

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y TECNOLOGIA

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**



## **EVALUACIÓN DE LA COSECHA DE HUMEDAD AMBIENTAL COMO UNA ESTRATEGIA PALIATIVA AL ESTRÉS HÍDRICO EN ENSENADA**

**T E S I S**

que para obtener el grado de

**MAESTRO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**

Presenta

**ALBERTO ENRIQUE ESTRELLA CASTRO**

Director de Tesis

**DR. FRANCISCO FERNÁNDEZ MELCHOR**

**ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, AGOSTO 2022**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y LA TECNOLOGÍA



**MAESTRÍA EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO**

EVALUACIÓN DE LA COSECHA DE HUMEDAD AMBIENTAL COMO UNA  
ESTRATEGIA PALIATIVA AL ESTRÉS HÍDRICO EN ENSENADA

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO  
DE MAESTRO EN ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO PRESENTA

**ALBERTO ENRIQUE ESTRELLA CASTRO**

Correo electrónico: a160616@uabc.edu.mx  
Identificador ORCID: 0000-0002-6965-6783

Director de tesis: Dr. Francisco Fernández Melchor  
Identificador ORCID: 0000-0003-1669-7327

Revisor de tesis: Dr. Marcos Eduardo González Trevizo

Revisor de tesis: Dra. Karen Estrella Martínez Torres

Revisor de tesis: Dr. Rodrigo Méndez Alonzo

Revisor de tesis: Dr. Julio César Rincón Martínez

**Ensenada, B.C. Agosto de 2022**

## ACTA DE VOTOS APROBATORIOS

El día 17 de junio del año 2022, los integrantes del Comité Tutorial efectuaron una revisión del documento de Tesis titulado:

### EVALUACION DE LA COSECHA DE HUMEDAD AMBIENTAL COMO UNA ESTRATEGIA PALIATIVA AL ESTRÉS HÍDRICO EN ENSENADA

Que en el Programa de Maestría en Arquitectura, Urbanismo y Diseño, presenta:

#### ALBERTO ENRIQUE ESTRELLA CASTRO

Los miembros del Comité Revisor:

Dr. Francisco Fernández Melchor  
Dra. Karen Estrella Martínez Torres  
Dr. Julio César Rincón Martínez  
Dr. Rodrigo Méndez Alonzo  
Dr. Marcos Eduardo González Trevizo

Quienes hicieron las observaciones pertinentes anexas a la presente para ser corregidas antes de la impresión final, determinando su **APROBACIÓN**, y proceder a que la Dirección de la Facultad fije fecha de examen recepcional una vez cumplidos los requisitos que establezca la Coordinación de Servicios Estudiantiles y Gestión Escolar y el Reglamento de Estudios de Posgrado.



Dr. Francisco Fernández  
Melchor  
Director de Tesis



Dr. Rodrigo Méndez Alonzo  
Miembro del comité



Dr. Julio César Rincón  
Martínez  
Miembro del comité



Dr. Marcos Eduardo  
González Trevizo  
Miembro del comité



Dra. Karen Estrella Martínez  
Torres  
Miembro del comité

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Ensenada, B.C., 1 de agosto de 2022

---

**Alberto Enrique Estrella Castro**

## AVAL DE TERMINACIÓN DE TESIS

Fecha: 1 de agosto de 2022

DR. MIGUEL ENRÍQUE MARTÍNEZ ROSAS  
Director de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
Presente.-

Para dar cumplimiento al artículo 106 del ESTATUTO ESCOLAR DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, en su TÍTULO CUARTO DE LOS TÍTULOS PROFESIONALES, GRADOS ACADÉMICOS Y DIPLOMAS, CAPÍTULO ÚNICO, sobre los requisitos para la obtención del grado de **Maestría en Arquitectura, Urbanismo y Diseño**, como director de tesis en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de Arquitectura y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño Se emite la presente acta que avala que el estudiante:

### ALBERTO ENRIQUE ESTRELLA CASTRO

ha concluido su tesis de grado titulada:

### EVALUACION DE LA COSECHA DE HUMEDAD AMBIENTAL COMO UNA ESTRATEGIA PALIATIVA AL ESTRÉS HÍDRICO EN ENSENADA

Lo anterior en virtud de que se realizaron las correcciones y recomendaciones del comité tutorial, por lo que ha sido aprobada para el proceso de presentación de examen de grado.



DIRECTOR DE TESIS **DR. FRANCISCO FERNÁNDEZ MELCHOR**

FIRMA

## DEDICATORIA

“Esta tesis está dedicada a:

Mi esposa Annabel, mis hijos Ana Beatriz y Ulises Antonio, quienes me enseñan el valor del amor cada día y me animan a seguir buscando mis metas con esfuerzo y constancia en cada día.

A mis padres Concepción y Enrique, cuyo esfuerzo, amor y paciencia me permitieron llegar a ser el hombre que actualmente soy, y a tratar de vivir la vida según su ejemplo, siempre estaré en deuda con ustedes.

A toda mi familia que con sus consejos, oraciones, y palabras de aliento me alentaron para tratar de ser una mejor persona y me han acompañado en mis metas y sueños.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mis compañeros/as y amigos/as, por apoyarme, por brindarme su apoyo en momentos de dificultad y por la ayuda brindada cada día, muchas gracias y les deseo el mejor de los éxitos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más profundo agradecimiento a la Universidad Autónoma de Baja California, por confiar en mi persona, y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

De igual manera, agradezco de gran manera al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, cuyo apoyo durante todo el curso de esta tesis me permitió llegar a la meta y espero que este trabajo pueda retribuir toda esa ayuda.

Agradezco al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, por permitir el acceso a la información necesaria para este trabajo y seguir contribuyendo al desarrollo de Ensenada.

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

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Francisco Fernández Melchor, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

## RESUMEN

Actualmente la población mundial sufre de 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 evaluación de la cosecha de humedad ambiental para el aprovechamiento en viviendas de tipo popular (B1) y/o con vulnerabilidad en cuanto a la disponibilidad de agua potable.

Para tal propósito, 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. 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.

Los resultados de la captación de niebla fueron de aproximadamente 0.6 l/m<sup>2</sup>/día durante la etapa de recolección de resultados de septiembre 2021 a enero de 2022, con un pico de 6 l/m<sup>2</sup>/día en octubre de 2021, dando como resultado la probable viabilidad de lo que se buscó con la investigación (aplicación a viviendas populares por costo y autoconstrucción), sean o no favorables los resultados.

**Palabras clave:** Fuentes alternativas de agua, Cosecha de niebla, Diseño de atrapanieblas, 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 2011-2030 Water Program of the Water Authority in Mexico, Comisión Nacional del Agua (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 evaluation of the harvest of environmental humidity for the use in "low-income housing" and / or with vulnerability in terms of the availability of water for public use and sanitation.

For this purpose, two fog collectors 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 factibility index methodology by characteristics, physical, orographic and social impact.

The fog collectors were placed perpendicular to the prevailing wind directions at each site, which seeks to enhance the efficiency of the fog catcher devices. This moisture harvesting potential identification procedure helps to consider fog harvesting as an affordable alternative water source in this region.

The fog collection results were approximately 0.6 l/m<sup>2</sup>/day during the results collection stage from September 2021 to January 2022, with a peak of 6 l/m<sup>2</sup>/day in October 2021, resulting in the probable feasibility of what was sought with the research (application to popular housing by cost and self-construction), whether or not the results are favorable.

**Keywords:** Collector Design, Fog Harvest, Moisture, Water Alternatives, Water Harvest.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
INDICE DE TABLAS .....	VI
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	VII
LISTADO DE ABREVIATURAS, CARACTERES Y SIMBOLOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO 1. PLANTAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>5</b>
1.1. Planteamiento del Problema.....	6
1.1.1. Problemática de falta de agua .....	6
1.1.2. Situación del Estrés Hídrico en el Mundo y en México .....	8
1.1.3. Estrés Hídrico en Baja California y Ensenada .....	10
1.1.4. Crecimiento Poblacional .....	12
1.1.5. Fuentes de agua convencionales .....	16
1.1.5.1. Intrusión salina en pozos de agua potable .....	17
1.1.6. Calidad del agua suministrada .....	18
1.1.7. Fuentes alternativas de abastecimiento de agua.....	18
1.1.8. Niebla .....	19
1.1.9. Captación de niebla .....	20
1.2. Justificación .....	22
1.3. Preguntas de investigación.....	23
1.4. Hipótesis.....	24
1.5. Objetivos de la Investigación .....	24
1.5.2. Objetivo general.....	25
1.5.3. Objetivos específicos.....	25
1.6. Alcances .....	25
1.7. Limitantes .....	26
1.8. Pertinencia.....	26
1.9. Hallazgos .....	26

<b>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>2. Antecedentes .....</b>	<b>28</b>
2.1. Marco Conceptual (terminología especializada) .....	28
2.1.1. Atmósfera .....	28
2.1.2. Aire .....	29
2.1.3. Humedad Relativa .....	29
2.1.4. Temperatura .....	29
2.1.5. Temperatura de bulbo seco .....	29
2.1.6. Temperatura de bulbo húmedo.....	30
2.1.7. Viento .....	30
2.1.8. Precipitación Pluvial.....	30
2.1.9. Evaporación.....	31
2.1.10. Psicrometría.....	31
2.1.11. La carta psicrométrica .....	33
2.1.12. Condensación.....	34
2.1.13. Proceso de condensación .....	35
2.1.14. Condensación en la naturaleza .....	35
2.1.14.1. Aplicaciones .....	36
2.1.14.2. Rocío (Fenómeno Físico) .....	36
2.1.14.3. Punto de rocío .....	37
2.2. Análisis climático de la Ciudad de Ensenada .....	38
2.2.1. Humedad Relativa .....	39
2.2.2. Temperatura .....	41
2.2.3. Viento .....	41
2.2.4. Precipitación Pluvial.....	43
2.2.5. Evaporación.....	44
2.2.6. Niebla .....	45
<b>CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE (PROYECTOS ANÁLOGOS DE INVESTIGACIÓN).....</b>	<b>48</b>

<b>3. Marco de Referencia (Estudios previos y antecedentes).....</b>	<b>49</b>
3.1. On the estimation of potential fog water collection from meteorological variables.....	52
3.2. Fog collection and its relationship with local meteorological variables in a semiarid zone in Chile.....	55
3.3. Fog harvesting potential for domestic rural use and irrigation in San Cristobal Island, Galapagos, Ecuador.....	57
<b>CAPÍTULO 4. ESTRATEGIA METODOLÓGICA .....</b>	<b>61</b>
<b>4. Metodología.....</b>	<b>62</b>
4.1. Objeto de estudio.....	62
4.2. Diseño Experimental.....	62
4.2.1. Operacionalización de variables.....	63
4.3. Instrumentos.....	65
4.3.1. Recolección de Información .....	65
4.3.2. Fuentes documentales y estadísticas.....	65
4.3.3. Medición y observación sistemática (Metodología experimental)....	66
4.3.4. Contexto.....	67
4.4. Diseño del prototipo de atrapanieblas.....	81
4.4.1. Materiales y costo.....	83
4.5. Montaje de dispositivos para inicio de experimento.....	86
<b>CAPÍTULO 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>97</b>
5.1. Preámbulo resultados.....	98
5.2. Observaciones durante el experimento .....	101
5.3. Desarrollo del experimento en campo .....	103
5.4. Factores climáticos .....	114
5.5. Aplicación en el caso de una vivienda popular .....	118
5.6. Estimaciones y proyecciones de gasto de agua en una vivienda popular	119
5.7. Contribución al gasto de agua en la vivienda popular .....	121

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>124</b>
<b>LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>127</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>128</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>134</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El agua en el mundo, distribución y porcentajes de uso .....	7
Figura 2. Estrés Hídrico en México .....	9
Figura 3. Estrés Hídrico en Baja California .....	10
Figura 4. Comparativo precipitación promedio anual en México.....	11
Figura 5. Esquema de Intrusión Salina .....	18
Figura 6. Esquema del funcionamiento de una red atrapa nieblas .....	21
Figura 7. Esquema del funcionamiento de un psicrómetro. ....	32
Figura 8. Diagrama psicrométrico conceptual .....	34
Figura 9. Esquema de punto de rocío respecto a temperatura de aire. ....	38
Figura 10. Ubicación de EMA BCO-Ensenada y el Observatorio Sinóptico de Ensenada, Baja California.....	39
Figura 11. Comportamiento mensual de las HR mínima, media y máxima.....	40
Figura 12. Comportamiento mensual de las temperaturas mínima, media y máxima .....	41
Figura 13. Rosa de los Vientos Octogonal .....	42
Figura 14. Comportamiento mensual de la precipitación durante el año en Ensenada .....	44
Figura 15. Índice de evaporación en la Ciudad de Ensenada.....	45
Figura 16. Días de niebla al mes en la Ciudad de Ensenada .....	46
Figura 17. Tipos de atrapanieblas utilizados en la investigación.....	51
Figura 18. Tipos de atrapanieblas utilizados en el experimento de Regalado & Ritter (2019).....	52

Figura 19. Relación entre recolección de niebla y variables de velocidad de viento y visibilidad .....	53
Figura 20. Metodología Regalado -Ritter (2019) .....	54
Figura 21. Sitio del estudio y su locación en Chile .....	55
Figura 22. Arreglo experimental en el sitio de estudio .....	56
Figura 23. Estaciones climáticas en el lado barlovento de las Islas San Cristóbal a 600 msnm y 300 msnm .....	58
Figura 24. Esquemmatización de los colectores estándar de niebla (SFN) .....	59
Figura 25. Diagrama de propuesta metodológica - Elaboración propia .....	63
Figura 26. Operacionalización de variables propuesta .....	64
Figura 27. Variables dependientes e independientes .....	64
Figura 28. Metodología gráfica del experimento .....	67
Figura 29. Esquema de fenómeno de niebla en el sitio de estudio .....	68
Figura 30. Presencia de niebla en sitio de estudio (inmediaciones de colonia Pedregal Playitas) .....	69
Figura 31. Índice de evaporación anual. ....	70
Figura 32. Temperatura bulbo seco anual. ....	71
Figura 33. Porcentaje de Humedad relativa mensual. ....	72
Figura 34. Días con presencia de niebla al mes. ....	72
Figura 35. Ubicación del dispositivo en colonia Pedregal Playitas.....	78
Figura 36. Ubicación alternativa del dispositivo en UABC planta de tratamiento ..	80
Figura 37. Malla para neblinómetro.....	82
Figura 38. Marco de neblinómetro con estructura de PVC de ½" .....	83
Figura 39. Detalle de canaleta de conducción .....	85
Figura 40. Esquema de neblinómetro propuesto .....	85

Figura 41. Disposición de neblinómetro y estación en azotea vivienda Pedregal Playitas .....	87
Figura 42. Nivelación de equipos de monitoreo en el montaje.....	89
Figura 43. Calibración de pluviómetro para lectura de agua recolectada .....	90
Figura 44. Monitores de estación climática y pluviómetro para monitoreo .....	90
Figura 45. Montaje final del dispositivo en azotea de vivienda Pedregal Playitas.	91
Figura 46. Montaje final del dispositivo en planta de tratamiento de UABC Ensenada Campus Sauzal.....	95
Figura 47. Pluviómetro y monitor fijados en planta de tratamiento UABC Ensenada Campus Sauzal.....	96
Figura 48. Dirección de viento Pedregal Playitas Ciclo Sept 21 – enero 22 .....	99
Figura 49. Dirección de viento UABC – CICESE Ciclo Sept 21 – enero 22 .....	100
Figura 50. Neblina nocturna en la ciudad de Ensenada. mes de octubre .....	102
Figura 51. Neblina encañonamiento Pedregal Playitas, Nov 2021 .....	103
Figura 52. Velocidad de viento Septiembre Sitio 1.....	107
Figura 53. Datos acumulados por día Sitio Pedregal Playitas .....	107
Figura 54, Datos acumulados por día Sitio UABC .....	108
Figura 55. Recolección de agua de neblina en sitio Pedregal Playitas .....	109
Figura 56. Recolección de agua pluvial en sitio UABC .....	110
Figura 57. Ubicación vivienda colonia popular Emiliano Zapata 55 m <sup>2</sup> .....	118
Figura 58. Vivienda unifamiliar 55 m <sup>2</sup> . Planta de conjunto .....	119
Figura 59. Planta arquitectónica vivienda unifamiliar 55 m <sup>2</sup> .....	121

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de población en Baja California y Ensenada, año 2015.....	12
Tabla 2. Tasa de crecimiento poblacional 1990-2015.....	13
Tabla 3. Distribución porcentual de la población.....	14
Tabla 4. Edad Promedio en Baja California y Ensenada. ....	14
Tabla 5. Demanda de vivienda en Ensenada .....	16
Tabla 6. Desglose del comportamiento del viento año 2000- 2017.....	43
Tabla 7. Índice de aptitud del sitio.....	75
Tabla 8. Índice de aptitud Social .....	76
Tabla 9. Índice de aptitud del sitio Pedregal Playitas .....	79
Tabla 10. Índice de aptitud de sitio - UABC .....	81
Tabla 11. Costos de materiales 2021.....	83
Tabla 12. Especificaciones pluviómetros .....	91
Tabla 13. Especificaciones técnicas higrómetro .....	92
Tabla 14. Especificaciones anemómetro .....	93
Tabla 15. Variables climáticas durante el periodo de monitoreo .....	104
Tabla 16. Variables climáticas durante el periodo de monitoreo .....	105
Tabla 17. Datos acumulados en sitios de experimentación .....	110
Tabla 18. Caracterización climática del 25 de octubre (mayor captación de agua de niebla) sitio Pedregal Playitas .....	111
Tabla 19. Caracterización climática del 25 de octubre (mayor captación de agua de niebla) sitio UABC .....	113
Tabla 20. Días de presencia de neblina y captación durante el periodo estudiado sitio UABC.....	115

Tabla 21. Días de presencia de neblina y captación durante el periodo estudiado sitio Pedregal Playitas.....	116
Tabla 22. Periodos de Diseño .....	120
Tabla 23. Contribución al gasto diario de agua en una vivienda popular .....	122

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Aire húmedo	(1)	.....	31
Presión total de una mezcla de gases	(2)	.....	31
Punto de rocío	(3)	.....	37
Punto de rocío 2	(4)	.....	37
Eficiencia de captación de niebla	(5)	.....	50
Indice de aptitud del sitio	(6)	.....	74

## LISTADO DE ABREVIATURAS, CARACTERES Y SIMBOLOS

Humedad relativa	Hr
Grados celsius	°C
Factor de cielo visible	SVF
Colector standard de Neblina	SFC
Hectómetro cúbico	hm <sup>3</sup>
Milímetro	mm
Partes por millón	ppm
Litro/m <sup>2</sup> /día	lmd
Temperatura de bulbo húmedo	TBH
Milibar	mbar
Metro cúbico	m <sup>3</sup>
Temperatura de bulbo seco	TBS
Centímetro	cm
Punto de rocío	Td
Humedad específica	$\omega$
Entalpía	$\Delta H$
Volumen específico	Vesp
Humedad relativa media	Hrmed
Humedad relativa máxima	Hrmax
Metros sobre el nivel del mar	msnm
Minuto	min

## INTRODUCCIÓN

El problema de la falta de agua en el mundo, la diferencia entre la demanda de agua y las fuentes para abastecer esa demanda, más conocido en el ámbito social como estrés hídrico, son asuntos de interés general y que requieren una atención inmediata; así pues, la búsqueda de alternativas para solucionar esta problemática no es nueva en el campo de la investigación, y la comunidad científica busca nuevas soluciones que se adapten de mejor manera de acuerdo a las condiciones y problemática inherente a cada sitio.

La cosecha de agua por medio de captadores de niebla es una técnica de recolección de humedad ambiental que ha ayudado como fuente de agua en lugares que, de otra manera, no tendrían fuentes de abastecimiento (Regalado & Ritter, 2019). Esta técnica se ha utilizado con éxito en lugares como Chile, Perú, Namibia, Marruecos, España y muchos otros países (Godínez, 2013).

La ciudad de Ensenada presenta en la actualidad una situación de estrés hídrico patente no solo a la población científica, sino que también a la población en general; es por esto que se plantea la estrategia de cosecha de humedad ambiental como una estrategia para poder paliar esta problemática, ya que, de acuerdo al estudio del marco teórico, esta ciudad reúne algunas de las características más favorables para el éxito de esta estrategia.

En respuesta a las preguntas de investigación que sustentan esta tesis de maestría, *¿Cuál es el beneficio que representa el aplicar un sistema de recolección de agua de humedad ambiente para los habitantes de una vivienda popular en la ciudad de Ensenada Baja California, comparándolo con otras estrategias sustentables de aprovechamiento de agua y tomando en cuenta las condiciones ambientales de la ciudad?*

El beneficio encontrado durante esta investigación, aplicado a escala doméstica es más bien modesto, pudiendo llegar a contribuir al gasto de agua en una casa de tipo popular (B1) alrededor del 2 al 5%. Sin embargo, una estimación en un entorno

rural-comunitario podría ser mayor, contribuyendo idealmente hasta en un 20% del gasto.

*¿Qué características debe reunir la ubicación óptima para emplazar dispositivos de colección de niebla con el fin de asegurar la mayor captación de agua posible y/o la mayor eficiencia costo/beneficio en la construcción de estos dispositivos?*

En este caso, se puede concluir que las características más deseables son cercanía a la bahía (cuerpo de agua con el potencial de beneficiar el porcentaje de humedad relativa, temperatura y por tanto la condensación), altitud sobre el nivel del mar y usuarios potenciales que puedan contribuir al mantenimiento de un sistema de captación.

La captación de humedad ambiental es un proceso físico en donde el vapor de agua, entendiéndose la niebla o el rocío atraviesa un dispositivo físico (Regalado & Ritter, 2019), casi siempre una red de captación, en donde este vapor de agua se condensa y se conduce hacia un depósito con el fin de su aprovechamiento posterior. Para que el proceso se efectúe de manera correcta es necesaria tanto la presencia de humedad en el ambiente como el viento que pueda conducir el vapor de agua hacia la red.

El uso de los dispositivos captadores de niebla tiene áreas de oportunidad en cuanto a la eficiencia de los dispositivos a través de los diferentes tipos de materiales con los que son construidos (Li, 2021), la geometría de los dispositivos (Panter, 2020), además de que se sugiere la ubicación idónea para hacer más eficiente la operatividad de los dispositivos mencionados (Jarimi, 2020).

En México, y particularmente el área de la costa del Pacífico de Baja California aún no se tienen antecedentes prácticos en cuanto a la operación y factibilidad de dispositivos de cosecha de humedad ambiental, a pesar de que la región cumple con condiciones propicias para su éxito (cercanía al océano pacífico, humedad ambiental por arriba del 70% la mayor parte del año) para explorar a fondo su implementación como estrategia paliativa para el estrés hídrico que sufre la región (Camacho, 2016).

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 tipo popular (B1) y/o con vulnerabilidad en cuanto a la disponibilidad de agua potable.

Por lo tanto, contribuir a que la captación de agua por medio de atrapanieblas sea considerada como una contribución al gasto de agua del usuario de casa-habitación y que pueda ser aplicada a otras localidades que tengan las mismas características geo ambientales de Ensenada.

Asimismo, se espera definir con parámetros medibles la ubicación ideal para los dispositivos atrapanieblas, y con esto poder tener datos reales de la eficiencia de los mismos de acuerdo a las variables climáticas de Ensenada.

En el primer capítulo (planteamiento de la investigación) se menciona la definición y los principales antecedentes del estrés hídrico, así como los principales tópicos que componen este complejo problema. También se da una descripción de los fenómenos más representativos de la problemática a la cual se plantea contribuir para dar una solución.

También se muestran los datos que inciden en la problemática, como son los datos de crecimiento de población en la ciudad de Ensenada, el porcentaje de uso de agua por parte de la población, y los datos duros del estrés hídrico en el mundo. Con base en estos datos y los antecedentes revisados, se muestra la traducción de esta problemática a las preguntas y objetivos de investigación.

En el capítulo 2 se mencionan antecedentes de investigación referidos al fenómeno de atrapanieblas y de estudios referentes a estrategias de ahorro de agua. Se realizó una investigación bibliográfica de las investigaciones y artículos de índole científica de 10 años a la fecha, en mayor parte, y en menor parte, literatura clásica y tesis de maestría y doctorado.

