) establecen métodos estandarizados para evaluar la degradación de materiales no metálicos causada por la radiación ultravioleta - UV, mediante pruebas de envejecimiento acelerado. Permiten simular el impacto de la exposición prolongada a la luz solar y otras fuentes de radiación ultravioleta, proporcionando información valiosa sobre la resistencia y durabilidad de diversos materiales.

Para las pruebas de corrosión se considerará el uso de una cámara Accelerated Weathering Tester - QUV, donde se colocaran 6 probetas de la malla plástica de PET. Para acelerar el proceso de envejecimiento se ajustará la intensidad de la luz del equipo QUV a 0.95 W/m<sup>2</sup>/nm durante por ciclo de prueba.

El periodo de prueba será de 8 horas, con intervalos de spray de 15 minutos con agua salina y una condensación a 50 °C durante 3.45 horas.

Las probetas se pesaron y analizaron con microscopio previo al inicio de las pruebas. Al término de las pruebas se tomaron nuevamente los pesos y el análisis con microscopio para conocer las diferencias físicas. Se planea realizar pruebas mecánicas con probetas tratadas en la cámara QUV, con la finalidad de conocer las diferencias mecánicas después del periodo de prueba en la cámara.

## Conclusiones

Mediante la caracterización de los hilos obtenidos de distintos tipos de plástico PET se seleccionó el más adecuado para su implementación en una malla tejida que se integrará a un dispositivo de captura de agua de niebla. Considerando que la malla de plástico PET estará sujeta a tensiones provocadas por las corrientes de viento y que además transmite las fuerzas hacia los postes y cables de tensión del bastidor.

Por medio de las pruebas de recolección que se están trabajando en la cámara de evaporación y condensación con distintos patrones de tejido de plástico PET, se selecciona la que cuente con el mejor coeficiente de recolección. Es importante mencionar que los patrones de tejido deben de contar con el espacio adecuado para permitir el paso de la masa de aire húmedo.

## Agradecimientos

En primer lugar, expreso mi más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el generoso apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de Maestría. Esta beca ha sido fundamental para llevar a cabo mi investigación y alcanzar mis metas académicas.

Asimismo, agradezco profundamente al Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de formar parte de esta prestigiosa institución y por el apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación.

Mi gratitud se extiende a mis tutores, el Maestro en Ciencias Sergio Alfonso Martínez González, el Doctor Carlos Alfredo Bigurra Alzati, el Doctor Carlos Alexander Lucho Constantino y el Maestro en Ciencias Eliezer Hernández Mecinas del Instituto de Investigaciones en Materiales, con su vasta experiencia y conocimientos, me guiaron en la realización de las pruebas mecánicas y contribuyeron significativamente al éxito de mi investigación.

De igual manera, quiero reconocer la valiosa aportación de la Arquitecta María Giovanna Di Bitonto, candidata a Doctorado en Arquitectura y miembro del Textile Architecture Network (TAN) y del Department of Architecture, Build Environment and Construction Engineering (DABC) del Politécnico de Milán. Su expertiz en la investigación de captadores de agua de niebla integrados en fachadas ha sido una fuente de inspiración y ha enriquecido mi trabajo. Su investigación, centrada en desarrollar soluciones innovadoras para satisfacer las necesidades hídricas de los edificios, ha ampliado mi perspectiva sobre el diseño arquitectónico sostenible.