También en este apartado se trata la mayor parte teórica del documento, explicando los conceptos que se utilizarán a lo largo del mismo, y se explicará la teoría de los fenómenos que inciden en la estrategia del atrapamiento de niebla y que ayudará a comprender este fenómeno, y que, en el caso de la investigación, ayudará a eficientizar el desempeño del prototipo captador de niebla base del estudio.

En el capítulo 3 de estado del arte se da un resumen y análisis de tres casos de investigación de atrapanieblas que a mi juicio presentan gran similitud con las condiciones del sitio de estudio de mi investigación, así como que presentaron resultados y conclusiones favorables al uso de dispositivos atrapanieblas en su zona de estudio.

En el 4to capítulo (metodología) se muestra un acercamiento a la estrategia metodológica con la cual se piensa desarrollar la investigación, desde proponer el contexto, y un sitio que reúna las características más favorables para el éxito de la investigación y corroboración de las hipótesis hasta los instrumentos propuestos para la recolección de datos.

Además, en este capítulo se muestra la operacionalización de variables, mostrando los datos más significativos para dar respuesta a las interrogantes de investigación y los instrumentos necesarios para su medición y representación gráfica.

En el 5to capítulo referente a los resultados se muestran los datos recolectados durante el curso de la investigación, en lo referente a captación de agua y variables climáticas presentes durante el desarrollo de la misma. Lo cual nos lleva a la interpretación de estos datos, con el fin de corroborar la hipótesis propuesta.

La discusión propuesta es para trasladar estos resultados de aprovechamiento del captador a manera de contribuir a paliar la problemática en el consumo de agua en la vivienda popular en la ciudad de Ensenada.

## **CAPÍTULO 1. PLANTAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Planteamiento del Problema**

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*, define al estrés hídrico como la situación en donde los recursos hídricos de una localidad son sobrepasados por la demanda de agua por los habitantes de esa misma localidad.

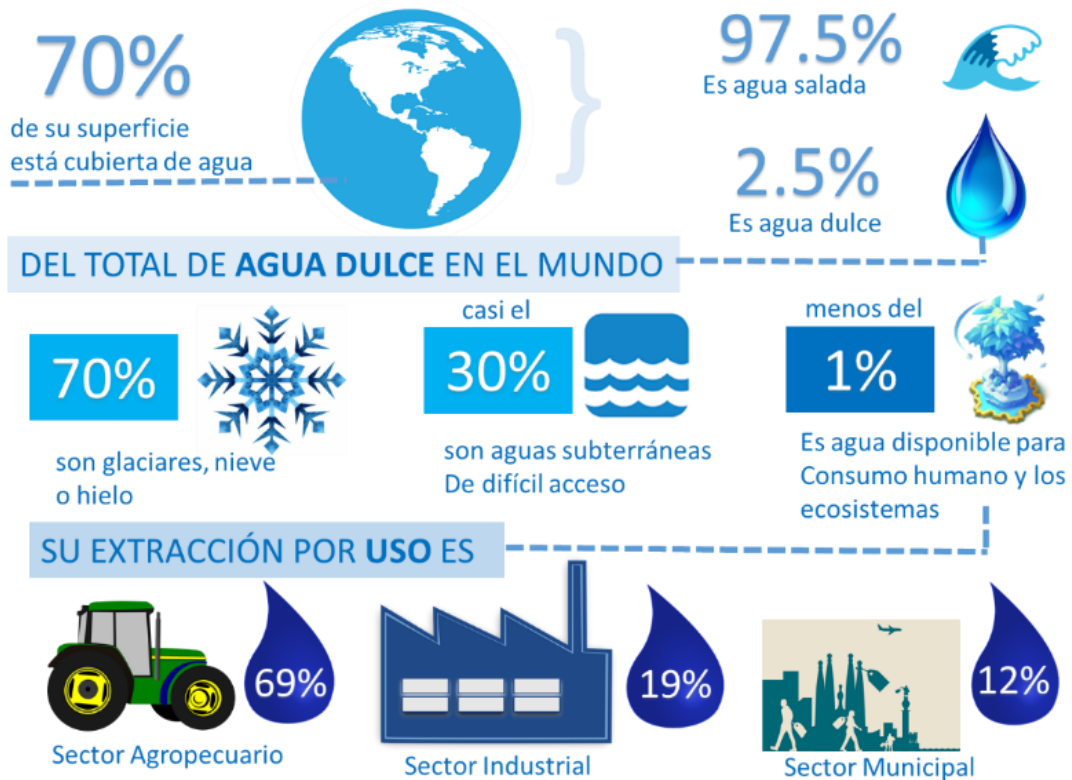
*“El estrés hídrico físico se define como la proporción del total de agua dulce extraída anualmente por todos los sectores principales, incluidos los requisitos ambientales de agua, respecto a la cantidad total de recursos renovables de agua dulce, expresada como porcentaje.”* (UNESCO, 2019 s/p) (ONU, 2018, s/p).

El estrés hídrico es una situación que está intrínsecamente relacionada con el uso y gestión de los recursos hídricos, así como a las características poblacionales y humanas de una región, y en menor medida, con los recursos naturales disponibles.

### **1.1.1. Problemática de falta de agua**

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, solo el 0.5% de esta agua está disponible para su uso (UNESCO, 2019). La mayor parte del agua dulce disponible está limitada a regiones específicas y depende de las variaciones climáticas anuales. Esto se ilustra en la Figura 1 a continuación.

Figura 1. El agua en el mundo, distribución y porcentajes de uso



Nota. Usos del agua en el mundo, adaptado de Centro Virtual de Información del agua, 2017

Esto ha llevado al agua a ser un recurso valioso y limitado que genera una gran demanda en varios lugares globalmente. Se ha previsto que la demanda mundial de agua continúe aumentando, lo cual significaría un incremento de más del 20% por encima de las necesidades actuales del agua para el año 2050; Aproximadamente un 66% de la población mundial han experimentado o padecen de escasez de agua al menos una vez al mes en un periodo anual (Mekonnen, 2016). Esto se debe principalmente a los sectores industrial y doméstico (UNESCO, 2019) que aumentan sus necesidades conforme crece la población.

El acceso al agua de forma segura, por una gestión responsable se define por la OMS/UNICEF (2017) como “agua para consumo proveniente de una fuente de agua mejorada ubicada en la vivienda o lote, disponible en el momento en que se necesita y libre de contaminación fecal y por químicos prioritarios”.

Por otra parte, en los Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS), particularmente en el objetivo 6, *“Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”*, define la relación entre el acceso al agua potable y el saneamiento como una meta imprescindible para lograr el desarrollo de las naciones, así como el acceso a la salud.

El agua es imprescindible para poder llevar a cabo una labor de saneamiento, entiéndase ésta como el retiro de los desechos corporales de los habitantes fuera del lugar de habitación, y con esto, evitar posibles focos de infección entre la población. En la zona urbana de Ensenada, aún hay lugares en donde está incompleta la infraestructura tanto de agua potable como sanitaria, por lo que este riesgo de salud aumenta.

Entre las metas del objetivo 6 de los ODS se pueden citar los siguientes:

*“6.1 De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.”*

*“6.2 De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.”*

### **1.1.2. Situación del Estrés Hídrico en el Mundo y en México**

A nivel mundial, y conforme la población va aumentando, la presión sobre los recursos hídricos de todo el mundo aumenta en la misma medida. El agua no es un recurso natural renovable, al menos con el ritmo del crecimiento poblacional del mundo. Actualmente existen estimaciones de que arriba de 2,000 millones de personas sufren y/o experimentan un alto estrés por la falta de agua en el mundo.

Aunque las cifras oficiales indican que el estrés hídrico mundial es aproximadamente de una media cercana al 11%, existen 31 entidades que viven este tipo de estrés entre el 25% (umbral mínimo del estrés hídrico) y el 70% (estrés hídrico

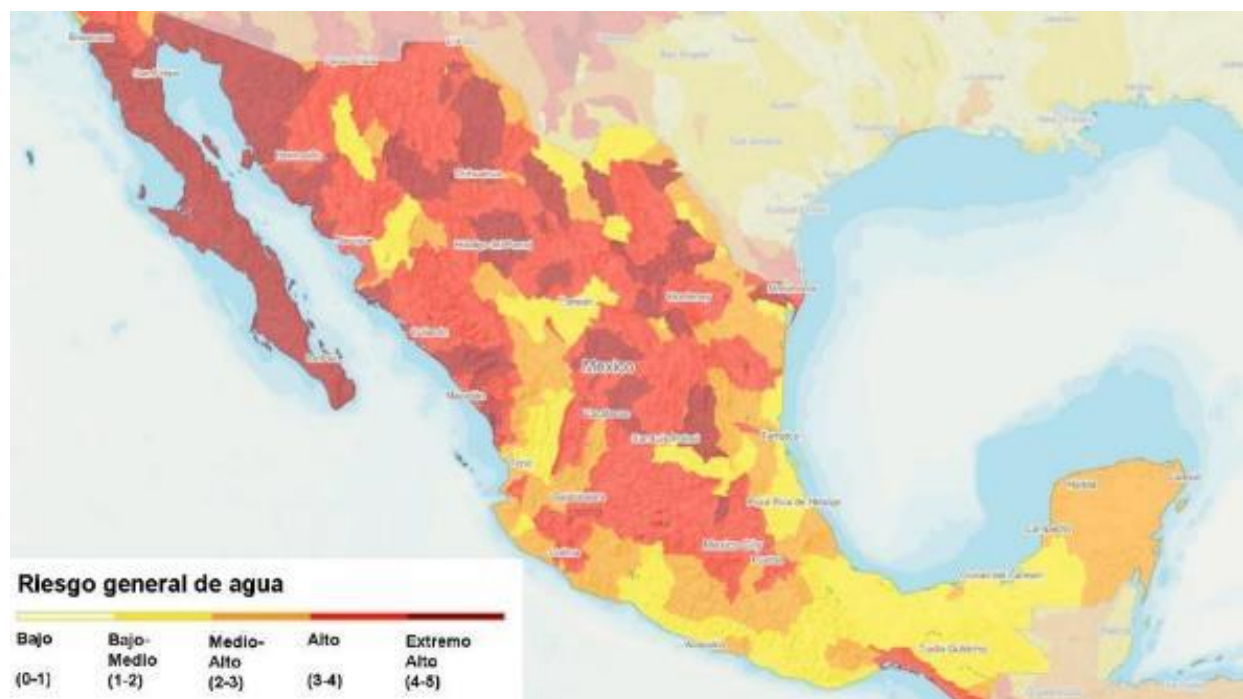
severo), mientras que 22 países se encuentran por encima del índice de 70%, por lo tanto, en una situación de alto riesgo social y sanitario (ONU, 2018).

El creciente estrés hídrico que muestra el paso del tiempo indica en el mejor de los casos, un uso sustancial, o un abuso sistemático de los recursos hídricos, con aún mayor impacto en la renovación/ sostenibilidad de estos recursos, lo cual puede devenir en un potencial conflicto entre las personas usuarias del vital líquido.

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 (Armendáriz, 2017).

Como ilustra la Figura 2, 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 estados como Baja California, Baja California Sur, Chihuahua y Coahuila se cuenta con disponibilidad per cápita anual, menor a los 1.000 m<sup>3</sup> en la mayor parte de sus respectivos territorios. (Armendáriz, 2017).

Figura 2. Estrés Hídrico en México



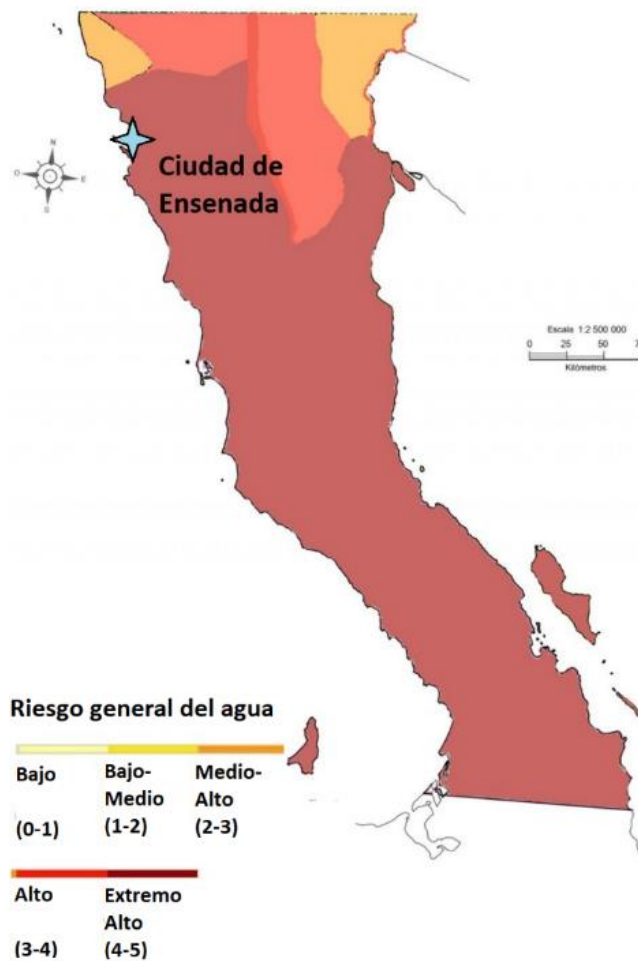
Nota: Las zonas con menor incidencia de estrés hídrico aparecen en amarillo, las que tienen mayor estrés aparecen en rojo. Fuente: World Resources, 2019.

### 1.1.3. Estrés Hídrico en Baja California y Ensenada

El estrés hídrico en el estado de Baja California es un problema que viene aumentando paulatinamente desde la década de los años 70s, el cual, debido a la movilidad y explosión demográfica, así como el aumento en la actividad económica incide directamente en la falta del vital líquido (CONAGUA, 2016).

En el ámbito regional se tiene el dato de que la *Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California* (RHA I PBC según la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA) se ubica en “una de las zonas del país con menor precipitación media anual, hasta un 77% menor que la media nacional, lo cual limita las posibilidades de desarrollo social, económico y ambiental”. CONAGUA (2016).

Figura 3. Estrés Hídrico en Baja California

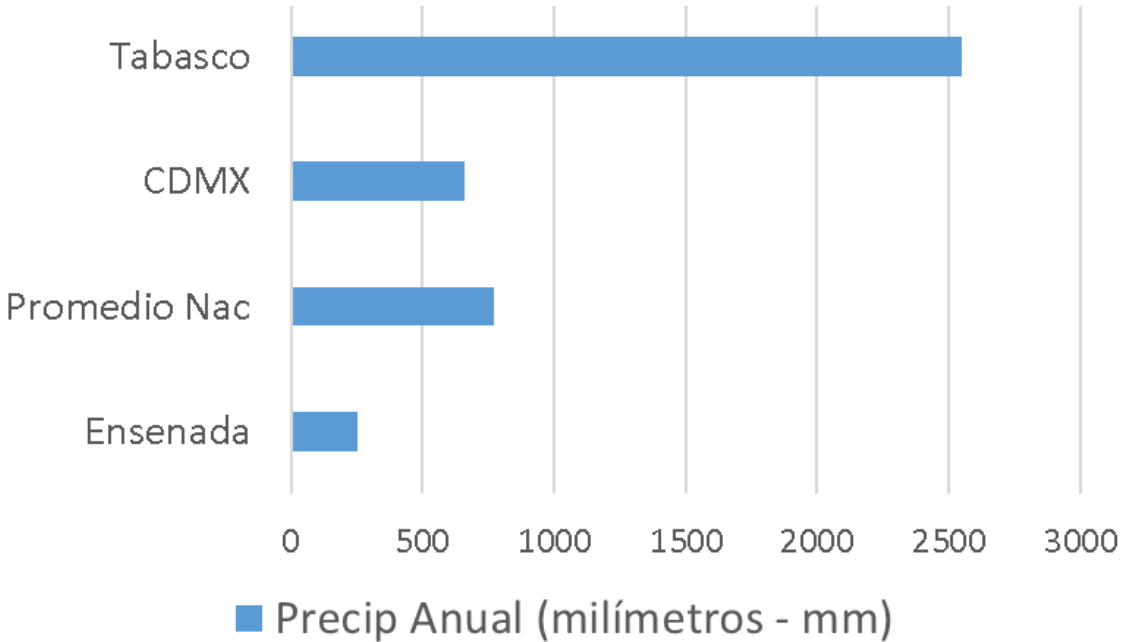


*Nota:* Las zonas con menor incidencia de estrés hídrico aparecen en amarillo, las que tienen mayor estrés aparecen en rojo. Fuente: World Resources, 2019.

Según un monitoreo de la CONAGUA en el presente año (2021), únicamente el 0.4% del territorio del estado de Baja California está libre de sequía. La misma comisión nos alerta que un 87.6% de la demarcación estatal padece una condición anormalmente seca, mientras que el 11.9% sufre de sequía moderada. Este sondeo fue realizado unas semanas después de la temporada de lluvias local.

En la ciudad de Ensenada actualmente 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) en 2014 se tenía un déficit de 177 l/s; la precipitación anual promedio para el municipio de Ensenada es hasta 250 mm, menos de la tercera parte del promedio de precipitación nacional (773.5 mm), según datos del El Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) en Ensenada, por lo cual persiste una situación de falta de fuentes de agua para la población.

Figura 4. Comparativo precipitación promedio anual en México.



Nota: Elaborado a partir de datos del CICESE Ensenada, 2017

Además, en los últimos años la precipitación en Ensenada ha sido por debajo o muy cerca del promedio analizado (250 mm); de 2017 a 2018 la precipitación total anual fue de 65.6 mm del 2018 al 2019 la precipitación fue de 289 mm, según datos de meteorología del CICESE.

Otro de los factores que contribuyen al estrés hídrico en Ensenada, y en el mundo en general, es el aumento poblacional, debido a que hay una mayor demanda del recurso hídrico por parte de los usuarios y las fuentes de agua se agotan rápidamente. En el siguiente apartado se explorarán algunos datos referentes a la población en el municipio de los últimos censos poblacionales a la fecha.

#### 1.1.4. Crecimiento Poblacional

De acuerdo a información del INEGI respecto a Baja California en 2015 con los datos de la Encuesta Intercensal (EIC) del mismo año, se informó que el Municipio de Ensenada estima una población total aproximada de 486.639 habitantes (sumadas todas sus localidades), lo cual representa el 14.7 % de la población estatal.

Basados en esta cifra, la relación hombres-mujeres es de 99.9, lo cual significa que existen 99 hombres por cada 100 mujeres. Esto se aprecia en la Tabla 1, con los datos de encuesta Intercensal 2015, en el anuario estadístico de Ensenada.

Tabla 1. Datos de población en Baja California y Ensenada, año 2015.

<b>Población en viviendas particulares habitadas</b>	
Población total en Baja California	3.315.766
Población total en Ensenada	486.639
Población total Femenina	243.180
Población total Masculina	243.459
Viviendas particulares habitadas en Ensenada	143.169

*Nota:* Datos poblacionales adaptados de Encuesta Intercensal 2015.

La tasa de crecimiento poblacional se observa en la siguiente Tabla 2, de acuerdo a los datos de la encuesta intercensal de 2015. Se observa en esta gráfica que la tasa de crecimiento de Baja California en la década de 1990 presentó índices de entre 3 y 4 por ciento, y el municipio de Ensenada presentaba una tasa de crecimiento muy semejante al resto del Estado. En la siguiente década la tasa disminuyó a valores entre 2 y 3%, mientras que en la última década presenta una disminución a una tasa de poco menos del 1% anual.

Tabla 2. Tasa de crecimiento poblacional 1990-2015

<b>Quinquenio</b>	<b>Ensenada</b>	<b>Baja California</b>
1990-1995	3.8	4.4
1995-2000	3.9	3.9
2000-2005	1.8	2.3
2005-2010	2.7	2.3
2010-2015	1.1	1.3

*Nota:* Datos poblacionales adaptados de Encuesta Intercensal 2015.

Esto indica una ligera disminución de la tasa de crecimiento poblacional, lo cual se refleja también en la distribución porcentual de los grupos poblacionales (Tabla 3), así como en la edad promedio en la región (Tabla 4). En la Tabla 3 se puede observar el grueso de población que es económicamente activa, hasta un 65.6% de la población.

En la Tabla 4 se observa una tendencia creciente hacia la edad promedio tanto en Baja California como en Ensenada, en la cual se observan tendencias semejantes.

Tabla 3. *Distribución porcentual de la población.*

<b>Distribución porcentual de la población en grupos de edad Ensenada</b>	
Grupos de Edad	Población (%)
0-14 años	28.7
15-64 años	65.6
65 años y más	5.1

Tabla 4. *Edad Promedio en Baja California y Ensenada.*

<b>Edad Promedio en Baja California y Ensenada</b>		
Año	Baja California	Ensenada
2000	23	23
2010	26	25
2015	27	27

*Nota:* Datos poblacionales adaptados de Encuesta Intercensal 2015.

Por lo revisado en las gráficas de estadísticas poblacionales revisadas anteriormente (AEM, 2019), se puede ver que existe una tendencia de crecimiento poblacional si bien en el período 2010 al 2015 se observa también una reducción en la tasa de crecimiento poblacional respecto a los periodos anteriores.

Durante el censo de población realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2020, se contabilizaron 140 mil viviendas particulares en Ensenada, lo cual representa un crecimiento de 3.3 por ciento respecto al 2010.

Entre los años 2000 y 2012 se presentó un fenómeno de crecimiento en la construcción de viviendas en la ciudad de Ensenada, el cual se dio principalmente en los desarrollos nuevos en las periferias de la ciudad, por medio de constructoras corporativas como Desarrollos Urbi, Constructora Geo, Homex y algunas otras.

Este aumento de viviendas de interés social y popular (B1-B2) se debió a una coyuntura entre los poderes políticos/ económicos de las administraciones de Vicente Fox y Felipe Calderón. Los desarrollos fueron construidos con gran rapidez sin mucho énfasis tanto en calidad como en planeación, sobre todo en la zona Sur de la mancha urbana y en la zona Noreste de la ciudad.

Las viviendas se caracterizan por su construcción en serie, a partir de sistemas constructivos que priorizan la velocidad de construcción y la homologación de materiales. Son muy usuales las viviendas construidas de manera monolítica con concreto, por medio de molde, y cubiertas o entrepisos de losa aligerada. También se realizaron con sistema de block y castillos de concreto y losas aligeradas de concreto.

Estas viviendas prototípicamente son espacios unifamiliares de 35 a 56 m<sup>2</sup> de superficie construida, en lotes urbanizados de 70 a 120 m<sup>2</sup> de superficie. Cabe mencionar que en estos espacios se priorizó el margen de ganancia de los desarrolladores, no tanto así la habitabilidad para los usuarios finales, por lo que varios escenarios desfavorables para los habitantes se han venido presentando con el paso del tiempo, y uno de ellos es la interrupción del servicio de agua potable para los habitantes, percibido como un problema de índole social e incluso de salubridad e higiene.

En un análisis a nivel social, los usuarios de la vivienda popular en la ciudad de Ensenada viven en núcleos de 2 personas (pareja sin hijos) a 4 o 5, dependiendo del número de hijos, y también es usual que viva algún adulto mayor en el espacio habitacional.

La falta de agua, la cual se refleja de una manera más aguda en los asentamientos populares y/o de interés social, los cuales han crecido de manera exponencial en la ciudad desde el año 2000 a la fecha. Como ilustra la Tabla 5, la vivienda popular y económica es la que tiene más demanda en la ciudad de Ensenada, y es a la cual va referido este proyecto de investigación.

En esta tabla se muestra la cantidad de agua que demanda la población en una división de acuerdo con el tipo de vivienda. La unidad en que se mide la demanda de

agua es el hectómetro cúbico (HM3), el cual es el equivalente a un millón de metros cúbicos, o el volumen de un cubo con 100 metros por lado.

Tabla 5. *Demanda de vivienda en Ensenada*

Tipo de vivienda	Cantidad HM3	Porcentaje
Popular	1192	61%
Tradicional	426	22%
Media	186	9%
Económica	165	8%

*Nota:* Elaboración propia a partir de datos del INEGI, 2009

En cuanto al consumo de agua per cápita, se estima una media de 180 a 200 litros diarios por persona en la mancha urbana de la ciudad. Cabe mencionar, que de acuerdo a CESPE, hasta un 25% del líquido se pierde por deficiencias en la infraestructura, por lo que incide directamente en la disponibilidad de agua para el usuario final.