## Referencias

- Barrera Allarcón Carmen María (2020). Evaluación del efecto de la intensidad de mallas fotoselectiva en cultivo sin suelo. Universidad de Almería. Escuela Superior de Ingeniería. España. <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/9748/BARRERA%20ALVARCO%20CARMEN%20MARIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro Estrella; Fernández Melchor, Alberto Enrique; González-Trevizo, Chen, F., Liu, X., Yang, H., Dong, B., Zhou, Y., Chen, D., Xu, W. (2016). A simple one-step approach to fabrication of highly hydrophobic silk fabrics. *Applied Surface Science*, 360, Part A, 207-212. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.10.186>
- Comisión Nacional del Agua - CONAGUA (2016). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (Libro 3, pp. 47-48). México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT. URL <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro3.pdf>
- Dubov L. Alexander, Mourran Ahmed, Möller Martin, Vinogradova Olga (2015). Regimes of Wetting Transitions on Superhydrophobic Textures Conditioned by Energy of Receding Contact Lines. A.N. Frunkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences. Moscow, Russia.
- Francisco (2022). Diseño experimental para identificar potencial de cosecha de humedad ambiental en Ensenada. Legado de Arquitectura y Diseño, [S.l.], v. 18, n. 33, p. 127-138, ene. 2023. <https://doi.org/10.36677/legado.v18i33.17942> ISSN 2448-749X. DOI: <https://doi.org/10.36677/legado.v18i33.17942>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2000). Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias en América Latina. Serie: Zonas áridas y semiaridas No 13. Santiago de Chile: Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, Programa de las Naciones Unidas para la agricultura y <https://www.fao.org/4/ai128s/ai128s00.pdf> la alimentación. URL <https://www.fao.org/4/ai128s/ai128s00.pdf>
- Gobierno Federal de México (2024). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos del 5 Febrero de 1917, Artículo 4, Párrafo seis, derecho a la salud y a la vivienda. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Goodman, J. (1985). The collection of fog drip. *Water Resources Research*/Volume 21, Issue 3. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR021i003p00392>
- Gobierno Federal de México (2019). Estrategia Nacional para la implementación de la Agenda 2030 en México, Capítulo 6. Garantizar la disponibilidad, saneamiento y gestión sostenible del agua para todas y todos, Pag. 51, [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/514075/EN-A2030Mx\\_VF.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/514075/EN-A2030Mx_VF.pdf)
- Holmes Robert, Rivera Juan de Dios, De la Jara Emilio (2015). Large fog collectors: New strategies for collection efficiency and structural response to wind pressure. Centro del Desierto de Atacama, Escuela de Diseño, Pontificia Universidad Católica de Chile, El Comendador. Santiago de Chile.
- Huertas, P. J. and Molina, P. A. (2016). Estudio de prefactibilidad para la posible implementación de atrapanieblas en el municipio de Ráquira. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://hdl.handle.net/11349/3976>
- Kyoo-Chul Park, Shreerang S. Chhatre, Siddarth Srinivasan, Robert E. Cohen, Gareth H. McKinley (2021). Optimal Design of Permeable Fiber Network Structures for Fog Harvesting. Article. *Langmuir*. Department of Mechanical Engineering and Department of Chemical Engineering, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts, United States.
- Li Dingchen (2024). Deconstructing plasma fog collection technology: an experimental study on factors impacting collection efficiency. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 57, Number 7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ad0ac2>
- Liyang Chen, Wei Li, Zhuofei Gan, (2022). Ultrathin metal-mesh Janus membranes with nanostructure-enhanced hydrophobicity for high-efficiency fog harvesting. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132444>
- Lopez Espinosa Sayani. (2010). Estudio de las propiedades ópticas de malla sombra de color sobre el cultivo de tomate y otros cultivos hortícolas. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo Coahuila, <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/423/1/Sayani%20Teresa%20Lopez%20Espinosa.pdf>
- Mahat Sanjay (2020). Study of fog water collector mesh with different shade coefficients. Conference: OIOG Graduate Conference 2019. At Nepal.
- M. A. K. Azad, Krause Tobias, Danter Leon, Baars Albert, Koch Kerstin Barthlott Wilhelm (2017). Fog Collection on Polyethylene Terephthalate (PET) Fibers: Influence of Cross Section and Surface Structure. Article. *LANGMUIR*. Institute for Biodiversity of Plants, Rheinische Friedrich-

- Wilhelms University. Bonn, Germany. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.7b00478>
- Martínez Arroyo Amparo (2007). El agua en la atmósfera. *Revista Ciencia julio-septiembre 2007*. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera.
- Melchor-Alemán, M.-A.; Mesta-Torres, L.; Martel-Estrada (2022). Aplicaciones de nanopartículas en textiles para el diseño de interiores. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 5(10), S. A. <https://doi.org/10.31644/IMASD.10.2016.a07>
- Montecinos, Sonia; Carvajal, Danilo; Cereceda, Pilar; Concha, Miguel (2108). Collection efficiency of fog events. *Atmospheric Research*, Volume 209, 2018, Pages 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.004>.
- Mura, S., Greppi, G., Malfatti, L., Lasio, B., Sanna, V., Mura, M. E., Lugliè, A. (2015). Multifunctionalization of wool fabrics through nanoparticles: A chemical route towards smart textiles. *J Colloid Interface Sci*, 456, 85-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2015.06.018>
- Musaddaq Azeem, Muhammad Tayyab Noman, Jakub Wiener, Michal Petru, Petr Louda (2020). Structural design of efficient fog collectors: A review. *Environmental Technology & Innovation*, Volume 20. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101169>.
- Mussue Fessehaye, Sabah A. Abdul-Wahab, Michel J. Savage, Thomas Kohler, Tsegai Gherezghiher & Hans Hurni (2017). Assessment of fog-water collection on the eastern escarpment of Eritrea. *Water International*, 42:8, 1022-1036, DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2017.1393714>
- Norma ASTM D4595-17. (2017). Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method. ASTM International. DOI: 10.1520/D4595-17
- Norma ASTM G151-19. (2019). Standard Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources. ASTM International. DOI: 10.1520/G0151-19.
- Norma ASTM G154-16. (2016). Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials. ASTM International. DOI: 10.1520/G0154-16
- Pawłowska, H., Brenguier, J.L. Burnet, F. (2000). Microphysical properties of stratocumulus clouds. *Atmos. Res.* 55.
- Quezada, M. (2009). Diseño generativo aplicación en sistemas de atrapanieblas en el norte de Chile. Santiago, Chile: Universidad de Chile. [https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/DIT-503/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=453794](https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/DIT-503/1/material_docente/bajar?id_material=453794)
- Regalado M. Carlos, Ritter Axel (2019). On the estimation of potential fog water collection from meteorological variables. *Instituti Canario de Investigaciones Agrarias, Dep. Producción Vegetal en Zonas Tropicales y Subtropicales*. Tenerife, Spain.
- Rivera, Juan de Dios; y Lopez-Garcia, Diego (2015). Mechanical characteristics of Raschel mesh and their application to the design of large fog collectors. *Atmospheric Research*, Volume 151, p. 250 - 258. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.06.011>.
- Rojas Rueda Alberto, 2022. Introducción a la seguridad hídrica. Colección investigación. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor.
- Schemenauer Robert (1994). Fog collection s role in water planning for developing countries. *Natural Resource Forum / Volume 18, Issue 2*.
- Schunk Christian (2018), Testing Water Yield, Efficiency of Different Meshes and Water Quality with a Novel Fog Collector for High Wind Speeds, DOI: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.12.0528>
- Seely, M. K., & Schemenauer, R. S. (2003). Testing greenhouse shade nets in collection of fog for water supply. *Journal of Water Supply: Research & Technology-AQUA*, 52(3).
- Shara I. Feld; Benjamin R. Spencer; Susan M. Bolton, M. Asce (2018). Testing Water Yield, Efficiency of Different Meshes and Water Quality with a Novel Fog Collector for High Wind Speeds. DOI: <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000811>
- Verbrugghe Nathalie, Khan Z. Ahmed (2023). The social aspects of a fog collection project: engaging communities through a participatory approach. *Building Beyond Borders Fall Symposium 2022*.
- Villalobos Hernández Alicia (2018). Estudio del agrietamiento por tensión ambiental de envases de PET. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo Coahuila. URL <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/553/1/CE%20EQA%20Alicia%20Villalobos%2020%20sep%202018.pdf>
- Zhouliang Peng, Ye Fu, Zhiguang Guo, (2023). Origami-like 3D Fog Water Harvester with Hybrid Wettability for Efficient Fog Harvesting. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.3c07343>