Los factores de estrés hídrico acentuados con un factor de crecimiento poblacional constante llevan a la problemática que se busca afrontar con esta investigación, es decir a la falta de agua asequible para la población en la ciudad de Ensenada y que se aborda en el siguiente apartado.

### **1.1.5. Fuentes de agua convencionales**

El abastecimiento de agua para la ciudad de Ensenada proviene principalmente de cuatro fuentes: Guadalupe, Maneadero, La Misión y Ensenada, esto según el *Programa Hídrico Regional para la región I de Baja California* (CONAGUA, 2012).

Debido a esta demanda paulatina, la cantidad de agua extraída ha excedido los niveles que permitirían un aprovechamiento sustentable, lo cual ha propiciado el

agotamiento de estas fuentes, con lo que la calidad del agua se ve afectada debido a la sobreexplotación e intrusión salina (CESPE, 2018).

También es necesario mencionar que, en 2012, se realizó el concurso para la construcción de una planta desalinizadora en la Ciudad de Ensenada, Baja California, la cual opera desde el año 2016 (CESPE, 2018). A decir de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de la Ciudad de Ensenada, este proyecto representó la opción más viable para resolver la falta de agua, debido a las características del clima árido y la sobreexplotación del recurso hídrico en la ciudad.

Hasta el día de hoy, la operación de la planta desalinizadora aún no acaba con el problema del desabasto de agua para el grueso de la población de Ensenada, situación patente para los habitantes ya que los tandeos e interrupciones del servicio de agua potable siguen siendo constantes, sobre todo en los meses de verano (CICESE, 2018).

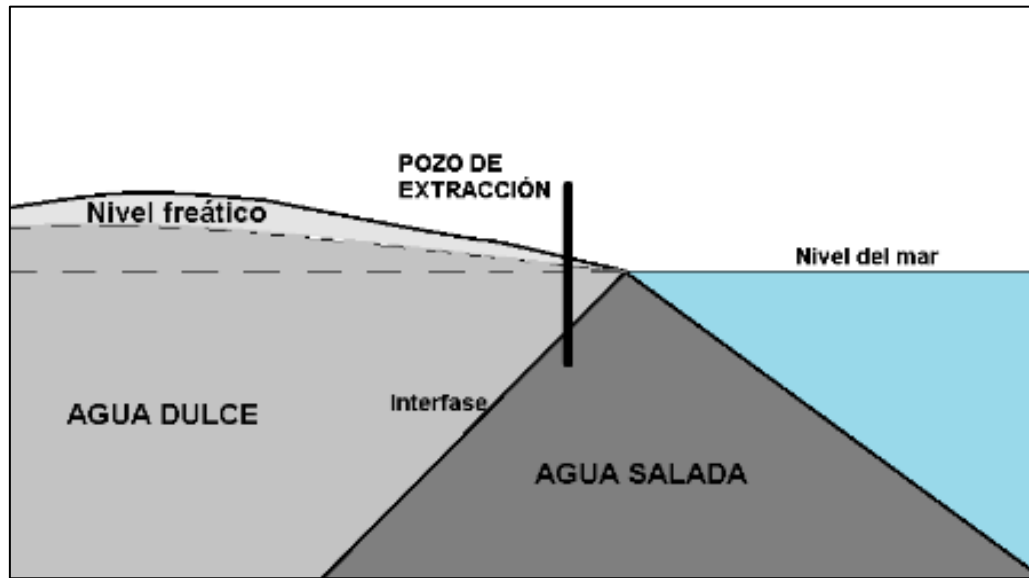
#### **1.1.5.1. Intrusión salina en pozos de agua potable**

Otra vertiente de la problemática en cuanto al estrés hídrico y la falta de agua potable en nuestra región es la intrusión salina en las fuentes de agua potable. Entiéndase como intrusión salina el fenómeno de infiltración de agua salada que, debido a la cercanía con el mar y la sobreexplotación de mantos freáticos ocurre en las fuentes agotadas de agua potable en la región, sean estos mantos freáticos, pozos, o fuentes subterráneas (CICESE, 2018). Esto se puede explicar con más detalle en la definición que da Hidrogeológica de Chile:

*“Se considera que el agua captada de un acuífero costero se contamina (saliniza) cuando la fuente aprovechable, o agua dulce se pone en contacto con una zona de mezcla de agua dulce con agua salada o únicamente agua salada.*

*Una mezcla de estas aguas conteniendo una fracción de agua salada, de entre 3 a 4%, añade entre 600 y 800 ppm (partes por millón) de cloruros al agua dulce, lo cual deviene en que el agua resultante tenga una salinidad muy alta e inadecuada para la mayoría de los usos potenciales.”* (Hidrogeológica Chile, 2019 s/p)

Figura 5. Esquema de Intrusión Salina



Nota. Esquema adaptado del sitio web: Hidrogeológica Chile, 2019

### 1.1.6. Calidad del agua suministrada

Debido a estos fenómenos y como se ha mencionado anteriormente, la puesta en operación de la planta desalinizadora en la ciudad ha propiciado que el agua potable suministrada en la red municipal tenga características indeseadas como una gran presencia de sales, lo que en un momento dado puede afectar tanto la infraestructura municipal como los dispositivos, muebles sanitarios y tuberías que conforman las instalaciones de las viviendas en la ciudad de Ensenada.

Por otra parte, se debe considerar que este tipo de agua requeriría un mayor tratamiento para potabilizarla, es decir para hacerla apta para consumo humano. Esto requiere más recursos, por consiguiente, un impacto mayor a la economía y el medio ambiente. Es por tanto que este trabajo se enfoca a otras alternativas de abastecimiento de agua, como se explora en el siguiente apartado.

### 1.1.7. Fuentes alternativas de abastecimiento de agua

Debido al problema latente de agotamiento de fuentes de agua potable convencionales, definiéndose éstas como la extracción de agua potable de fuentes

subterráneas o cuerpos de agua potable superficiales, se ha optado por buscar diversas alternativas para el abastecimiento de agua en distintas partes del mundo.

Entonces, se definen como fuentes alternativas de abastecimiento de agua a todas aquellas técnicas que buscan extraer el líquido vital de cualquier otra fuente excepto de los cuerpos de agua potable mencionados (ríos, lagos, mantos freáticos, pozos, etc.)

Aparte del tratamiento y aprovechamiento de las aguas residuales por medio de procesos biológicos, físicos y químicos existen otras estrategias tanto para reusar, como para aprovechar y en su caso recolectar agua de los fenómenos ambientales como la lluvia o en este caso la humedad ambiental, como la niebla, neblina o rocío.

### **1.1.8. Niebla**

La niebla está constituida de nano gotas de agua suspendidas en el aire y el medio ambiente, las cuales no alcanzan a condensarse en gotas lo suficientemente grandes y pesadas para constituir una gota de lluvia y caer por precipitación a la superficie de la tierra.

*“La cantidad de vapor de agua en una masa de aire depende de la temperatura; el aire caliente puede contener más vapor de agua que el aire frío, por lo que la saturación ocurre a bajas temperaturas. Cuando ocurre el fenómeno de que hay más agua de la que puede contener el aire a cierta temperatura (un punto llamado volumen de saturación de vapor), el vapor de agua se condensa originando el fenómeno llamado niebla.*

*La niebla se forma más fácilmente en una masa de aire que tenga partículas a las cuales se puedan adherir las gotas de agua, como polvo y otras partículas suspendidas en el aire” (Ecoamerica, 2007 s/p).*

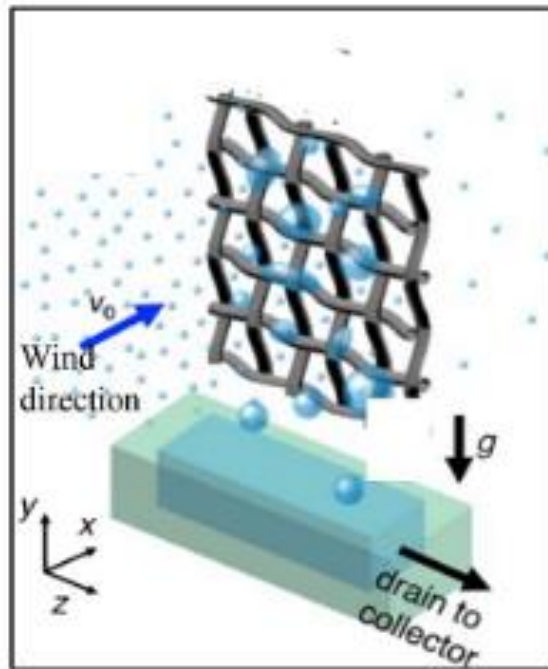
### **1.1.9. Captación de niebla**

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 (Regalado et al, 2019). Esta técnica se ha utilizado con éxito en lugares como Chile, Perú, Namibia, Marruecos, España y muchos otros países. (Echeverría, 2020)

La obtención de agua a partir de la niebla o agua suspendida / humedad ambiente es una técnica que cuenta con antecedentes de hace bastante tiempo (Román, 1999). El conocimiento y aplicación de técnicas de recolección de agua de niebla tiene una antigüedad de al menos hace cinco mil años, ya que hay evidencia de que, en asentamientos humanos, tanto de Sur América como Europa y África, se implementaron técnicas de cosecha de niebla, recolectando agua tanto de especies vegetales como árboles, así como de fuentes excavadas en encañonamientos de elevaciones en la costa hasta donde se filtraba el agua de niebla.

El proceso de captación de niebla se refiere a 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. Por capilaridad, estas gotas se conducen hacia un depósito en donde termina por colectarse el agua. En la siguiente Figura 6, se esquematiza dicho funcionamiento.

Figura 6. Esquema del funcionamiento de una red atrapa nieblas



Nota: Esquematización de un atrapanieblas con la humedad cayendo por gravedad. Fuente: Jarimi, 2018

El uso de los dispositivos captadores de niebla tiene áreas de oportunidad en cuanto a la eficiencia de los dispositivos a través de los diferentes tipos de materiales con los que son construidos (Li, 2019), la geometría de los dispositivos (Panter, 2020), además se sugiere la ubicación idónea para los mismos (Jarimi et al, 2020).

En México, y particularmente el área de la costa del Pacífico de Baja California aún no se tienen antecedentes prácticos en cuanto a la operación y factibilidad de dispositivos de cosecha de humedad ambiental, a pesar de que nuestra región reúne algunas condiciones propicias para su éxito (cercanía al océano pacífico, humedad ambiental por arriba del 70% la mayor parte del año) para explorar a fondo su implementación como estrategia paliativa para el estrés hídrico que sufre la región (Camacho, 2016).

Se identificaron algunos antecedentes de trabajos de investigación en Baja California acerca de los dispositivos atrapanieblas, los cuales son estudios teóricos en donde se concluye que la utilización de esta técnica es factible y puede ser utilizada como una alternativa a las fuentes de abastecimiento tradicionales (Medina, 2012).

## **1.2. Justificación**

En el ámbito mundial, México es un país que presenta vulnerabilidad por falta de agua a corto plazo, mientras que a nivel nacional Baja California es uno de los estados con una problemática compleja y difícil en cuanto al abastecimiento hídrico. Entre sus municipios, Ensenada afronta una problemática aún mayor, sin tener afluentes cercanos como ríos, y dependiendo de fuentes de abastecimiento estresadas y una precipitación pluvial baja (CONAGUA, 2012).

Esta investigación plantea obtener conocimientos de factibilidad de un sistema de captación de agua a partir de la niebla y/o neblina, definiendo una ubicación efectiva a partir de las variables climatológicas y geográficas de la ciudad.

Debido a las condiciones climáticas y geográficas de la región se concluyó que un sistema compuesto por medio de redes atrapanieblas es el sistema que teóricamente ofrece mayores posibilidades de captar un mayor volumen de agua, así como asegurar una eficiencia en cuanto al costo del sistema.

Esto permitirá que esta fuente alternativa de abastecimiento de agua sea considerada como una solución factible y que pueda ser aplicada a otras localidades que tengan las mismas características geo ambientales de Ensenada.

Por lo tanto, los resultados de esta investigación impactarán de manera positiva a la sociedad, promoviendo fuentes alternativas de abastecimiento de agua potable, con lo cual la población se ve beneficiada en cuanto a su derecho al agua y saneamiento.

En el contexto de la economía nacional, el objetivo es brindar disponibilidad de agua en localidades que aún no cuentan con la infraestructura suficiente, dejando de impactar tanto al presupuesto de los contribuyentes como apoyando a la economía del núcleo familiar al poder reducir el costo del abastecimiento de agua por fuentes convencionales.

Cumpliendo con estos objetivos, se espera también impactar positivamente al medio ambiente ya que esta técnica de recolección de agua no depende de energías

no renovables, dependiendo enteramente de fenómenos climatológicos ya presentes en la región.

Esta investigación trata de ser congruente con el punto 6 de los *Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU)*:

*“De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua” (UNESCO, 2019, s/p).*

La pandemia de COVID-19 ha permitido reconocer la importancia de la higiene y el acceso universal a fuentes de agua limpia, con la finalidad de prevenir y contener enfermedades de transmisión viral y bacteriana. El saneamiento y la higiene personal son las estrategias para salvar vidas. Sin embargo, como se expuso en los antecedentes de este documento, existe aún una gran cantidad de población que carece de agua potable y drenaje. (UNESCO, 2019).

Los resultados de esta investigación serán difundidos mediante un documento de Tesis de Maestría por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), con el fin de que contribuya tanto al conocimiento científico y que tenga una aplicación práctica para paliar el estrés hídrico en la ciudad de Ensenada.

### **1.3. Preguntas de investigación**

Con base en la problemática planteada, se trabajó en dos preguntas de investigación con las cuales se plantea desarrollar la metodología de la investigación, y con esto, llevar a cabo el desarrollo de la misma.

¿Cuál es el beneficio que representa el aplicar un sistema alternativo de recolección de agua para los habitantes de una vivienda popular en la ciudad de Ensenada,

comparándolo con las fuentes de agua convencionales y/o no convencionales, tomando en cuenta las condiciones ambientales de la ciudad?

¿Qué características debe reunir la ubicación óptima para emplazar dispositivos de recolección de niebla con el fin de asegurar la mayor captación de agua posible y/o la mayor eficiencia costo/beneficio en la construcción de estos dispositivos?

#### **1.4. Hipótesis**

Con base en la literatura consultada, así como los casos análogos a esta investigación se redactaron dos hipótesis con las cuales se piensa trabajar ya sea en su corroboración o investigación a fondo pensando en cumplir los objetivos.

Al aplicar un sistema atrapaniebla se logra demostrar que esta estrategia de recolección de agua representa un mejor costo-beneficio comparado con otro tipo de estrategias de ahorro de agua, al adaptarse mejor a las características climáticas de la ciudad con una disponibilidad de humedad ambiente favorecida por la cercanía al mar a lo largo del año.

La ubicación ideal para los colectores de neblina debe tener cercanía al mar, ubicarse a una altitud de más de 40 msnm, con presencia de vegetación, encañonamiento a partir de la orografía del lugar que propicie la velocidad del viento sin barreras naturales.

#### **1.5. Objetivos de la Investigación**

En cuanto a los trabajos analizados, no se encontró algún estudio que compare las características micro-climáticas de un sitio de estudio, así como la diferencia entre sus características geográficas. Esta es una veta de estudio que puede explorarse, teniendo en cuenta que la ciudad de Ensenada presenta diversas características micro climáticas en distintos puntos alrededor de la ciudad.

En México, y particularmente el área de la costa del Pacífico de Baja California aún no se tienen antecedentes prácticos en cuanto a la operación y factibilidad de dispositivos de cosecha de humedad ambiental, a pesar de que nuestra región reúne algunas condiciones propicias para su éxito (cercanía al océano pacífico, humedad ambiental por arriba del 70% la mayor parte del año) para explorar a fondo su implementación como estrategia paliativa para el estrés hídrico que sufre la región (Camacho, 2016).

### **1.5.2. Objetivo general**

Evaluar los beneficios sociales, económicos y ambientales que un dispositivo que transforma la humedad del ambiente en agua podría representar para una familia que habita una vivienda de tipo popular ubicada en la ciudad de Ensenada, a partir de la definición precisa de las características del contexto que permitan incrementar su desempeño y bajo un esquema de autoconstrucción y materiales económicos.

### **1.5.3. Objetivos específicos**

- Estimar el volumen de agua captado por un dispositivo recolector de humedad de bajo costo autoconstruido en un punto de la ciudad con parámetros como altitud, cercanía al mar y presencia de vegetación durante el lapso de evaluación considerado en la metodología aplicada.
- Evaluar la eficiencia de los dispositivos recolectores de agua de humedad ambiente de acuerdo a variables de materiales utilizados, ubicación, inclinación y temporadas de humedad / sequía a través del tiempo.

## **1.6. Alcances**

El experimento y sus alcances están supeditados al área geográfica de la bahía de Ensenada, con un monitoreo puntual en el periodo frío-húmedo, en la transición temporal entre el verano (alta humedad relativa, altas temperaturas, pocas o nulas

precipitaciones) y el invierno (humedad relativa media, bajas temperaturas, precipitaciones medias).

### **1.7. Limitantes**

Las limitaciones principales, al ser este un trabajo académico, es el período de medición, el cual no pudo ser de un año completo, por lo cual se llegó a la necesidad de realizar el monitoreo por un periodo de 5 meses, durante la temporada de transición de altas a bajas temperaturas.

En este periodo de monitoreo se pudo aprovechar la baja de temperaturas, lo cual facilitó la captación de agua al favorecer el fenómeno de condensación, ya que, si bien durante el verano se tiene un índice de humedad relativa más alto, las temperaturas más altas impiden la saturación de esta humedad y por lo tanto se dificulta la condensación del agua en la superficie de los dispositivos.

### **1.8. Pertinencia**

Un trabajo de investigación como el presentado aquí busca que los habitantes de vivienda popular y también de viviendas de interés social puedan buscar una fuente de aprovechamiento de agua alternativa y que pueda proteger a este usuario de la falta de agua que adolece la región.

### **1.9. Hallazgos**

Durante el transcurso de esta investigación se descubrió que, si bien hay una presencia regular de neblina a lo largo del año, y obviamente el periodo monitoreado, la altitud de la capa de niebla en varios de los días impidió que todo el potencial de captación de agua no pudiera ser aprovechado en su totalidad, respecto a la altitud sobre el nivel del mar de los asentamientos en donde se llevó a cabo el estudio.

## **CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN**

## **2. Antecedentes**

En este apartado se describe la teoría acerca del proceso de recolección de neblina de la humedad ambiental, sus componentes principales, así como los antecedentes que dan muestra de la viabilidad de esta estrategia como una alternativa de éxito al problema de falta de abastecimiento de agua en la ciudad de Ensenada.

### **2.1. Marco Conceptual (terminología especializada)**

Para lograr que el proceso de captación de niebla se realice de forma correcta es necesario comprender los aspectos físicos que inciden en este proceso natural. Si bien la mayoría de la población ha visto o experimentado los fenómenos físicos producto de la condensación y evaporación del agua, como el rocío, la niebla o la lluvia es necesario estudiar los conceptos inherentes a estos procesos para poder eficientizar nuestro modelo de estudio.

#### **2.1.1. Atmósfera**

La atmósfera terrestre es la capa superficial de la Tierra, compuesta en su mayor parte por diferentes tipos de gases, y es por esta característica que es la capa menos densa de nuestro planeta. Estos gases varían en cantidad según la presión a diversa altura respecto al nivel del mar. A la mezcla de gases que componen la atmósfera se le conoce usualmente con el nombre de aire.

Hasta tres cuartas partes de la masa de gases o atmosférica se halla en los primeros 11 kilómetros de altura, sobre el nivel del mar. Los gases que se pueden encontrar en la atmósfera son oxígeno (20.5 %) y nitrógeno (77.6 %), seguidos de vapor de agua, argón y dióxido de carbono.

### **2.1.2. Aire**

A partir de este punto en el documento se incluyen definiciones según la literatura consultada como referencia en este documento.

*“El aire normal, conocido como aire húmedo en psicrometría está constituido por una mezcla de aire seco y vapor de agua. El aire seco también es una mezcla de varios gases, usualmente los siguientes: Nitrógeno 77%, Oxígeno 22% Vapor de agua y otros gases: 1%*

*El aire tiene la capacidad de retener una cantidad variable de vapor de agua en relación a la temperatura del aire. A menor temperatura, menor cantidad de vapor y a mayor temperatura, mayor cantidad de vapor de agua, con una presión atmosférica constante.” (Barry y Chorley, 1998 p. 91).*

### **2.1.3. Humedad Relativa**

*“La humedad relativa (RH) es la relación entre la cantidad de vapor de agua de un volumen de aire entre el mismo volumen de aire que lo contiene. La misma cantidad de vapor de agua produce una mayor humedad relativa en el aire frío que en el mismo volumen de aire caliente.” (Givoni, 1976 pp. 7).*

### **2.1.4. Temperatura**

*“La temperatura es la magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general. Dicha energía interna se expresa en términos de calor y frío, siendo el primero asociado con una temperatura más alta, mientras que el frío se asocia con una temperatura más baja.” (Significados.com, 2021 s/p)*

### **2.1.5. Temperatura de bulbo seco**

La temperatura de bulbo seco, o también llamada comúnmente temperatura del aire es el indicador térmico del medio ambiente que se mide con un termómetro común,

sin más contacto que el aire a su alrededor. En su medición no interviene la humedad que habitualmente puede cambiar la percepción de la temperatura.

#### **2.1.6. Temperatura de bulbo húmedo**

*“La temperatura de bulbo húmedo se presenta o se puede medir cuando tenemos la acción de la humedad en la percepción de la temperatura del aire. Se mide por medio de un bulbo en contacto con una superficie humedecida, como una gasa. Por ello la temperatura del termómetro de bulbo húmedo disminuye hasta llegar a un punto de equilibrio en el que se estabiliza. La temperatura que registra el termómetro en esas condiciones se llama temperatura psicrométrica de bulbo húmedo (Tbh).” (Givoni, 1976, pp. 7).*

#### **2.1.7. Viento**

*“El viento es el flujo del aire a gran escala en la atmósfera. En otras palabras, el viento es el movimiento en masa del aire de acuerdo con las diferencias de presión atmosférica. El viento puede medirse mediante la velocidad y dirección; la velocidad mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados. Se mide mediante un anemómetro, y la unidad de medida es habitualmente metros por segundo (m/s). La dirección del viento se indica por medio de los puntos cardinales o los grados de la circunferencia. Las ausencias de viento se denominan calmas.” (Significados.com, 2021 s/p)*

#### **2.1.8. Precipitación Pluvial**

*“Se nombra como precipitación al agua que cae a la superficie terrestre desde la atmósfera. La lluvia, el granizo y la nieve, en este sentido, son tipos de precipitación. En este apartado, se refiere principalmente a la precipitación pluvial, es decir, el agua en estado líquido que cae a la superficie desde la atmósfera” (Barry y Chorley, 1998 pp. 74).*

### 2.1.9. Evaporación

*“La evaporación del agua es un proceso mediante el cual el agua pasa de estar de estado líquido a estado gaseoso. Para ello tiene que haber acumulado suficiente energía en forma de calor para vencer su tensión superficial. Para que se de esto, no es necesario que toda la masa de agua haya superado el punto de ebullición.”* (Ecoamerica, 2007 s/p)

### 2.1.10. Psicrometría

*“La psicrometría estudia las propiedades físicas y termodinámicas de la atmósfera, así como también involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano.”* (Givoni, 1976, pp. 36)

En la siguiente ecuación se enumeran los componentes del aire húmedo, sintéticamente es el aire seco y el vapor de agua en la atmósfera.

$$\text{Aire húmedo} = \text{aire seco} + \text{vapor de agua.} \quad (1)$$

*“El comportamiento de la mezcla de aire seco y vapor de agua sigue la ley de Dalton de las presiones parciales, de acuerdo a sus respectivas propiedades. (La presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de sus componentes”, como se enumera en la sig. ecuación:*

$$P_t = p_1 + p_2 + p_3 + \text{etc} \quad (2)$$

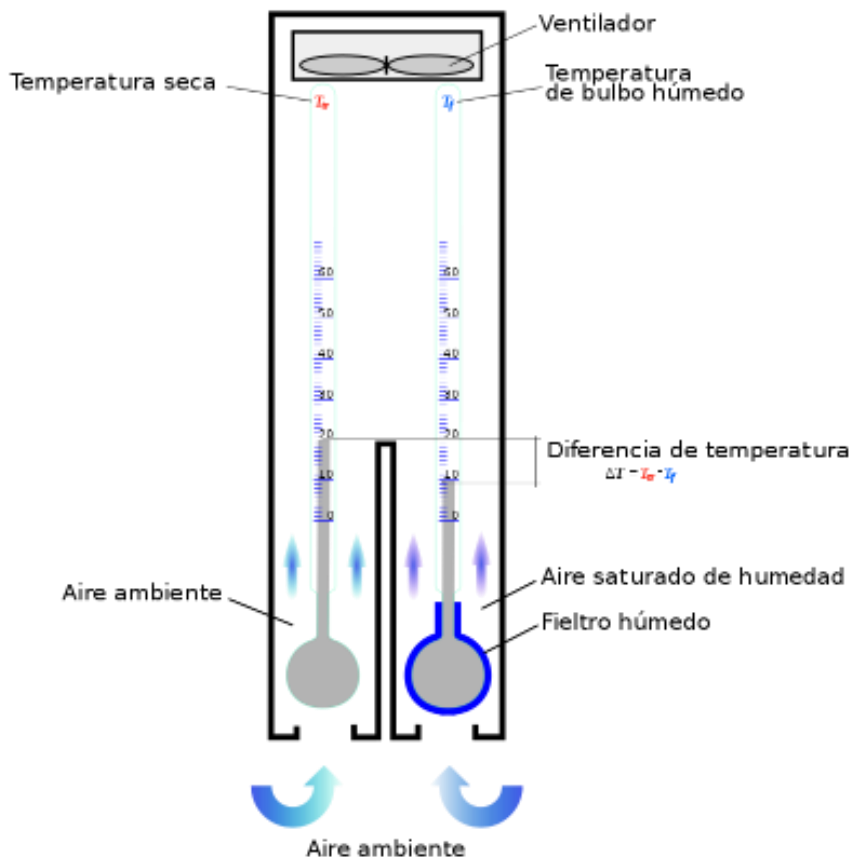
Siendo  $P_t$  la presión total, y las variables  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  representan la presión parcial, es decir la presión que ejerce cada uno de los componentes del sistema en las mismas condiciones.

“La presión atmosférica es la suma de la presión del aire seco y la presión del vapor de agua. La presión del vapor de agua depende del número de moléculas presentes en un determinado volumen y, por lo tanto, de la masa del vapor de agua por unidad de volumen y varía con la temperatura. Se mide en mm de Hg o en milibares (mb).  $1\text{mb} = 0.75\text{ mm de Hg}$ .”

El valor más alto de la presión del vapor de agua se observa en las regiones tropicales cerca de la superficie del mar y es de aproximadamente 30 mb. Los aparatos que se usan para medirla son el espectrógrafo de masas y los radioisótopos (porque dan mediciones muy precisas).” (Givoni, 1976 pp. 46)

Normalmente, para medir la humedad relativa ambiental se utilizan dispositivos como el higrómetro o el psicrómetro, el cual se esquematiza en la siguiente ilustración (Figura 7), el cual consta de dos termómetros, uno seco y uno húmedo.

Figura 7. Esquema del funcionamiento de un psicrómetro.



Nota: El psicrómetro relaciona la temperatura y la humedad. Extraído de fundamentos bioclimáticos

*“La densidad del aire (o peso por metro cúbico) varía, siendo mayor a nivel del mar (donde es comprimido por todo el aire encima del mismo) que, en la cima de una montaña, o en lugares con una gran altitud.” (Barry-Chorley, 1998 pp.113)*

*“El aire es un gas altamente sobrecalentado, o más precisamente, es una mezcla de gases altamente sobrecalentados. Es por eso que es difícil condensarlo sin precisar de cambios de temperatura ambiente. Una de sus características principales es su ligereza.*

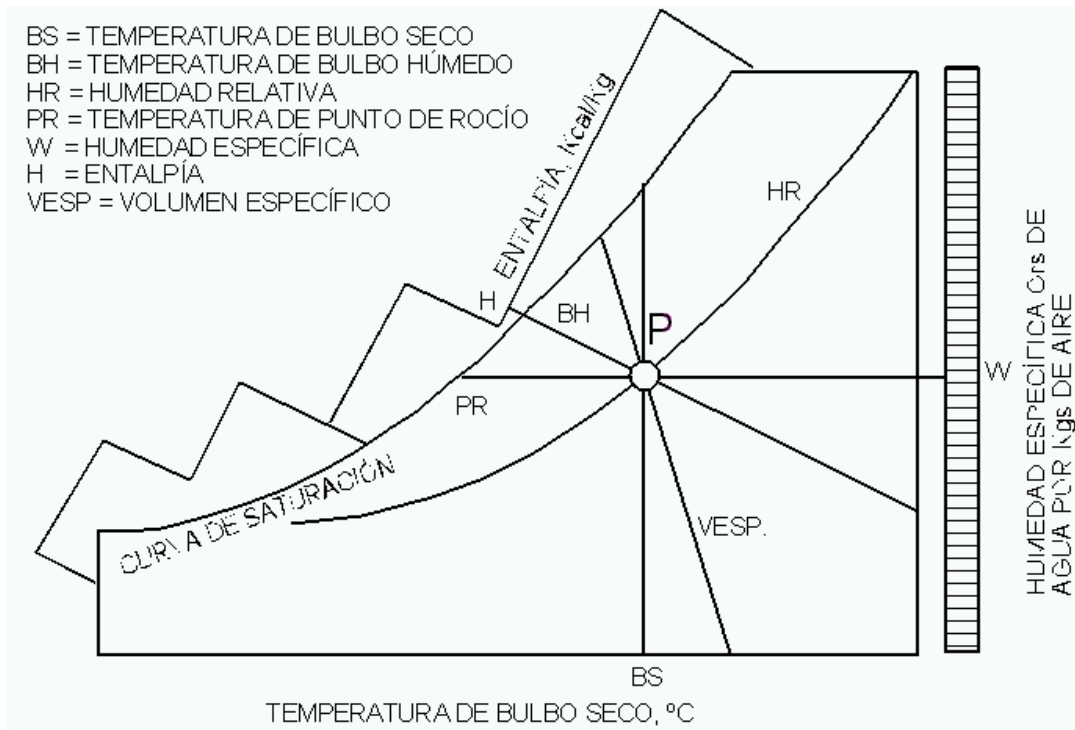
*Aunque se puede enfriar o calentar, y moverlo con relativa facilidad, esto no cambia significativamente sus propiedades; ya que, los pequeños cambios de temperatura que le hagamos, sólo causan cambios muy pequeños en el volumen y la densidad del aire mencionado. Si el aire seco se calienta, se expande y su densidad disminuye, cuando la presión permanece constante. Inversamente, si se enfría el aire seco, aumenta su densidad.” (Givoni, 1976 pp. 36)*

#### **2.1.11. La carta psicrométrica**

*“Una carta psicrométrica, es una gráfica de las propiedades del aire, tales como temperatura, humedad relativa (HR), volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire. Este gráfico se integra por curvas, trazadas a partir de las ecuaciones de estado que relacionan los parámetros que caracterizan la mezcla aire-vapor de agua.” (Noguera, 2020 s/p)*

En la Figura (8) se observa el diagrama de la carta psicrométrica en donde se puede observar la relación existente entre las distintas variables climáticas, bajo una relación gráfica.

Figura 8. Diagrama psicrométrico conceptual



Nota: Diagrama psicrométrico según Barry y Chorley (1998)

*“Para poder determinar todos los parámetros del aire húmedo, se necesitan conocer previamente, al menos tres de ellos. Bajo esta premisa, resulta complicado representar la resolución de un problema en un gráfico bidimensional.*

*Para solventar el problema, se fija una de las variables: la presión atmosférica. Esto implica que se requiere un diagrama distinto para cada localidad, según sea su altitud sobre el nivel del mar, o bien, resolver el problema sobre un diagrama cualquiera y posteriormente corregir los resultados en función de la diferencia de presiones entre el diagrama utilizado y la localidad en cuestión. La mayor parte de los diagramas están contruidos para la presión a nivel del mar”. (Noguera, 2020 s/p).*

### 2.1.12. Condensación

La condensación se define como el cambio de estado de gas (generalmente en vapores) y pasa a líquido. Este proceso físico puede generarse de forma natural o

artificial, y usualmente hay un cambio de temperatura inherente al cambio de estado físico.

### **2.1.13. Proceso de condensación**

*“Aunque el paso del gas a líquido depende, entre otros factores, de la presión y de la temperatura, generalmente se llama condensación al tránsito que se produce a presiones cercanas a la ambiental. Cuando se usa una sobrepresión elevada para forzar esta transición, el proceso se denomina licuefacción.”*  
(Camilloni-Vera, 2006 pp.16)

La condensación usualmente tiene lugar cuando un gas se enfría hasta llegar a su punto de rocío. Sin embargo, se puede lograr la condensación sin cambio de temperatura, y esto se logra variando la presión del gas. Los dispositivos para lograr esto de manera artificial se les llama condensadores

La ciencia que estudia estos fenómenos y otras propiedades del aire húmedo, así como la influencia de este en materiales y ser humano se llama psicrometría. La carta psicrométrica es un recurso gráfico que representa las relaciones entre las variables que definen la composición del aire húmedo. La condensación es un proceso que tiene que ver con la energía y entropía.

### **2.1.14. Condensación en la naturaleza**

La condensación de vapor a agua en la naturaleza ocurre al bajar la temperatura, por ejemplo, en las horas de menor temperatura como en la madrugada, que es cuando se produce el rocío o sereno.

*“El vapor solo se condensa en una superficie cuando la temperatura de dicha superficie es menor que la temperatura de saturación para la presión a la que se encuentra el vapor”* (Ahrens, 2002 pp. 116).

Durante este fenómeno la partícula de agua libera energía en forma de calor, por lo que esto genera una sensación de aumento de temperatura en ambientes cálidos y húmedos.

#### **2.1.14.1. Aplicaciones**

*“La condensación es esencial para el proceso de destilación, un proceso muy importante tanto para el trabajo en el laboratorio como para aplicaciones industriales. También es muy importante para la purificación de agua. El hecho de que la condensación sea un proceso natural, el llamado rocío, hace que sea de gran utilidad para conseguir agua.” (Ahrens, 2002, pp.117).*

En el caso de este trabajo, es muy importante para poder lograr la captación de agua mediante el aprovechamiento de los fenómenos físicos que permiten captar el agua por medio del medio ambiente.

#### **2.1.14.2. Rocío (Fenómeno Físico)**

*“El rocío es un fenómeno físico-meteorológico en el que la humedad del aire se condensa en forma de gotas por la disminución brusca de la temperatura, o el contacto con superficies frías. Se habla de rocío en general cuando se trata de condensación sobre una superficie, naturalmente sobre la cubierta vegetal del suelo o artificialmente en un vidrio empañado.*

*Una de las formas de producción de rocío tiene que ver con el enfriamiento nocturno del suelo (y de la capa de aire adyacente) debido a la pérdida neta de energía por emisión de radiación infrarroja. Esta pérdida de energía es mayor en noches despejadas y frías, cuando el efecto invernadero de las nubes no existe, haciendo posible alcanzar el punto de saturación, formándose rocío.” (Bohren, 1998, pp.88)*

### 2.1.14.3. Punto de rocío

*“El punto de rocío la temperatura más alta a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.*

*Para una masa dada de aire, que contiene una cantidad dada de vapor de agua (humedad absoluta), se dice que la humedad relativa es la proporción de vapor contenida en relación a la necesaria para llegar al punto de saturación, es decir, al punto de rocío, y se expresa en porcentaje.” (Bohren, 1998, pp.91)*

El punto de rocío normalmente es calculado por alguna de las siguientes fórmulas:

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} * (110 + T) - 110 \quad (3)$$

Donde:

*Pr* es el punto de rocío

*T* es temperatura en grados centígrados (°C)

*H* es humedad relativa, en porcentaje (%)

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} - (112 + 0.9 * T) + (0.1 * T) - 112 \quad (4)$$

Donde:

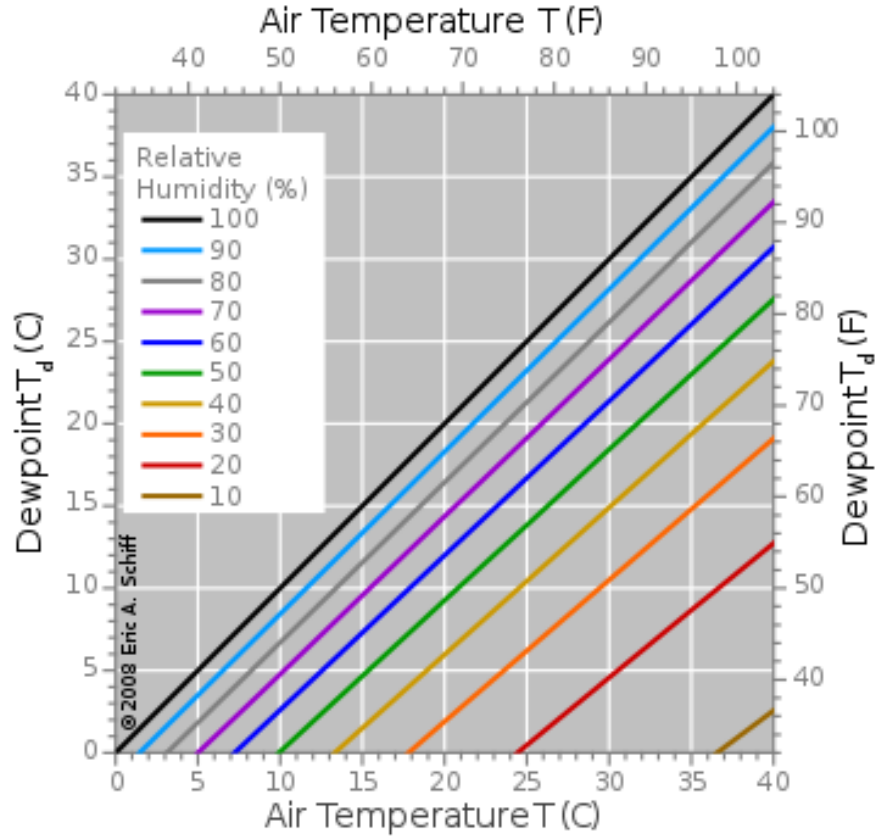
*Pr* es el punto de rocío

*T* es temperatura en grados centígrados (°C)

*H* es humedad relativa, en porcentaje (%)

En la siguiente Figura 9 se esquematiza el punto de rocío respecto a la temperatura del aire y humedad relativa, observándose que la temperatura menor es el factor preponderante para poder lograr el punto de rocío.

Figura 9. Esquema de punto de rocío respecto a temperatura de aire.



Nota. El diagrama presentado proviene de la Fuente: Bioclimatic Tool, 2018

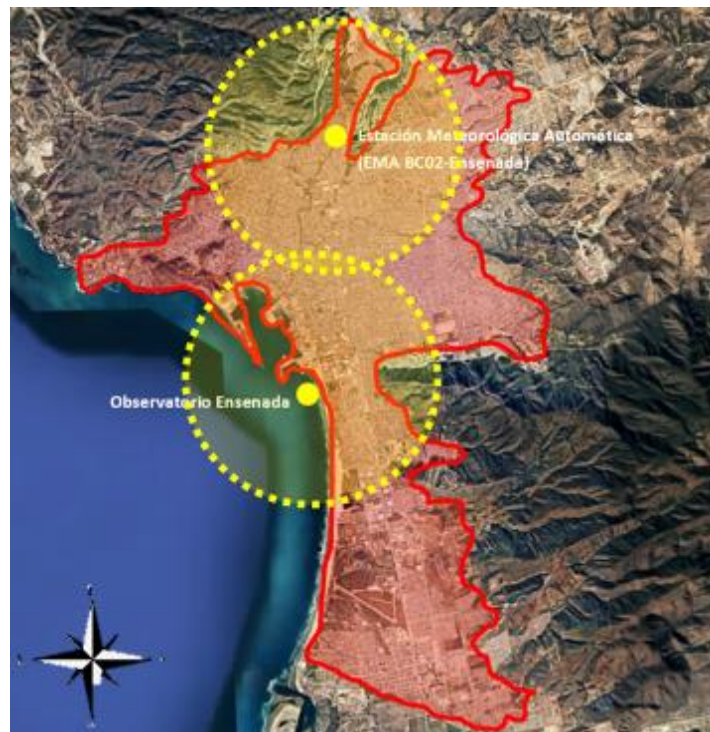
La temperatura del punto de rocío es susceptible a la presión atmosférica, como se ha mencionado en los capítulos anteriores, y es por lo cual que el diagrama psicrométrico se modifica dependiendo de la altitud del sitio de estudio.

## 2.2. Análisis climático de la Ciudad de Ensenada

Los factores ambientales del sitio de estudio (Ciudad de Ensenada), deben ser analizados a conciencia para asegurar la factibilidad del proceso de captación de niebla de la humedad ambiental. Entre los principales factores ambientales se considera la humedad relativa, la temperatura, el viento y la presencia de niebla.

Los principales datos de las variables climatológicas provienen de la Estación Meteorológica Automática (EMA) BCO2-Presa Emilio López Zamora ubicada al norte de Ensenada, Baja California con coordenadas: latitud  $31^{\circ} 53' 29''$  N, longitud  $116^{\circ} 36' 11''$  W, altitud 32.0 msnm en un periodo que corresponde del 2000 al 2017 de las normales climatológicas del Observatorio Sinóptico de Ensenada, Baja California con coordenadas: latitud N  $31^{\circ}49'$ , longitud W  $116^{\circ} 37'$  y altitud 13 msnm en el periodo de 1981 al 2010, ambas dependientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA) (Figura 10).

Figura 10. Ubicación de EMA BCO-Ensenada y el Observatorio Sinóptico de Ensenada, Baja California



Nota. EMA BCO2-Ensenada y el Observatorio Sinóptico de Ensenada, fuente de las variables climáticas normalizadas

### 2.2.1. Humedad Relativa

En la ciudad de Ensenada se cuenta con una Humedad Relativa media (HRmed) anual de 75.8 %. En el mes más seco que corresponde a enero se identifica

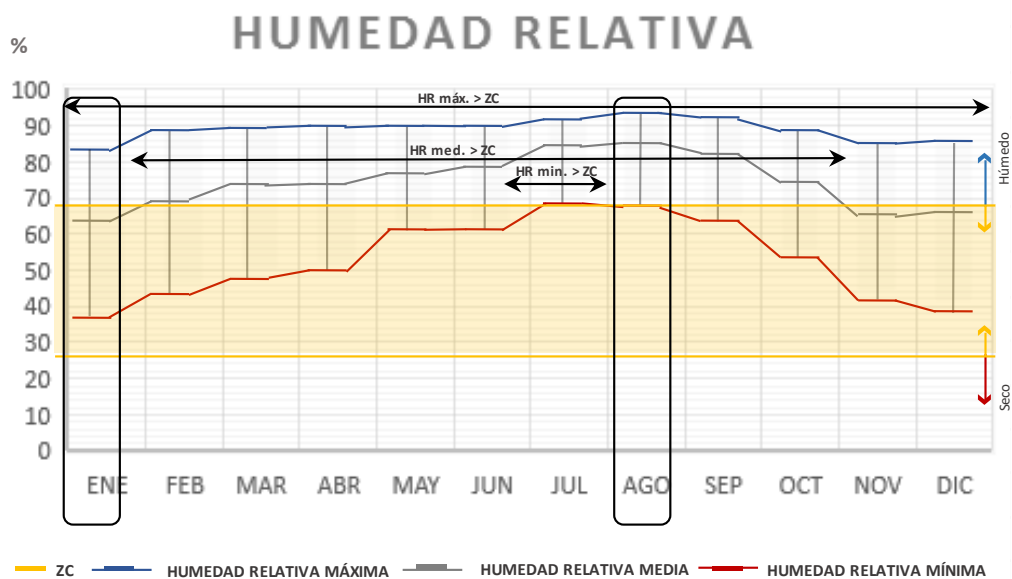
una HRmed de 65.4 %, y por otra parte en el mes más húmedo, que es agosto se presenta una HRmed igual a 86.1 %.

De acuerdo con la Figura 11, se observa que la Humedad Relativa Máxima (HR máx.) durante todo el año sobrepasan los rangos del 30 al 70%, mientras que las Mínimas (HR mín.) se ubican dentro de este rango, a excepción del mes de julio que se encuentra por encima de 70%.

La Humedad Relativa Media (HRmed) de febrero a octubre se encuentra por encima del 70%, mientras que los meses de noviembre y enero se ubican por debajo. El periodo de transición de cálido a frío se presenta del mes de junio a diciembre, y el de frío a cálido en el mes de diciembre a junio respectivamente. Cabe mencionar que la HR (máxima, media y mínima) es más alta durante los meses cálidos (julio a septiembre).

Con lo cual, se puede discernir que en el caso de estudio se cumplen con las condiciones de humedad relativa alta, que son una condicionante para la recolección de agua de la humedad ambiental. Los meses normalizados respecto a la humedad relativa se observan esquematizados en la siguiente gráfica (Figura 11).

Figura 11. Comportamiento mensual de las humedades relativas mínima, media y máxima



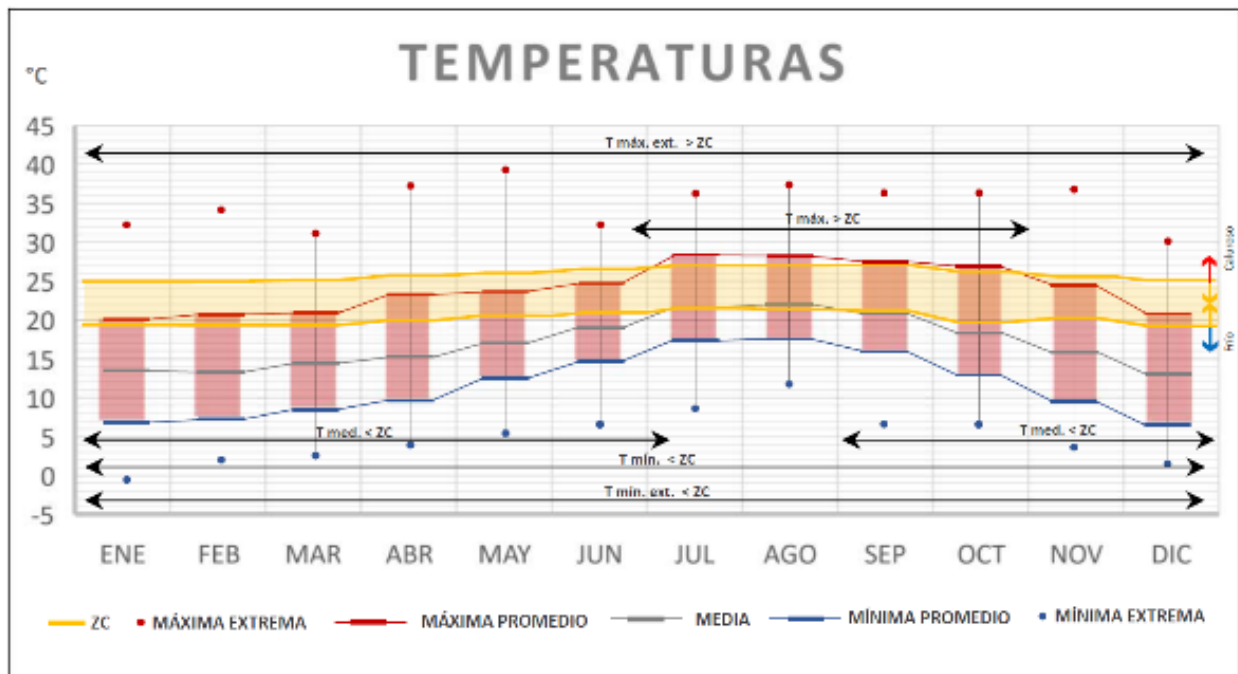
Nota. Meses de menor y mayor humedad relativa. Elaboración a partir de datos normalizados a través de "Bioclimatic Analysis Tool (BAT): Herramienta automatizada para facilitar los estudios preliminares de un proyecto bioclimático". (J. Rincón)

## 2.2.2. Temperatura

La ciudad de Ensenada cuenta con una temperatura media ( $T_m$ ) anual de 17.1 °C; la media del mes más cálido corresponde a agosto teniendo una temperatura media de 21.9 °C y la media del mes más frío corresponde al mes de diciembre con una temperatura de 13.3 °C.

El periodo de transición de cálido a frío se presenta del mes de junio a diciembre, y el de frío a cálido en el mes de diciembre a junio respectivamente. En la siguiente gráfica (Figura 12), se observan los datos de la temperatura graficados por mes.

Figura 12. Comportamiento mensual de las temperaturas mínima, media y máxima



Nota. Elaboración a partir de los datos normalizados de EMA. Elaboración a partir de datos normalizados a través de Bioclimatic Analysis Tool (BAT, J. Rincón)

## 2.2.3. Viento

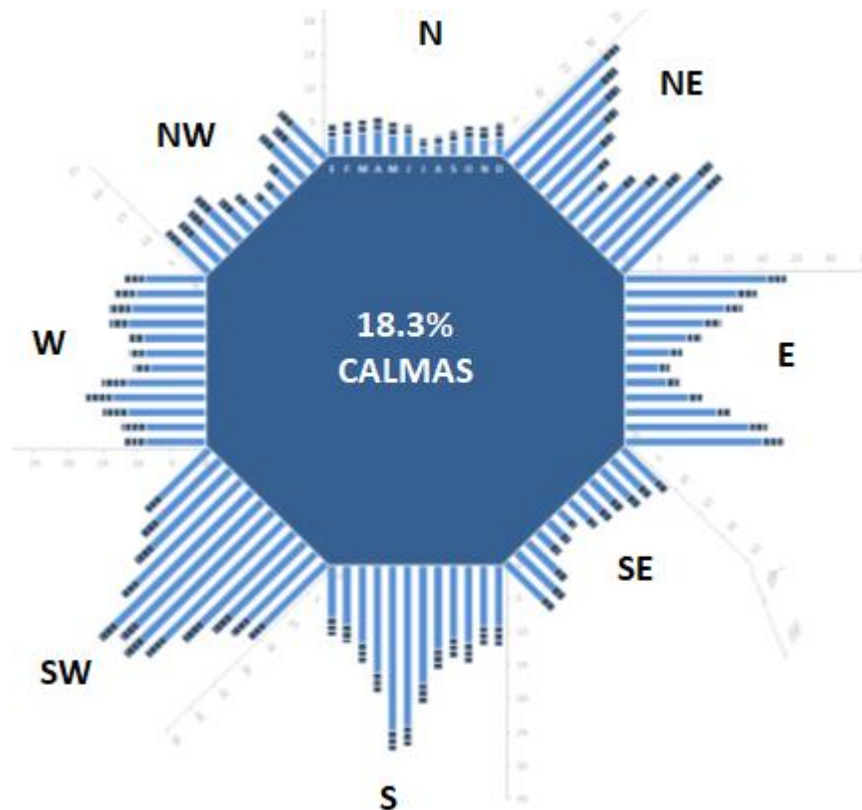
La velocidad promedio anual para Ensenada es de 2.5 m/s, el mes de abril es donde se presentan mayores rangos de Velocidad Máxima que equivale a 4.1 m/s, y en los meses de julio y agosto se presenta una velocidad media menor que equivale a 2.0 m/s.

La presencia de viento es otro factor determinante para el éxito de una recolección de neblina puesto que la captación por medio de un dispositivo (malla) requiere de la acción del viento que empuje la neblina hacia la malla y se pueda realizar la acción de la condensación.

En el siguiente gráfico se puede observar la rosa de los vientos octogonal (Figura 13) en donde se muestra la frecuencia y velocidad del viento por cada una de las orientaciones en cada uno de los meses de un año.

Se observa que los vientos en Ensenada provienen con mayor frecuencia de la orientación Suroeste (SW) que van desde el periodo de marzo hasta octubre, principalmente el mes de agosto con una frecuencia del 28.7 %, para los meses de noviembre a enero los vientos provienen del Este (E) con una frecuencia que va desde 18.2 % para el mes de noviembre al 20.8 % para el mes de enero. Durante el mes de febrero los vientos provienen del Noreste (NE) con una frecuencia del 17.1 %.

Figura 13. Rosa de los Vientos Octogonal



*Nota:* Comportamiento mensual del viento presentado por rumbo a partir de la frecuencia y velocidad, (Gráfico elaborado con datos climáticos procesados por la BAT del sitio en estudio).

La Tabla 6 muestra de manera detallada la frecuencia y velocidad mensual, anual y por dirección del viento presentado en un año en la ciudad de Ensenada durante un periodo que comprende del 2000 al 2017.

Tabla 6. *Desglose del comportamiento del viento año 2000- 2017.*

MESES	PARÁMETRO	UNIDAD	DIRECCIONES								CALMAS (%)	PROMED.	MÁXIMA
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW			
ENERO	Frecuencia	%	2.7	19.6	20.8	7.1	9.2	13.1	8.9	5.9	12.7	10.9	20.8
	Velocidad	m/s	2.2	2.7	2.8	2.0	2.9	3.2	3.2	2.7		2.7	3.2
FEBRERO	Frecuencia	%	3.1	17.1	16.5	6.0	9.1	14.2	8.8	5.6	19.7	10.0	17.1
	Velocidad	m/s	2.0	2.7	2.9	2.1	3.2	3.4	3.5	2.6		2.8	3.5
MARZO	Frecuencia	%	3.4	15.7	14.6	5.9	11.7	15.8	11.4	5.8	15.8	10.5	15.8
	Velocidad	m/s	2.0	2.5	2.7	2.1	3.2	3.5	3.7	2.7		2.8	3.7
ABRIL	Frecuencia	%	3.7	13.4	11.6	4.4	10.9	19.5	13.6	5.4	16.4	10.4	19.5
	Velocidad	m/s	2.2	2.4	2.5	2.0	3.2	3.8	4.1	2.9		2.9	4.1
MAYO	Frecuencia	%	3.0	10.7	9.0	4.3	12.6	25.1	11.6	4.1	19.6	10.1	25.1
	Velocidad	m/s	2.0	2.3	2.4	2.0	3.1	3.7	3.6	2.5		2.7	3.7
JUNIO	Frecuencia	%	3.1	8.0	6.7	4.0	17.7	27.6	8.1	3.5	21.2	9.8	27.6
	Velocidad	m/s	1.5	1.8	1.8	1.6	3.1	3.5	2.5	1.9		2.2	3.5
JULIO	Frecuencia	%	1.3	5.8	5.0	2.1	24.2	26.3	8.9	2.0	24.4	9.4	26.3
	Velocidad	m/s	1.4	1.7	1.6	1.5	3.1	3.3	2.3	1.4		2.0	3.3
AGOSTO	Frecuencia	%	1.7	8.8	6.2	2.9	24.9	28.7	9.2	2.2	15.4	10.6	28.7
	Velocidad	m/s	1.3	1.8	1.8	1.5	3.2	3.3	2.0	1.4		2.0	3.3
SEPTIEMBRE	Frecuencia	%	2.1	11.1	9.5	3.1	16.1	21.8	11.4	3.4	21.5	9.8	21.8
	Velocidad	m/s	1.7	1.9	1.9	1.6	3.0	3.2	2.7	1.8		2.2	3.2
OCTUBRE	Frecuencia	%	2.6	13.1	13.4	6.1	11.7	16.5	10.8	6.6	19.2	10.1	16.5
	Velocidad	m/s	1.8	2.3	2.3	2.0	3.0	3.4	3.4	2.5		2.6	3.4
NOVIEMBRE	Frecuencia	%	2.5	17.2	18.2	7.8	9.0	13.3	10.2	6.0	15.9	10.5	18.2
	Velocidad	m/s	1.8	2.5	2.7	2.0	2.8	3.2	3.3	2.5		2.6	3.3
DICIEMBRE	Frecuencia	%	2.7	16.7	20.2	7.9	7.9	10.4	8.9	7.1	18.3	10.2	20.2
	Velocidad	m/s	2.4	2.7	2.9	2.1	2.8	2.9	3.1	2.6		2.7	3.1
ANUAL	Frecuencia	%	2.7	13.1	12.6	5.1	13.8	19.4	10.2	4.8	18.3	10.2	21.5
	Velocidad	m/s	1.9	2.3	2.4	1.9	3.1	3.4	3.1	2.3		2.5	3.4

VIENTO	UNIDAD	MESES												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DOMINANTE		E	NE	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	E	E	SW
REINANTE		W	W	W	W	SW	SW	SW	SW	SW	SW	W	W	SW
MAXIMA	m/s	3.2	3.5	3.7	4.1	3.7	3.5	3.3	3.3	3.2	3.4	3.3	3.1	3.4
PROMED.	m/s	2.7	2.8	2.8	2.9	2.7	2.2	2	2	2.2	2.5	2.6	2.7	2.5
CALMAS	%	12.7	19.7	15.8	16.4	19.6	21.2	24.4	15.4	21.5	19.2	15.9	18.3	18.3

*Nota:* Datos obtenidos de variables normalizadas y procesadas a través de “*Bioclimatic Analysis Tool (BAT): Herramienta automatizada para facilitar los estudios preliminares de un proyecto bioclimático*”.

## 2.2.4. Precipitación Pluvial

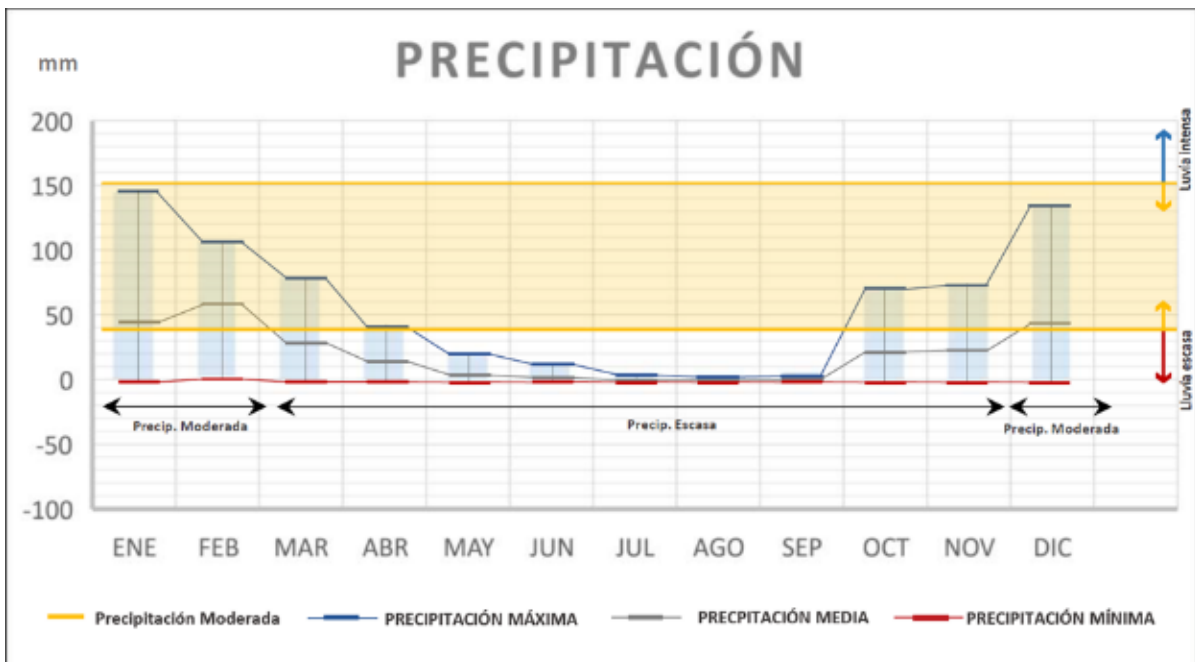
Se nombra precipitación al agua que cae a la superficie terrestre proviniendo de la atmósfera. En este sentido, el granizo, la nieve y la lluvia, son diferentes formas de precipitación. En este apartado, se hace referencia principalmente a la precipitación pluvial, es decir, el agua en estado líquido que cae a la superficie terrestre.

El clima en Ensenada tiene precipitación baja o inferior a la media nacional al presentar una precipitación promedio anual de 246.7 mm. De acuerdo con la

intensidad en que se presentan las precipitaciones, se pueden apreciar dos periodos de lluvia a lo largo del año (Figura 14).

1. Precipitación baja (escasa): Este periodo comprende del mes de marzo al mes de noviembre ya que se presentan precipitaciones inferiores a los 40.00 mm, que van desde los 0.6 mm para el mes de julio a los 28.2 mm para el mes de marzo.
2. Precipitación media (moderada): comprende los meses de enero, febrero y diciembre con precipitaciones entre los 40.00 mm y los 150.00 mm, que van desde los 44.6 mm para el mes de diciembre, 45.00 mm para el mes de enero hasta los 59.2 mm para el mes de febrero.

Figura 14. Comportamiento mensual de la precipitación durante el año en Ensenada



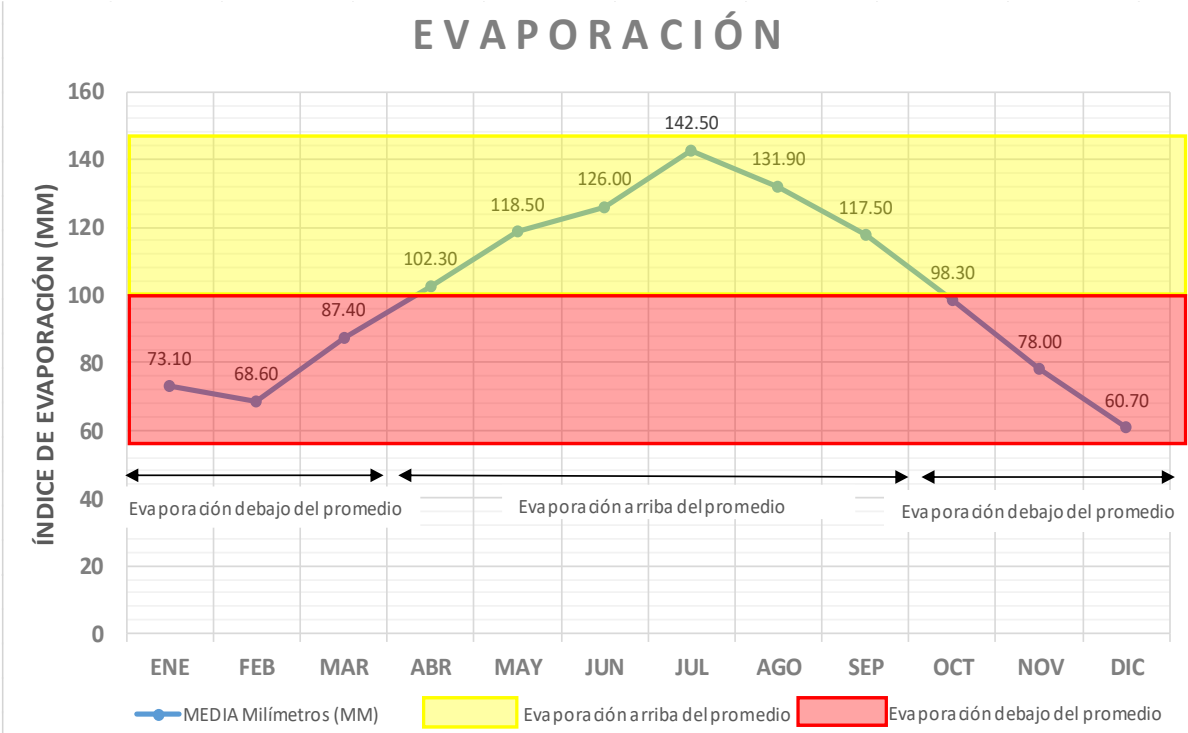
Nota. Elaboración a partir de los datos normalizados de EMA. Elaboración a partir de datos normalizados a través de Bioclimatic Analysis Tool (BAT, J. Rincón)

### 2.2.5. Evaporación

Este proceso físico es necesario para que se lleve a cabo la suspensión de partículas de agua en el aire, y por consiguiente los procesos de nieblas, lluvias y

precipitaciones. De acuerdo a las normales climatológicas del sistema meteorológico nacional (SMN), en el período de 2001 a 2010, Ensenada presenta un índice de evaporación anual de 1,204.8 como se indica en la Figura 15.

Figura 15. Índice de evaporación en la Ciudad de Ensenada



Nota. Graficación a partir de normales climatológicas 2001-2010 (Evaporación) SMN

Debido a la presencia constante de humedad relativa por arriba del 70%, la cercanía al mar y las condiciones de temperatura baja, en la ciudad de Ensenada se presentan condiciones de neblina en un porcentaje considerable de días al año.

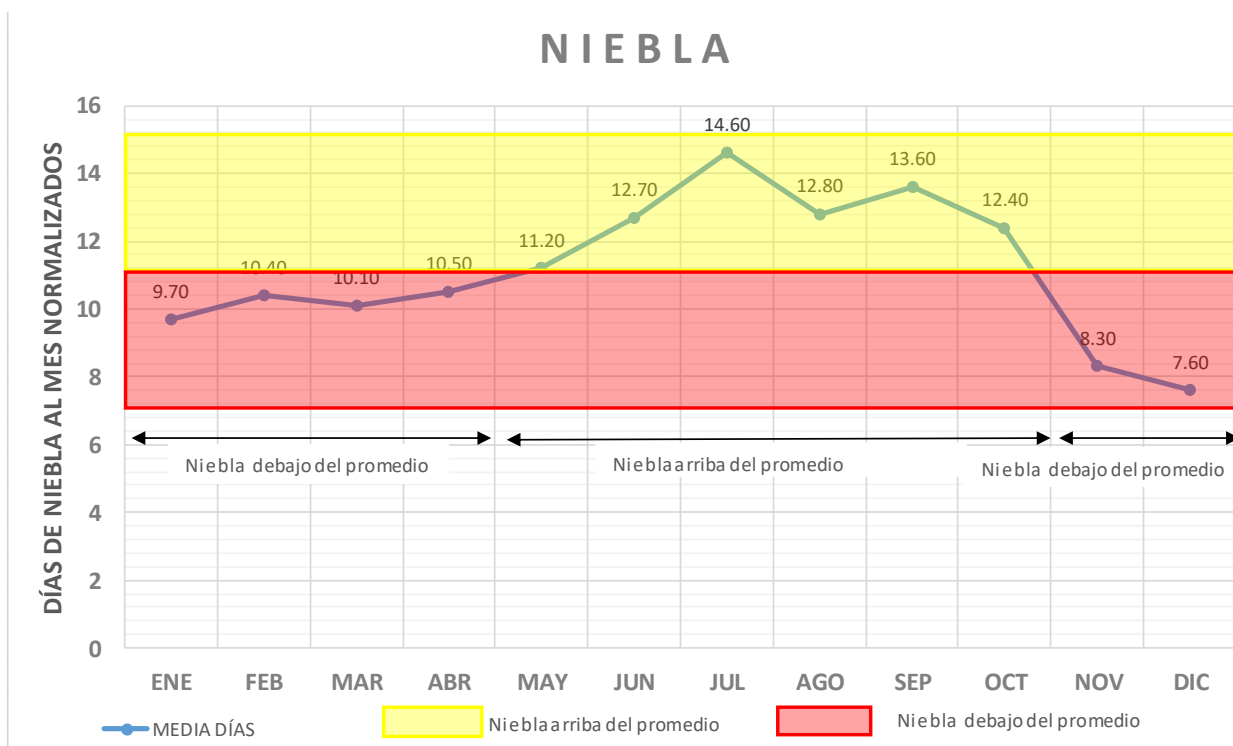
**2.2.6. Niebla**

La niebla, como se mencionó en el marco teórico, está constituida de una gran cantidad de nano gotas de agua suspendidas en el medio ambiente, las cuales no alcanzan a condensarse en gotas lo suficientemente grandes y pesadas para constituir

una gota de lluvia y caer por precipitación a la superficie de la tierra (Ecoamérica, 2007).

De acuerdo a las normales climatológicas del sistema meteorológico nacional (SMN), en el período de 2001 a 2010, Ensenada presenta hasta 134 días con niebla al año, como se ilustra en la siguiente Figura 16.

Figura 16. *Días de niebla al mes en la Ciudad de Ensenada*



Nota. Gráfica a partir de normales climatológicas Ensenada 2001-2010 (SMN)

Debido a la presencia constante de humedad relativa por arriba del 70%, la cercanía al mar y las condiciones de temperatura baja, en la ciudad de Ensenada se presentan condiciones de neblina en un porcentaje considerable de días al año.

Como se observa en la gráfica la neblina está presente en todas las estaciones del año; pero ocurre con mayor frecuencia en primavera y verano, coincidiendo con el ciclo de mayor humedad relativa. Este fenómeno es observable en casi toda la mancha

urbana, aunque no es raro ver zonas cubiertas de neblina y otras totalmente despejadas el mismo día y a la misma hora.

En este fenómeno a nivel local también influye la brisa (vientos de mar a tierra durante el día y al contrario en la noche), durante el verano es persistente y fuerte de hasta 9.7 nudos, mientras que en invierno disminuye.

En la ciudad, usualmente el fenómeno de la neblina se presenta frecuentemente a la orilla del mar, influida por el cuerpo de agua más grande que tiene la ciudad, la bahía y el fenómeno de cambio de temperaturas. También puede presentarse en las zonas elevadas de la ciudad como los cerros y los encañonamientos. Esto coincide con lo identificado en el marco teórico respecto a las características geográficas favorables para la presencia y cosecha de niebla.

A nivel geográfico, fuera de la ciudad por ejemplo en los Valles vitivinícolas de la región de Guadalupe o Santo Tomás, la niebla puede presentarse por la radiación solar, causando evaporación de la humedad a nivel del suelo, y con el cambio de temperaturas del día se produciría una niebla a nivel del suelo, comúnmente llamada rocío o sereno en las primeras horas de la mañana.

### **CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE (PROYECTOS ANÁLOGOS DE INVESTIGACIÓN)**

### 3. Marco de Referencia (Estudios previos y antecedentes)

Existen antecedentes de captación de humedad ambiental por medio de dispositivos captadores en las actuales naciones de Irak, Irán, Israel y Jordania desde el S. IV, en donde los viajeros utilizaban materiales a su alcance para poder captar el agua de la humedad ambiental para su supervivencia en estas áreas desérticas (Echeverría et al., 2020).

El fenómeno físico de la condensación es conocido por la humanidad desde antes de Cristo, y es con base a este fenómeno, estudiado de manera empírica, como los pobladores de zonas desérticas del mundo lograron subsistir con pocas o ninguna fuente de agua superficial como ríos o lagos.

La revolución industrial y la explosión demográfica a partir de los siglos XVIII y XIX, llevó a que los recursos hídricos de zonas proclives a la sequía fueran sometidos a un estrés aún mayor, y que la gente busque fuentes alternativas de agua, como el aprovechamiento del agua ambiental.

La captación de humedad ambiental es un proceso físico en donde el vapor de agua, entendiéndose la niebla o el rocío atraviesa un dispositivo físico (Regalado & Ritter, 2019), casi siempre una red de captación, en donde este vapor de agua se condensa y se conduce hacia un depósito con el fin de su aprovechamiento posterior.

A partir del estudio de la captación de niebla se han utilizado diferentes tipos de dispositivos, siempre con el fin de poder eficientizar la recolección de agua. La búsqueda de la eficiencia de los dispositivos atrapaniebla se ha realizado mediante la utilización de diferentes morfologías y de acuerdo a diferentes parámetros.

Entre dichos parámetros de medición la eficiencia de captación, que, de acuerdo con Cereceda, se define como “el flujo de agua del neblinómetro o atrapanieblas dividido por el flujo de agua líquida en niebla dirigida al colector” (Cereceda, 2011).

La tasa de acumulación de agua, generalmente medida en litros por metro cuadrado por día o  $L/m^2/día$  depende de las condiciones ambientales, del diseño y orientación con relación al viento. Por lo tanto, se define en la siguiente ecuación:

$$N_{capt} = C_{capt} / C_{disp}$$

(5)

Donde:

$N_{capt}$  = Eficiencia de captación de niebla

$C_{capt}$  = Flujo de agua capturada

$C_{disp}$  = Flujo disponible de niebla

Al tomar mediciones en dos orientaciones de un atrapanieblas, Schemenauer & Joe (1989) identificaron un ascenso aproximado del 20% en la eficiencia de captación. Rivera (2011), por otra parte, a partir de un análisis aerodinámico concluyó se puede obtener una eficiencia máxima alrededor del 30%.

*“Finalmente, por la tasa de acumulación promedio anual típica de 5 a 8 litros por metro cuadrado por día y una eficiencia del 20%, el flujo de agua disponible debería estar en el rango de 25 a 40 litros por metro cuadrado por día”* (Schemenauer, 1989 pp.15).

A esto hay que añadir los diferentes parámetros que pueden potenciar esta eficiencia, que de acuerdo a la literatura pueden ser la eficiencia del tipo de material que compone la malla atrapanieblas, la eficiencia de deposición del dispositivo, refiriéndose específicamente al mecanismo de flujo de las gotas de agua en los filamentos que componen la red atrapanieblas (Cereceda, 2011).

Otro aspecto que influye en la eficiencia del dispositivo se refiere a la eficiencia del drenado, refiriéndose ésta al proceso *“entre el agua que llega al estanque de almacenamiento y la que se ha depositado en la malla. Las pérdidas se producen por arrastre de gotas por el viento, agua que se desprende de la malla y cae fuera de la canaleta”* (Cereceda et al, 2014).

Para que este proceso se efectúe se requiere de la presencia de humedad en el ambiente y del viento que transporte el vapor de agua hacia la red. Entonces, a variable

dirección del viento es importante, la cual en caso de incidir perpendicularmente a la red atrapaniebla aumenta su índice de captación (Cereceda et al, 2014).

Por lo cual, la forma cilíndrica asegura de alguna manera que al menos una fracción de la superficie expuesta al viento siempre estará dispuesta de manera perpendicular a él (Jarimi et al., 2020). En el caso de los atrapanieblas rectangulares depende de la dirección dominante del viento su eficiencia, entonces se debe de buscar la orientación más favorecedora de acuerdo con el registro histórico de incidencia de los vientos dominantes.

Figura 17. *Tipos de atrapanieblas utilizados en la investigación.*



Nota. 1) Atrapanieblas cilíndrico. 2) Atrapanieblas cilíndrico, 3) Atrapaniebla rectangular. Fuente: Regalado & Ritter, 2019

El problema de la falta de agua en el mundo, la diferencia entre la demanda de agua y las fuentes para abastecer esa demanda (estrés hídrico) así como la búsqueda de alternativas para solucionar esta problemática no son nuevos en el campo de la investigación, y de estos temas existen antecedentes a nivel nacional y mundial. En este apartado se presentan algunos de los antecedentes pertinentes para el desarrollo de esta investigación.

### 3.1. On the estimation of potential fog water collection from meteorological variables. Regalado, C. M., & Ritter, A. (2019)

**Objetivo:** Proveer un método para estimar el potencial de la colecta de agua de niebla a partir de las medidas de visibilidad y velocidad de viento.

**Tipo de investigación:** Diseño Experimental Cuantitativo. Experimento “puro” con medición de variables dependientes y control y validación de variables independientes.

**Metodología:** Se utilizaron atrapanieblas con diferentes tipos de material, alambre y malla con geometría cilíndrica y uni-omnidireccional y pantallas planas (ver figura 18), ubicadas en dos ubicaciones con presencia de niebla en Tenerife, España (Islas Canarias).

Figura 18. Tipos de atrapanieblas utilizados en el experimento de Regalado & Ritter (2019)

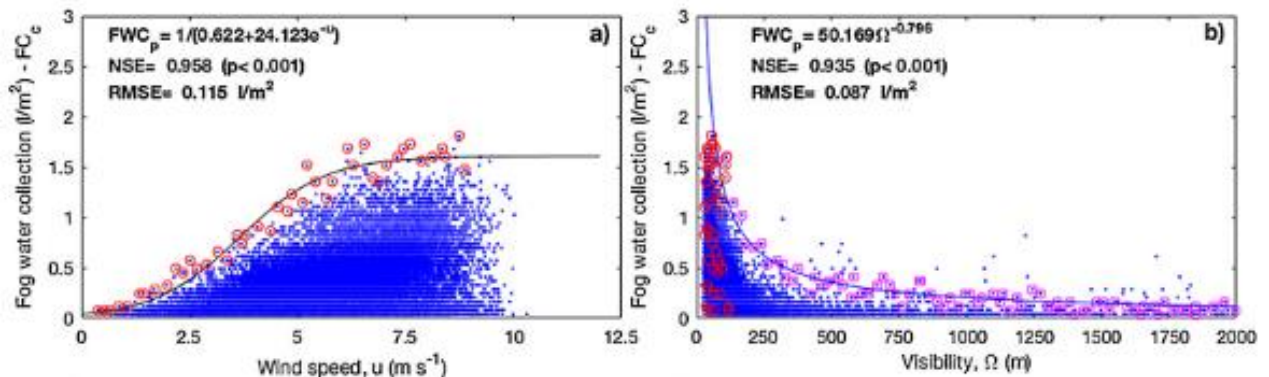


Nota. Tipo Cilíndrico con malla alambre(a), Tipo Juvik (b) y rectangular con malla de alambre (c)

1. Escoger el sitio de estudio con base en las características más favorables al fenómeno de estudio (presencia de niebla). Tenerife, Islas Canarias, España.
2. Investigación de las variables climatológicas del sitio de estudio
3. Escoger tres dispositivos de malla atrapaniebla, dos dispositivos cilíndricos y uno en forma rectangular, con tres capas de malla de nylon de pesca
4. Conectar los dispositivos a un sistema de recolección de agua de lluvia Rain-O-Matic
5. No se debe tomar en cuenta la recolección de agua durante días de lluvia, por lo que se eliminaron los datos de esos días.
6. Monitorear variables climatológicas a cada minuto y almacenarlas a cada 15 min. En un *datalogger* Combilog.

7. Para los procedimientos de uso de datos se utilizó Matlab, utilizando métodos de promedio de datos y ajuste de errores. En la siguiente gráfica se puede observar la correlación entre las variables de velocidad de viento-visibilidad y la recolección de niebla (Figura 19). Es decir, a mayor velocidad de viento, mayor cantidad de agua recolectada. Y a menor visibilidad, mayor cantidad de agua recolectada.

Figura 19. Relación entre recolección de niebla y variables de velocidad de viento y visibilidad



*Nota.* Estos datos fueron recolectados en un sitio de los dos escogidos en la Investigación, el llamado Taborno (Regalado, Ritter, 2019).

Se observa en la gráfica a) en el eje x la velocidad del viento registrada en metros por segundo. En el eje y se observa la cantidad de agua recolectada por m<sup>2</sup> de red. Como se ve claramente, en la calma completa (0 m/s), no se observa agua colectada.

La cantidad de agua aumenta conforme la velocidad del viento, presentando hasta 1.5 l/m<sup>2</sup> conforme se acerca a las velocidades máximas monitoreadas.

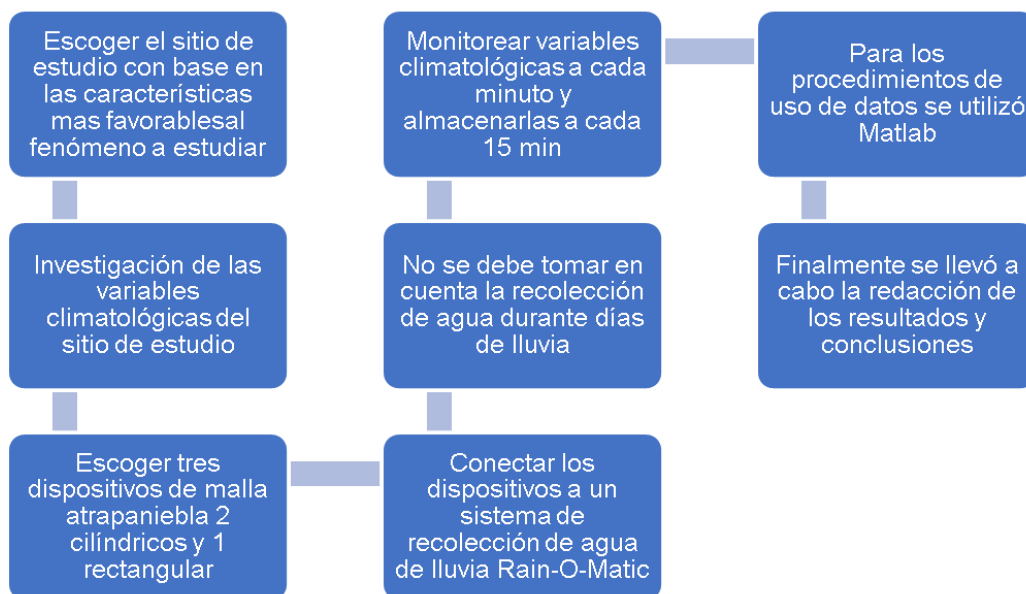
En la gráfica b) la correlación es entre la visibilidad en el eje X y la cantidad de agua recolectada nuevamente se muestra en el eje Y. Se observa que la menor velocidad registrada se correlaciona directamente con la mayor cantidad de agua, cerca de 2 l/m<sup>2</sup> con una visibilidad entre 30 y 50 m. conforme la visibilidad aumenta, la cantidad de agua colectada es menor.

8. Finalmente se llevó a cabo la redacción de los resultados y conclusiones mostrando la relación de las variables climáticas con la cantidad de agua colectada.

**Resultados del modelo Regalado-Ritter:** Se llegó a un modelo de cuantificación del potencial del agua a recolectar mediante el estudio de las variables de velocidad de viento y visibilidad, así como de las principales variables climatológicas; sin embargo, se observa que, debido a la variabilidad de los factores del viento, algunos materiales presentan inconsistencias como para poder llegar a una generalización o estandarización de resultados.

En el siguiente gráfico (Figura 20), se muestra una esquematización de la metodología utilizada por los investigadores para su experimentación en campo.

Figura 20. Metodología Regalado -Ritter (2019)



Nota. Esquematización propia a partir del trabajo de estudio en Islas Canarias por Regalado y Ritter

### 3.2. Fog collection and its relationship with local meteorological variables in a semiarid zone in Chile. Montecinos, S., Cereceda, P., & Rivera, D. (2018)

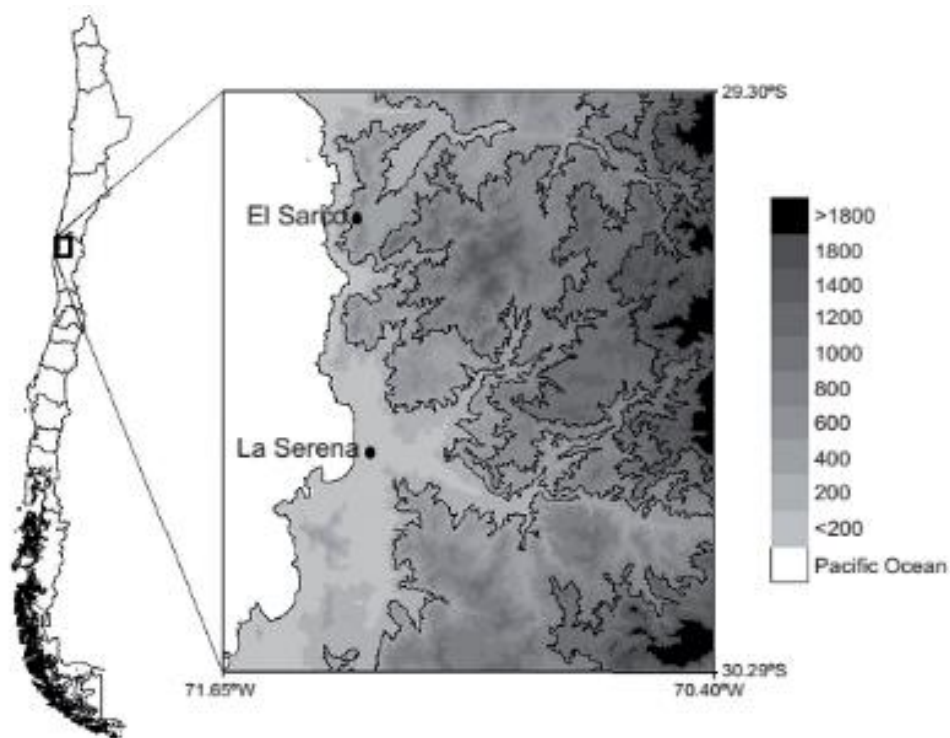
**Objetivo:** Caracterizar el agua recolectada por un colector estándar y su relación con las condiciones meteorológicas locales.

**Tipo de investigación o estudio:** Experimental “puro” Medición de variables (dependientes), Control y validación de variables independientes.

#### **Metodología:**

1. Escoger sitio de estudio (El Sarco (29. 51° S, 71. 27° W, 700 msnm), 7 km de la costa de Chile, de acuerdo a los objetivos de estudio.

Figura 21. *Sitio del estudio y su locación en Chile*



*Nota.* Las tonalidades en gris indican la altitud en metros de acuerdo a la escala al lado derecho. Las curvas de nivel son dibujadas a cada 400 metros.

2. Categorizar características físicas del sitio de estudio (Altitud de 0 a 1000 msnm)
3. Caracterización climatológica del sitio de estudio y fenómenos incidentes (corriente de Humboldt, vientos dominantes, humedad relativa promedio, etc.)

4. Ubicar estación experimental
5. Dispositivos o herramientas de medición: 2 monitores de viento, 2 de temperatura y HR. Un pluviómetro y un depósito para medir la cantidad de agua.
6. Los datos recolectados cada 3 segundos y almacenados cada 10 minutos
7. La duración de la observación de la investigación fue de un año, del 1 de julio de 2014 al 30 de junio de 2015.

Figura 22. *Arreglo experimental en el sitio de estudio*



*Nota.* Estación meteorológica (a), Colector estándar de neblina o neblinómetro (b)

8. Finalmente se llevó a cabo la redacción de los resultados y conclusiones mostrando la relación de las variables climáticas con la cantidad de agua colectada.

**Resultados del modelo Montecinos-Cereceda-Rivera:** Principalmente se observaron horarios y días en donde se alcanzó la máxima recolección de niebla, diariamente fue aproximadamente en la mañana temprana y en la tarde. En el invierno austral la recolección de agua fue menor que en las otras estaciones.

Por otra parte, se observó que el 53.7% de los días del año fueron nublados, y la recolección máxima tuvo lugar durante los meses de junio y enero.

En cuanto a las variables climáticas, hubo una correlación positiva entre la velocidad y dirección del viento con la cantidad de agua recolectada.

**3.3. Fog harvesting potential for domestic rural use and irrigation in San Cristobal Island, Galapagos, Ecuador. Echeverria, P., Domínguez, C., Villacís, M., & Violette, S. (2020).**

**Objetivo:** En este estudio se trabajó con la recolección de niebla para uso rural, doméstico y de riego utilizando colectores de niebla estándar con malla de 50% y 35% de sombra, con una superficie de 1 m<sup>2</sup>, así como una red de niebla cilíndrica de 0.15 m<sup>2</sup> a 600 msnm en la Isla San Cristóbal (Galápagos).

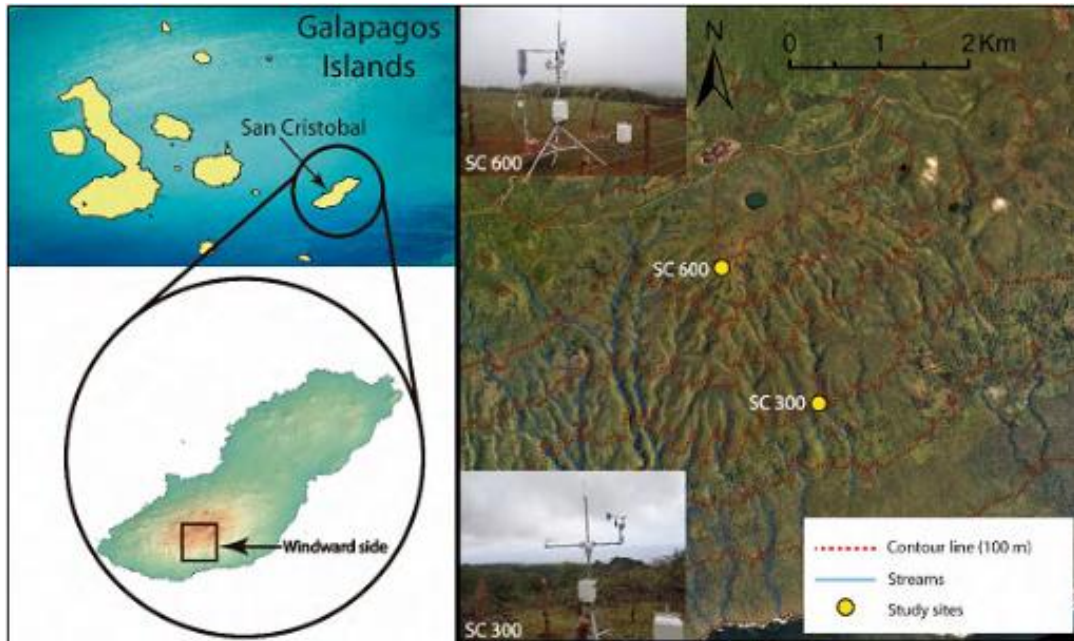
**Tipo de investigación de estudio:** Experimental “puro” Medición de variables (dependientes), Control y validación de variables independientes.

**Metodología:** La metodología aplicada consistió en cuantificar la captación de agua de la niebla en rangos mensuales y anuales a diferentes altitudes en un año promedio, se utilizaron indicadores de precipitación, evaporación e intercepción de niebla.

Este último indicador fue estimado a partir de un modelo geométrico y variables climáticas y se utilizó para estimar la cantidad de agua de niebla disponible para satisfacer el déficit hídrico.

Las variables climáticas se monitorearon mediante una estación meteorológica a 600 msnm.

Figura 23. Estaciones climáticas en el lado barlovento de las Islas San Cristóbal a 600 msnm y 300 msnm



Nota. Imagen tomada de IGM, 2014.

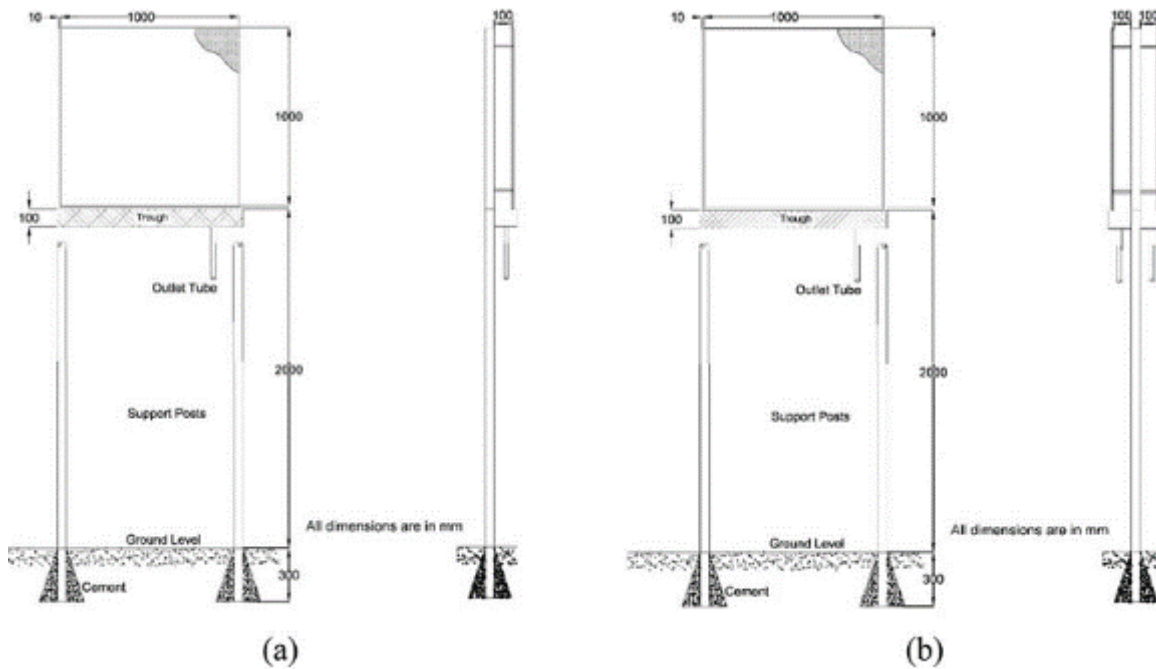
Los datos se registraron con un *datalogger* Campbell CR1000 en intervalos de tiempo de 15 minutos. La radiación solar, la humedad relativa y la temperatura del aire se midieron a 2 m sobre el suelo, con un piranómetro de silicona Kipp y Zonen SPLite y un Campbell CS215 T & RH sensor, respectivamente.

La velocidad y la dirección del viento se midieron a 2 m sobre el suelo con un Kitanemómetro Young Wind Sentry. La lluvia se registró con un pluviómetro de cangilón basculante Texas TE525MM a 1,5 m sobre el suelo.

Finalmente, se midió la intercepción de niebla con una red de niebla cilíndrica (CFN) de 12 cm de diámetro y 40 cm de altura, cubierta por una malla plástica de 1 mm. El CFN se conectó a un pluviómetro mediante un embudo de plástico a 2 m del suelo.

Además, se utilizaron dos colectores de niebla estándar (1x1 m) hechos de malla de polietileno con coeficiente de sombra del 50% (50-SFC) y 35% (35-SFC).

Figura 24. Esquematación de los colectores estándar de niebla (SFN)



*Nota.* Se muestra un atrapaniebla de una sola malla (a) y de doble malla(b), Fuente: Schemenauer & Cereceda, 1994)

La malla se apoya con una estructura de PVC ubicada a 2 m sobre la superficie del suelo. Para obtener mediciones continuas de la interceptación de niebla por los medidores, el CFN y el 50-SFC se conectaron a un pluviómetro de cubeta basculante Précis Mécanique R307A0 individual y el 35-SFC se conectó a un pluviómetro de cubeta basculante Campbell ARG100. Un monitoreo similar se realizó en la estación meteorológica a 300 msnm. Sin embargo, no se registró niebla porque la base de la nube estaba generalmente por encima de este nivel y, por lo tanto, se espera que la niebla sea insignificante a esta altitud.

**Resultados del modelo Echeverría-Domínguez-Villacis-Violette:** Se estudió el potencial de recolección de niebla con 3 diferentes tipos de entramado para recolección de niebla. De los cuales, la malla con 50% de coeficiente de sombreado fue la más eficiente en cuanto a recolección de niebla se refiere, recolectando en promedio 7.9 litros por metro cuadrado al día.

Aunque la niebla esta presenta sólo siete meses a lo largo del año, basándose en los resultados, el uso de estos dispositivos puede contribuir al suministro de agua

necesaria para llevar a cabo las actividades en las Islas Galápagos. Es decir, con un colector de niebla, cada granja podría tener acceso a una fuente alternativa de agua, en especial quienes no tienen acceso a redes de distribución.

Adicionalmente, los investigadores consideran que es posible que esta alternativa de agua puede usarse en otras áreas deshabitadas como las islas de Santa Cruz y Floreana, donde la escasez de agua es aún más extrema, debido a la ausencia de fuentes de agua superficiales de forma permanente.

## **CAPÍTULO 4. ESTRATEGIA METODOLÓGICA**

## **4. Metodología**

### **4.1. Objeto de estudio.**

El objeto de estudio es el fenómeno de condensación de la humedad ambiental, específicamente con las condiciones ambientales de la ciudad de Ensenada, el cual se evaluó mediante un dispositivo atrapaniebla como la herramienta que permitió dar respuestas a las preguntas de investigación y corroboración de la hipótesis.

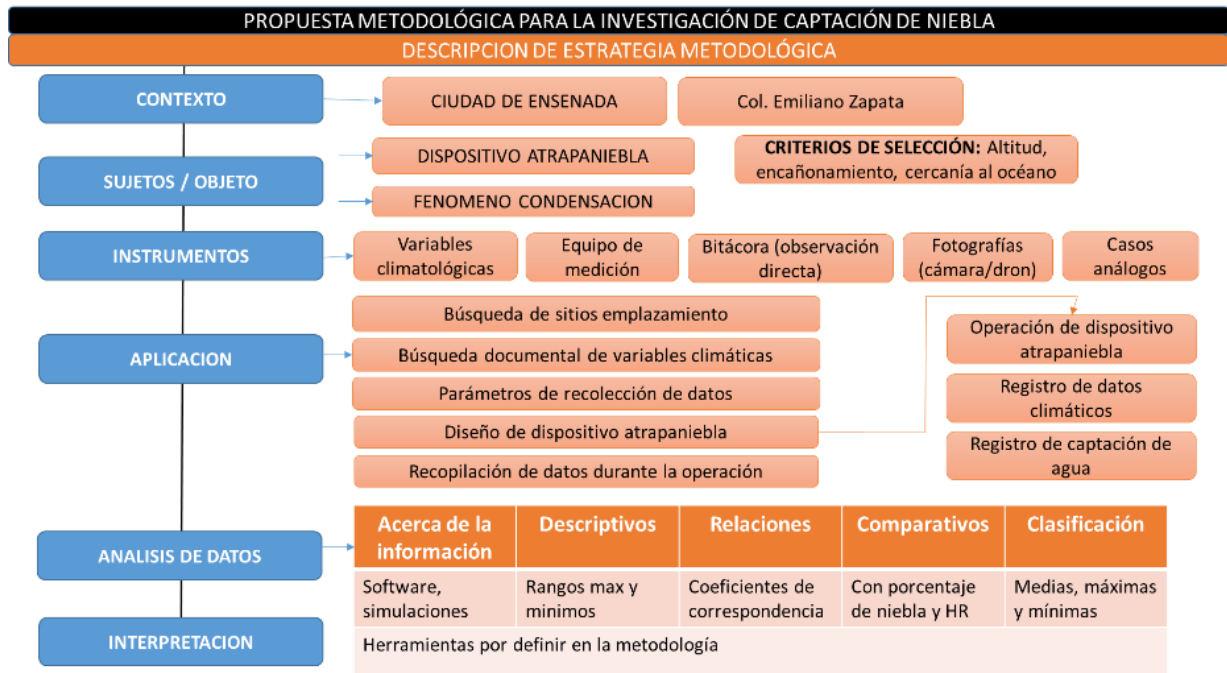
### **4.2. Diseño Experimental**

El enfoque de esta investigación es experimental, por lo que se planteó el desarrollo de un prototipo de red atrapaniebla, a partir de un sitio escogido por sus características de ubicación, altitud sobre el nivel de mar, cercanía a la bahía e incidencia de viento. Este prototipo fue la principal herramienta que permitió dar respuesta a las preguntas planteadas en la investigación.

Los parámetros o variables independientes fueron en este caso, las variables climáticas las cuales no estuvieron al alcance de manipulación alguna por parte del investigador, y las variables dependientes fueron la ubicación del experimento, así como los materiales utilizados en el contexto de esta misma investigación.

En la siguiente Figura (25), se observa la esquematización de la propuesta metodológica, bajo el contexto, los sujetos de estudio y los instrumentos de medición utilizados. Se incluye también la aplicación de la estrategia metodológica, los análisis de datos y la interpretación.

Figura 25. Diagrama de propuesta metodológica - Elaboración propia



Nota. Diagrama a partir de conceptualización propia.

#### 4.2.1. Operacionalización de variables

Se propuso una operacionalización de variables de acuerdo con el análisis de la pregunta y objetivos de investigación, traduciendo en indicadores o variables que fueron medidas utilizando diferentes técnicas de recolección de datos que se observan en la Figura 26:

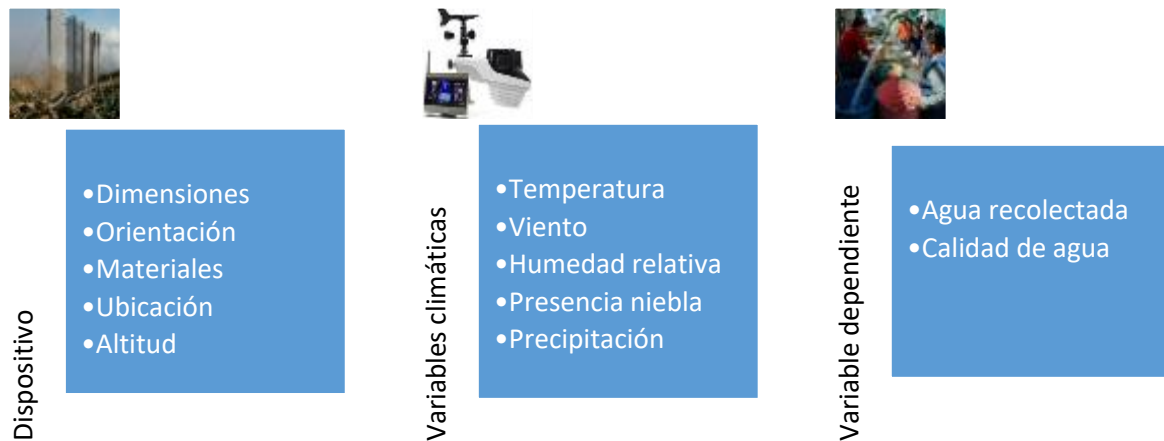
Figura 26. Operacionalización de variables propuesta



Nota. Operacionalización a partir de conceptualización propia.

Las variables independientes fueron las características del dispositivo atrapanieblas, y las variables climatológicas del sitio de estudio. Las variables dependientes fueron la cantidad de agua recolectada, y la ubicación del dispositivo.

Figura 27. Variables dependientes e independientes



Nota. La representación gráfica de los instrumentos puede no ser exactamente a la utilizada en el curso de la investigación

### **4.3. Instrumentos.**

Los instrumentos principales fueron los registros de las variables climatológicas de la ciudad de Ensenada, Baja California, por medio de equipos de medición para el registro cotidiano de los fenómenos meteorológicos que incidieron en el funcionamiento del dispositivo atrapaniebla. Como se muestra en la Tabla 1 anterior, se requirió principalmente de una estación meteorológica con Anemómetro, anemógrafo, termómetro, psicrómetro, barómetro e higrómetro. Aparte de un pluviómetro para medir la cantidad de agua recolectada.

También se enumeran otros instrumentos y herramientas de auxilio:

- Bitácora de observación directa
- Anotaciones diarias de datos secundarios
- Fotografías por medio de dispositivos como cámaras o drones
- Metodologías de casos análogos

#### **4.3.1. Recolección de Información**

Para obtener información se suelen emplear métodos que se clasifican en cualitativos o cuantitativos, lo cual se puede entender como la recolección de información de forma cerrada y definida (cuantitativos), y más abierta hacia distintas interpretaciones desde diversos enfoques (cualitativos)

En el caso de esta investigación, los datos con los que se trabajaron fueron cuantitativos únicamente. No se realizaron entrevistas, cuestionarios ni otras herramientas para obtener datos cuantitativos. La mayoría de los datos fueron obtenidos de manera documental u obtención propia.

#### **4.3.2. Fuentes documentales y estadísticas**

En este caso, al realizarse la recolección de información a través de internet, bibliotecas, etc. Y sobre todo en el escenario de pandemia por el COVID-19 durante 2020 y 2021 las fuentes documentales representaron una fuente vital de información.

Esta fuente consistió en obtener información de fuentes secundarias que consisten en datos recolectados previamente, y que en esta investigación fueron analizados estadísticamente. En este caso se utilizaron datos proporcionados por el Sistema Meteorológico Nacional (SMN), en cuanto a variables climatológicas históricas del sitio de estudio.

Asimismo, la lectura y el análisis de los casos análogos alrededor del mundo, en este caso el estado del arte e investigaciones referidas fueron también una herramienta útil para conducir el desarrollo de la investigación de acuerdo a los objetivos planteados en el estudio.

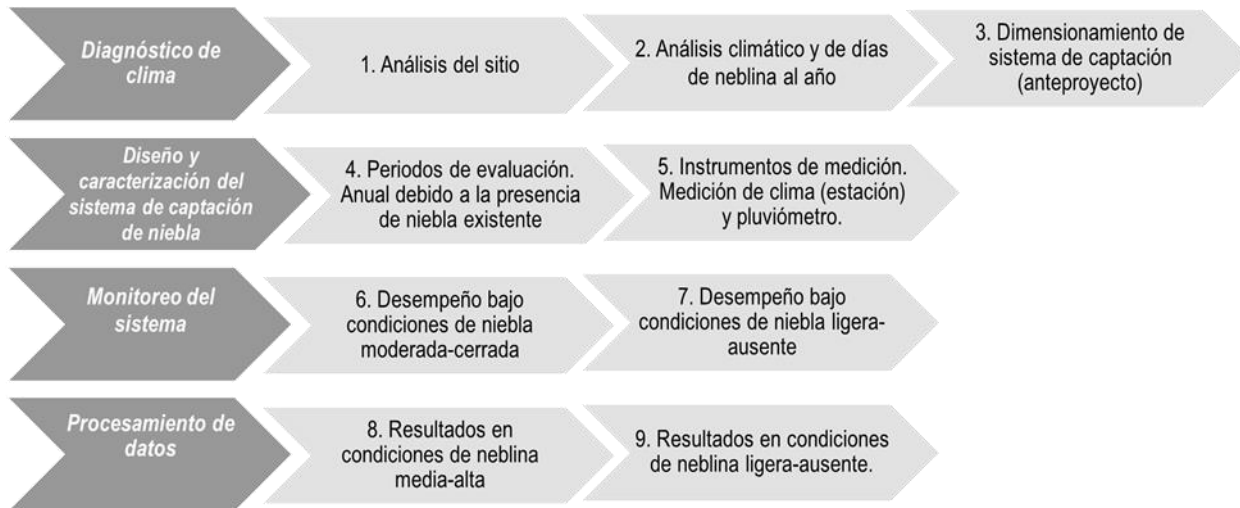
#### **4.3.3. Medición y observación sistemática (Metodología experimental).**

La metodología experimental comenzó con un diagnóstico del clima propio del lugar de experimentación en campo, en 3 pasos principales, de acuerdo al orden de ejecución se muestra de esta manera:

1. Análisis del sitio
2. Análisis climático
3. Dimensión del sistema.

En la Figura 28 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 28. Metodología gráfica del experimento



Nota: Esquemización de metodología del experimento.

El sitio de estudio para el desarrollo de esta investigación fue 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.

#### 4.3.4. Contexto.

Con el objeto de tener un antecedente teórico de atrapanieblas en la región se tomó como referencia el trabajo “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” de Daniel Medina Domínguez (2012), en donde a partir de un estudio teórico propone las características deseables para el emplazamiento de atrapanieblas para eficientizar su operación.

Según Medina (2012), antes de hacer un estudio de prospección de nieblas se deben considerar los siguientes aspectos:

- *La existencia de un cordón montañoso en las inmediaciones*
- *Las elevaciones del terreno natural deben estar próximas a las costas y perpendiculares a la dirección del viento*
- *Hacia el continente debe haber un valle con fuerte radiación solar diurna.*

Estas características físicas y de orografía deseadas para la prospección de nieblas favorecen a lo que puede definirse como niebla de advección, la cual es común en los cordones costeros.

*“Se forma a partir de una nube estratocúmulo que se genera en el mar a cientos de kilómetros de la costa con una presencia constante, pero variable en altitud, aproximadamente entre los 500 y 1.200 metros sobre el nivel del mar” (Givoni, 1976).*

Figura 29. Esquema de fenómeno de niebla en el sitio de estudio



Nota. Representación gráfica propia a partir de esquematización del fenómeno de niebla

La nube representada en el gráfico es movida por el viento desde el mar hacia la costa y las elevaciones orográficas. Allí esta nube se encuentra con las laderas y cimas de la topografía de la cordillera, transformándose en niebla, por lo que se puede definir como una “nube a ras de suelo”.

Cabe destacar que, en el sitio de estudio a nivel local, si bien la orografía favorece la conducción de la niebla a través de las depresiones geográficas y elevaciones presentes, en sí no producían la niebla, sino que favorecían su conducción a través de estos “canales de niebla”.

Particularmente en la colonia Pedregal Playitas existe una depresión entre elevaciones geográficas, conducto por el cual la niebla fue conducida por el viento y aparecía por detrás de la colonia, en las elevaciones del fondo, pero en realidad la niebla no se formaba físicamente en el sitio.

Medina (2012), afirma también en su trabajo que los parámetros más importantes en un estudio de prospección de nieblas son:

- La velocidad y dirección del viento
- La presencia de niebla (humedad suspendida en el ambiente con una saturación que permite la visibilidad menor a 1km), neblina (permite la visibilidad de 1 a 10km) y bruma (más de 80% HR y suspensión de partículas de polvo del suelo). Dependiendo del tipo de humedad ambiental presente, será posible la mayor colecta de agua.
- Temperatura, humedad relativa y precipitación.

Figura 30. *Presencia de niebla en sitio de estudio (inmediaciones de colonia Pedregal Playitas)*

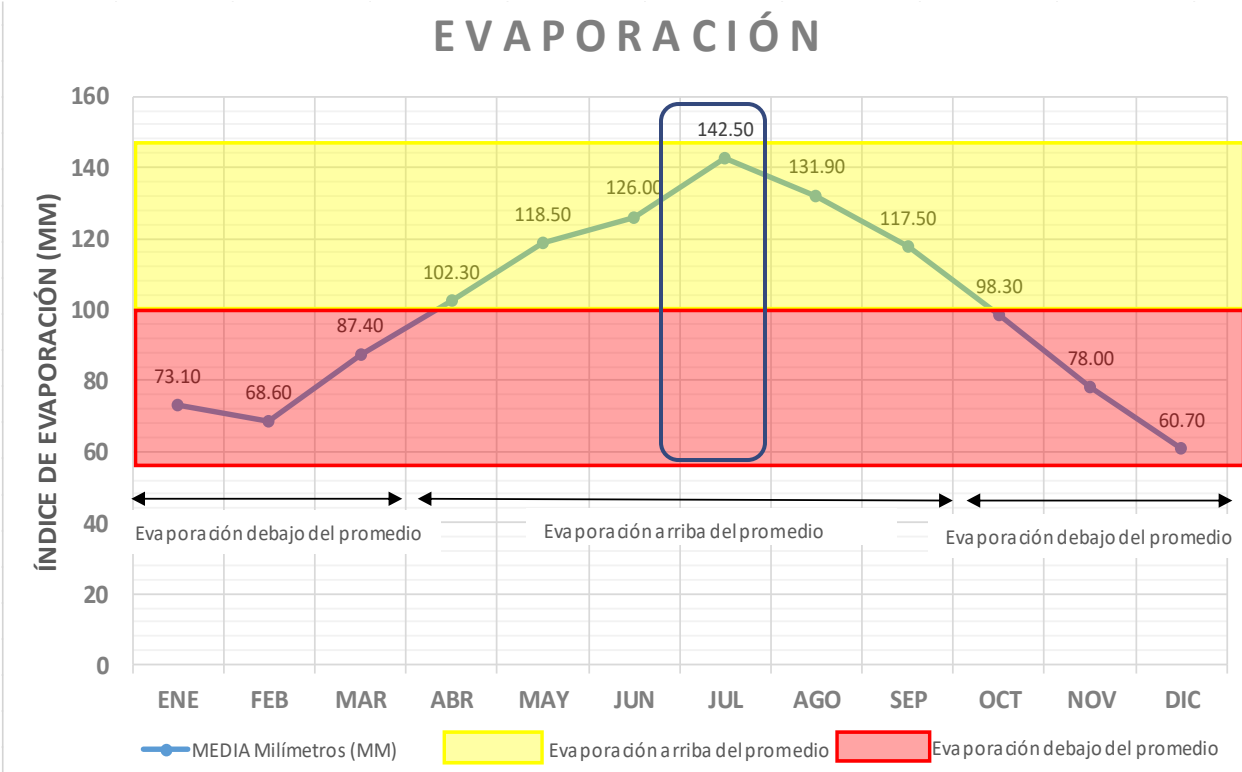


*Nota.* Fotografía propia, 5 de septiembre 2021

Con el fin de aplicar la estrategia metodológica sobre una base de datos histórica de acuerdo a 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. Esto debido a que los datos del SMN se consideran, en su mayor parte fiables debido a su estandarización y fiabilidad para la comunidad científica nacional.

Debido a la cercanía del océano Pacífico se observa mayor cantidad de evaporación representada en la Figura 31, 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.

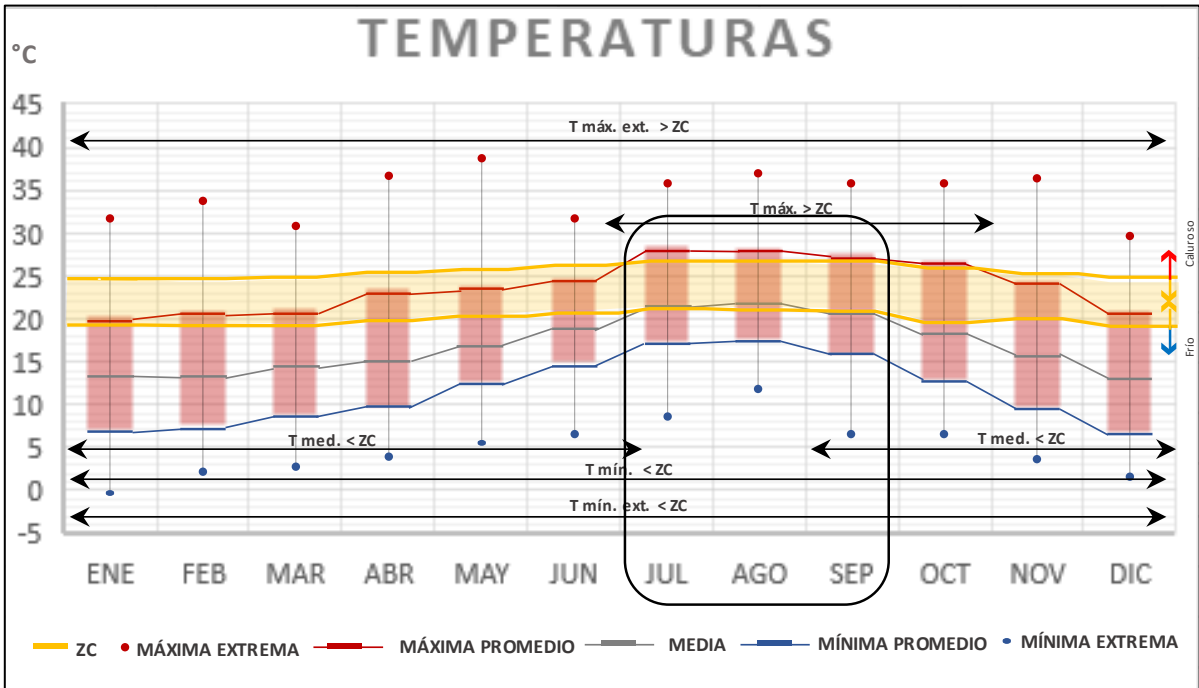
Figura 31. Índice de evaporación anual.



Nota: Datos normalizados EMA La Presa, Ensenada BC

Esta evaporación muestra un aumento por la temporada de altas temperaturas como se puede observar en la Figura 32, los meses más cálidos con las temperaturas más altas en la ciudad se dan en el mes de 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.

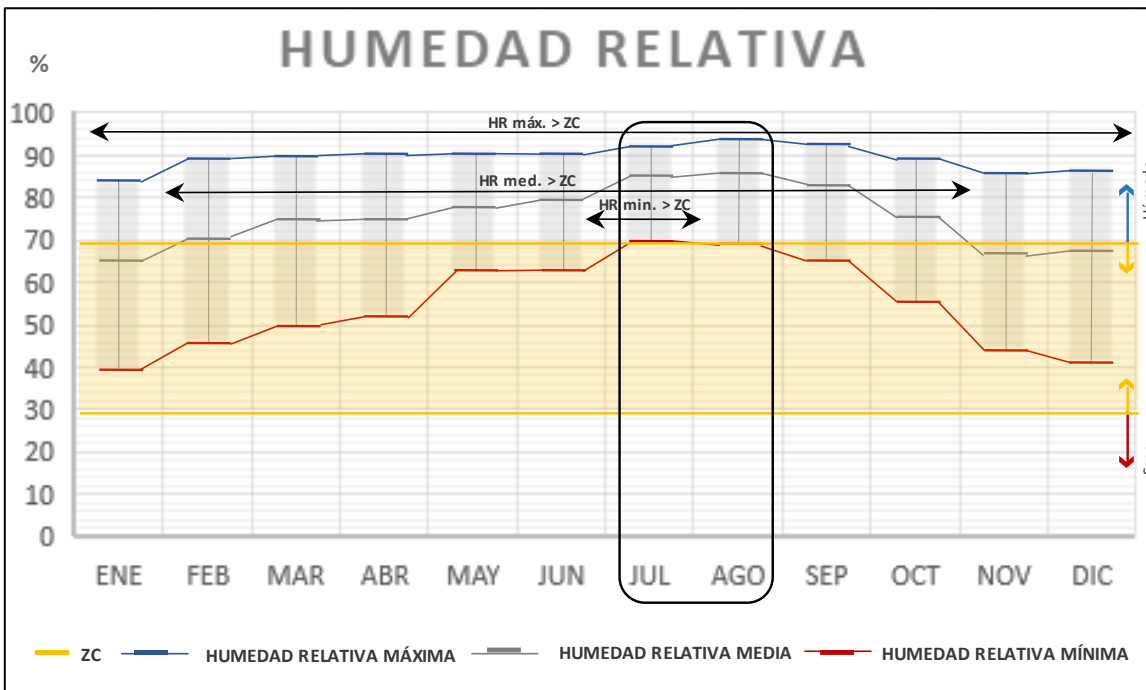
Figura 32. Temperatura bulbo seco anual.



Nota: Datos normalizados EMA La Presa, Ensenada BC

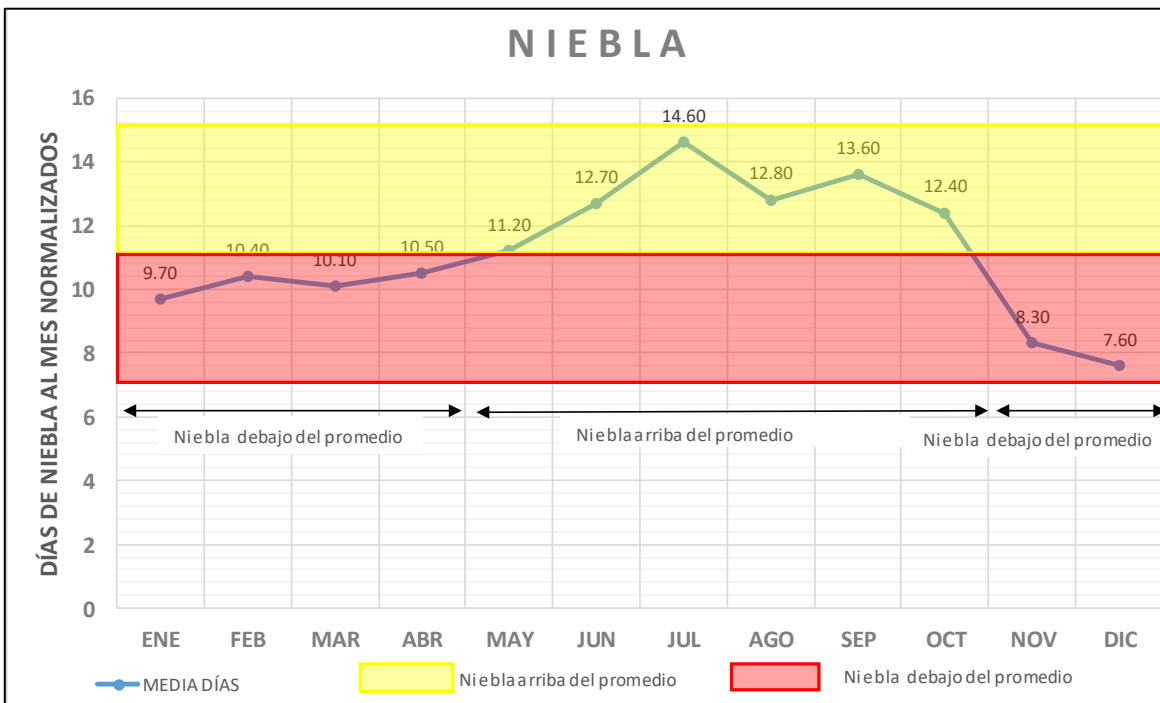
A causa del fenómeno de evaporación el aire ambiente aumenta su humedad relativa, acercándose a la saturación como se observa en la figura 33, con índices máximos en julio y agosto, lo que representa la potencial formación de niebla en la costa de Ensenada, como se aprecia en la Figura 34, observándose los días de presencia de niebla, con prevalencia superior a la media en los meses de junio a octubre.

Figura 33. Porcentaje de Humedad relativa mensual.



Nota: Datos normalizados EMA La Presa, Ensenada BC

Figura 34. Días con presencia de niebla al mes.



Nota: Datos normalizados EMA La Presa, Ensenada BC

Como se observa en el gráfico anterior, en el mes de enero en promedio se presentan cerca de 10 días de niebla, clasificándose dentro del periodo de neblina moderada-ausente; misma situación que se extiende los meses de febrero, marzo y abril, cada uno de estos meses con un promedio de 10 días de presencia de niebla.

A partir de mayo, empieza a notarse un incremento en los días con presencia de neblina con 11.2, esto causado a partir del aumento de las temperaturas, y por lo tanto el aumento de la humedad relativa y las partículas de agua suspendidas en el ambiente. Junio también aumenta, con un promedio de 12.7 días de neblina.

En julio, se alcanzan los promedios máximos de presencia de neblina, con cerca de 15 días al mes, en lo que se refiere a la presencia anual de neblina y los datos normalizados. Siguen en incidencia los meses de agosto, septiembre y octubre, con una incidencia cercana a los 13 días por mes. Este período de mayo a octubre puede caracterizarse como el ciclo de neblina moderada- cerrada.

Con base en este análisis climático se pueden definir los periodos de monitoreo anuales como periodo 1 (niebla moderada-cerrada) y periodo 2 (niebla ligera-ausente). El periodo 1 comprende de mayo a octubre y el periodo 2 comprende de los meses de noviembre a abril. En el caso de esta investigación se llevó a cabo un lapso del periodo 1, del 27 de septiembre al 31 de octubre de 2021, así como en el periodo 2, en los meses de 1 de noviembre de 2021 a 31 de enero 2022.

Este periodo de experimentación en campo, el cual podría ser considerado como breve a efectos de un monitoreo a través de todo un periodo anual, fue llevado a cabo como se comentó en el apartado de limitaciones, para poder cumplir con los tiempos de la maestría y de acuerdo al programa académico institucional.

Para el diseño, planeación y construcción de los experimentos, se optó por la utilización de neblinómetros estándar de 1x 1 m., los cuales se construyeron de acuerdo a las dimensiones que se mencionan en la literatura consultada, principalmente de los trabajos de Schemanuer y Cereceda (1994), dicho diseño

experimental se muestra de manera más detallada en esta misma sección, en el apartado del diseño de los dispositivos.

Como justificación de este diseño sistemático, fue debido a que, en la literatura especializada en el tema, este dimensionamiento es el estándar habitual y ayuda a que se puedan extrapolar datos a atrapanieblas de mayores dimensiones más fácilmente.

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.

Se elaboró una base de datos a partir de los datos obtenidos por cada estación. Con la información obtenida se puede demostrar la correlación entre las variables climáticas del sitio escogido y la cantidad de agua recolectada, como un parámetro para poder demostrar la viabilidad de esta estrategia de cosecha de agua.

Con base en estas consideraciones se puede hablar de un modelo teórico de indicadores para la selección de sitios con mayor aptitud de instalar atrapanieblas en zonas costeras, y en el caso específico de este trabajo de investigación en Ensenada, Baja California.

La prospección de sitios experimentales muestra unos índices de adecuación de acuerdo a 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 (IAS).

$$IASitio = IAF (2) + IN (3) + IAM (2) + IAS (2) \quad (6)$$

Donde:

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). Por otra parte, 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.

Tabla 7. *Índice de aptitud del sitio*

<b>Atributo</b>	<b>Criterios</b>	<b>Valores</b>
Cercanía a la Zonas Costeras (CC)	<i>Distancia de 0 a 1 km</i>	3
	<i>Distancia de 1 a 2 km</i>	2
	<i>Distancia mayor a 2 km</i>	1
En colinas y montañas (CCM)	<i>Distancia de 1 a 2 km</i>	3
	<i>Distancia mayor a 2 km</i>	2
VV: Velocidad del viento (Diehl, R.2009)	<i>velocidad igual o mayor de 3 Km/H</i>	3
	<i>velocidad menor de 3Km/H.</i>	1
DV: Dirección del viento (Cereceda, P. 2001)	<i>provenientes del NO (Noroeste)</i>	5
	<i>provenientes del O(Oeste),</i>	4
	<i>provenientes del NE(Noreste)</i>	3
	<i>provenientes del E(Este)</i>	2
	<i>provenientes del S(Sur).</i>	1
Humedad Relativa (Scharnke, 2010)	<i>&gt;80%,</i>	5
	<i>70-80%,</i>	4
	<i>60-70%,</i>	3
	<i>50-60%</i>	2

	<50%	1
Presencia de Neblina alta	PA: >8 Meses de Niebla en 1 año.	3
Presencia de Neblina media	PM: >6 hasta 8 Meses de Niebla en 1 año.	2
Presencia de Neblina baja	PB: <6 Meses de Niebla en 1 año	1

Nota: Tabla a partir de la esquematización de Medina (2012)

*“El Índice de Aptitud Social (IAS): Es un indicador que está en función de los usuarios potenciales que carezcan de acceso al agua potable entubada, o déficit con el abastecimiento del recurso en zonas costeras y que tengan disposición de colaborar en un proyecto de captación de agua 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.”*  
(Medina, 2012)

Tabla 8. Índice de aptitud Social

<b>Atributo</b>	<b>Criterios</b>	<b>Valores</b>
Usuarios potenciales sin acceso a red de agua potable	En sitios cercanos a la costa (No mayor a 2km)	3
Usuarios potenciales con problemas de suministro de agua potable.	En sitios cercanos a la costa (No mayor a 2km)	2
Usuarios potenciales sin acceso o con problemas de suministro de agua potable.	En sitios cercanos a la costa (Mayor a 2km)	1

Nota: Tabla a partir de la esquematización de Medina (2012)

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 de advección 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.

Cabe señalar que algunos sitios previamente estudiados se prescindieron ya que ofrecían pocas garantías en cuanto a seguridad o no presentaban tantas características favorables como los sitios finalmente escogidos para la experimentación.

Las inmediaciones del fraccionamiento Pedregal Playitas, coordenadas  $31^{\circ}52'32.6''N$   $116^{\circ}39'41.5''W$  (31.875708, -116.661530), fue el primer sitio que se definió como ubicación posible del dispositivo atrapanieblas con características favorables como su elevación relativa (60 MSNM), encañonamiento y cercanía al mar (0.9 KM).

Las características orográficas del lugar presentan características favorables, al tener algunas elevaciones y encañonamientos que favorecen el flujo del viento, que en un momento dado pueden ayudar a la velocidad del viento, lo cual ayuda a la captación de la niebla de acuerdo con la literatura consultada. En la siguiente Figura (35) se puede observar la esquematización de estas características observadas.

Figura 35. Ubicación del dispositivo en colonia Pedregal Playitas



Nota. Gráficos fuente Google Earth, 20 de septiembre 2021

En función a la propuesta de este sitio, se muestra el cálculo de prospección correspondiente. Se propone un sitio que está a 0.9 km de la costa, donde viven usuarios que eventualmente sufren de escasez de agua e interrupción del suministro por parte de la dependencia municipal (CESPE).

Los datos previos muestran que la velocidad del viento promedio es de 11 Km/H provenientes del O (Oeste) y una Humedad relativa de 80% con hasta 7 meses de presencia de Niebla. Se explora la niebla de advección inducida por la topografía con elevaciones próximas a nivel del mar y el aire húmedo proveniente del mar.

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

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 D. (2012) resultaría de esta manera:

**>30 Muy aptos**

25-29 Aptos

<25 No recomendables

Tabla 9. *Índice de aptitud del sitio Pedregal Playitas*

Índice	Valor	Factor	Total
Índice de aptitud fisiográfica	3	2	6
Índice de aptitud meteorológica			20
<i>Velocidad de viento</i>	5	1	5
<i>Dirección del viento</i>	5	1	5
<i>Humedad relativa</i>	5	2	10
Índice de niebla	2	1	2
Índice de aptitud social	2	1	2
<b>Índice de aptitud del sitio (IAS)</b>			<b>30</b>

Como se mencionó anteriormente, durante el proceso de investigación de la factibilidad de sitios, surgió como otra posible alternativa el montar un dispositivo 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).

Dicha ubicación alternativa 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 funcionamiento del experimento.

Figura 36. Ubicación alternativa del dispositivo en UABC planta de tratamiento



Nota. Gráficos fuente Google Earth, 20 de septiembre de 2021

En función a la propuesta de este sitio, se muestra el cálculo de prospección correspondiente. 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 monitoreos 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 D. (2012) resultaría de esta manera:

>30 Muy aptos      **25-29 Aptos**      <25 No recomendables

Tabla 10. Índice de aptitud de sitio - UABC

Índice	Valor	Factor	Total
Índice de aptitud fisiográfica	3	2	6
Índice de aptitud meteorológica			20
<i>Velocidad de viento</i>	5	1	5
<i>Dirección del viento</i>	5	1	5
<i>Humedad relativa</i>	5	2	10
Índice de niebla	2	1	2
Índice de aptitud social	0	1	0
<b>Índice de aptitud del sitio (IAS)</b>			<b>28</b>

#### 4.4. Diseño y construcción del prototipo de atrapanieblas

Para el diseño, planeación y construcción de los experimentos, se experimentó con una medida estándar para los atrapanieblas de 1 x 1 metros, los cuales se construyeron de acuerdo a las dimensiones que se mencionan en la literatura consultada (Schemanuer, Cereceda, 1994).

Un neblinómetro es un dispositivo atrapanieblas pequeño que consta de un marco de un metro cuadrado de superficie, en el cual está insertado un cuadro de malla o red de las mismas dimensiones, montado a 2 metros de altura. Estas dimensiones de un metro cuadrado permiten la estandarización de los datos y su extrapolación para el cálculo de superficies para el agua requerida.

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.

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% (ver Figura 37).

Los demás elementos del diseño del atrapanieblas fueron propuestos, consultados y analizados por el comité tutorial de esta tesis en función de sus características físicas, facilidad de instalación, economía y ajuste a las características principales del diseño del neblinómetro en los lugares de estudio, así como al enfoque de autoconstrucción y a base de materiales de bajo costo, asequibles a la población objeto de estudio.

Figura 37. Malla para neblinómetro



*Nota.* Malla Raschel coeficiente de sombreado 35%

Se menciona también que tanto los dispositivos como la estación climática deben ser dispuestos a una altura relativamente lejos del suelo, con el fin de poder acumular datos sin que se interfiera por sombras, elementos electromagnéticos y emisividad de las superficies.

Se plantea construir este prototipo con materiales ligeros y económicos, que no se vean afectados por la intemperización a la que estarían sometidos al estar funcionando al aire libre. Se optó en este caso por el material de PVC hidráulico como la mejor opción, debido a sus características de ligereza, poca reacción a los agentes

ambientales, así como un costo de materiales moderadamente asequible. En la siguiente Figura (38), se observa el marco principal del neblinómetro fabricado a partir de la tubería indicada, así como la malla Raschel.

Figura 38. Marco de neblinómetro con estructura de PVC de ½”



*Nota.* Fabricación propia a partir de esquemas clásicos literatura (Cerecedo, Ferrer)

En la siguiente Tabla 11, se observa una relación de los materiales y costos al año 2021 de los principales materiales que consta el neblinómetro de experimentación.

#### 4.4.1. Materiales y costo

Tabla 11. *Costos de materiales 2021*

Material	Precio unitario	Total
8 ml de tubería de PVC hidráulico ½”	\$20.00	\$160.00
2 tee de PVC hidráulico ½”	\$5.00	\$10.00
2 Yee 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>

*Nota:* Tabla de elaboración propia respecto a costos actualizados ferreterías 2021

El diseño de los dispositivos consta de un marco de 1 x 1 metros hecho con estructura de tubería de PVC de ½" a la cual se fijó 1 m<sup>2</sup> de malla entretejida de polímero, fijado al marco de tubería con alambre recocido para estabilizar la malla y posteriormente su fijación a todo el perímetro con cinchos de plástico de 4" a cada 15 centímetros.

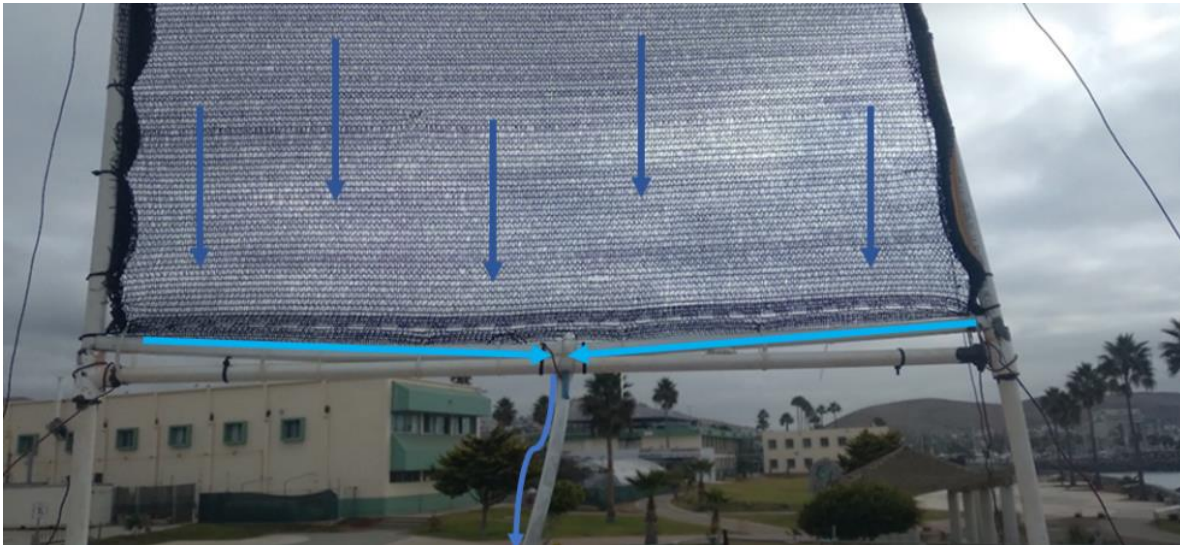
Este marco se fijó a dos postes de 2 metros de altura construidos en este caso también con tubería PVC de ½" rigidizada con una varilla de 3/8" en su centro, con el fin de prevenir dobleces en su verticalidad con el embate del viento.

Al marco del neblinómetro se le adaptó una canaleta en la parte inferior, hecha por canaleta común para instalaciones expuestas de cable o teléfono de PVC. Se le dio una pendiente hacia el centro de la estructura con el fin de poder recolectar el agua captada por la malla y que caerá por gravedad (goteo) hacia la parte inferior.

En el centro de la canaleta se realizó una perforación para poder conducir el agua hacia un dispositivo medidor del agua captada, en este caso un pluviómetro de balancín, y este a su vez está montado en un depósito de agua común (cubeta) de 19 l, con el fin de recolectar el agua captada.

La conducción del agua de la canaleta hacia el pluviómetro de medición se realizó por medio de una manguera de nivel de ¾" de espesor de plástico transparente, la cual está adosada al marco del pluviómetro por medio de cinchos de plástico, y se selló para evitar pérdidas de agua por hendiduras entre las uniones de las piezas.

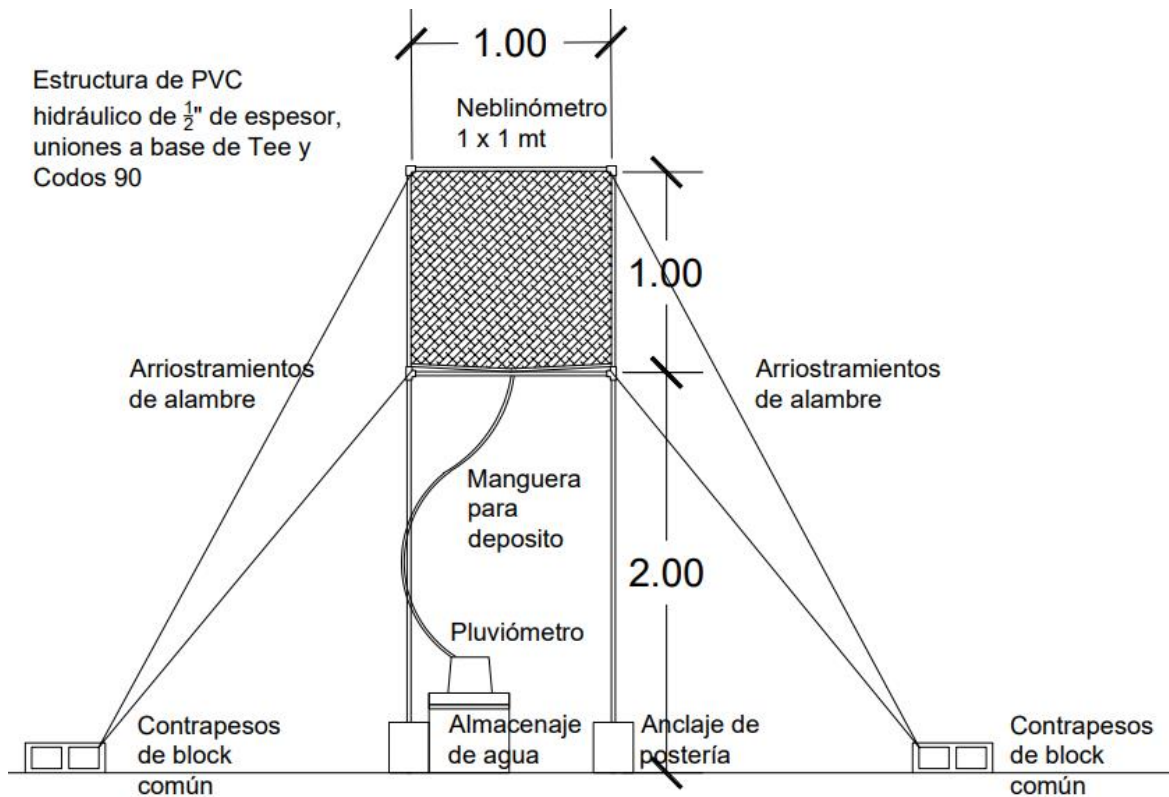
Figura 39. Detalle de canaleta de conducción



Nota. Fotografía propia, experimento locación UABC.

En la Figura 40 se observa la propuesta esquemática tanto de dimensiones como de materiales propuestos, y la manera en que se busca conducir el agua cosechada para su monitoreo y medición, con el fin de recolectar los datos necesarios.

Figura 40. Esquema de neblinómetro propuesto



Nota. Esquema a partir de conceptualización propia con referentes de literatura de consulta.

#### **4.5. Montaje de dispositivos para inicio de experimento**

Con el neblinómetro ya construido con la estructura propuesta se procedió a su montaje en la ubicación de Pedregal Playitas, al tener el aval del dueño de la propiedad propuesta a montarse.

En un principio se observó que debido a la esbeltez del material de los postes (pvc de 1/2") era necesario reforzar esta estructura, decidiéndose reforzar con la introducción de varilla de 3/8" de espesor para evitar la flexión de la estructura con el viento.

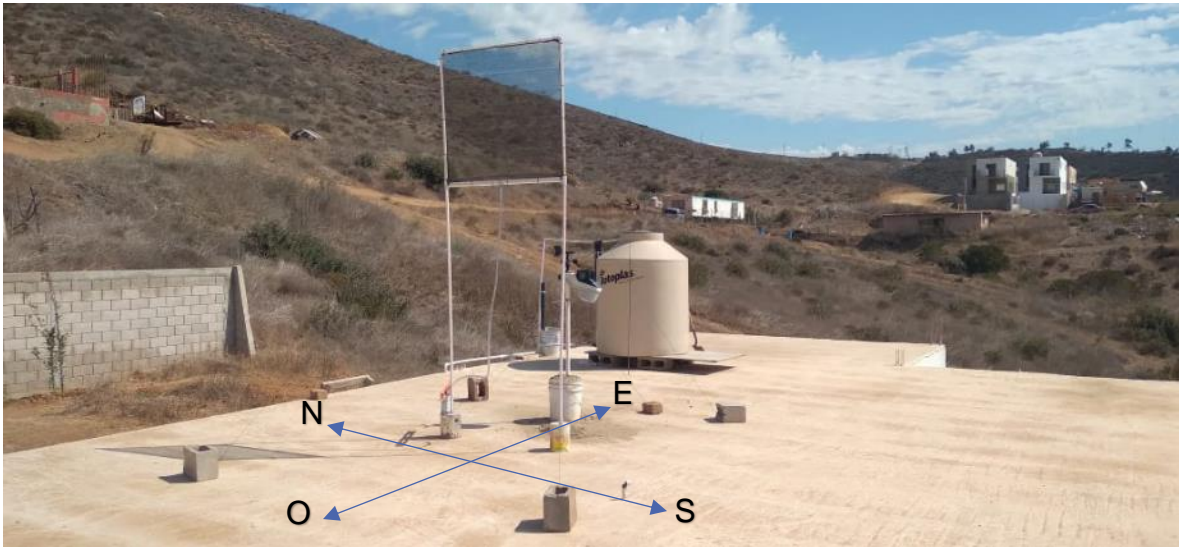
También se procedió a dotar la estructura de arrostramientos por medio de alambre recocido amarrado a block común con el fin de dar más estabilidad a la estructura. También se decidió reforzar la estructura de la base que soportaría la estación climática encargada de monitorear las variables climáticas de la zona.

A continuación, se presentan fotografías de la disposición tanto del dispositivo de atrapanieblas (neblinómetro) como de la estación climatológica y el pluviómetro encargado de registrar el agua.

En la Figura 41, se observa la disposición del neblinómetro montado en la azotea de una vivienda unifamiliar de un nivel en el fraccionamiento Pedregal Playitas, Calle Grafito. Como se ha mencionado anteriormente, esta disposición es perpendicular a los vientos dominantes con el objetivo de aumentar la eficiencia del dispositivo captador.

Se puede observar los arriostramientos y contrapesos para dar estabilidad al prototipo, así como en segundo plano la estación meteorológica encargada de registrar las variables climáticas del sitio.

Figura 41. Disposición de neblinómetro y estación en azotea vivienda Pedregal Playitas



Nota. Montaje el 20 de septiembre de 2021

Para poder lograr una medición fidedigna de los datos en sitio, se procedió primeramente a una operacionalización de variables, en donde la principal directriz fue llevar registro de las variables climáticas que inciden en la eficiencia de los dispositivos atrapanieblas o neblinómetros.

Para tal efecto, se consultó con la literatura de referencia, así como consulta personalizada con meteorólogos o expertos en la materia. A partir de esta retroalimentación, se consiguieron los dispositivos para llevar a cabo las mediciones, tanto de las variables climáticas como de la cantidad de agua colectada por los dispositivos atrapanieblas.

En el sitio 1, se instaló una estación meteorológica multifuncional, capaz de registrar las variables climáticas principales, con la que se registraron los datos de temperatura, humedad relativa y viento (velocidad y dirección).

Para registrar la cantidad de agua captada por el neblinómetro se instaló un pluviómetro con captador basculante auto vaciado. Se contempló además utilizar depósitos de 19 litros para coleccionar el agua de los dispositivos.

Con el fin de aplicar la estrategia metodológica sobre una base de datos histórica de acuerdo a las condiciones climáticas del sitio de emplazamiento se optó

por consultar en diferentes bases de datos documentales y estadísticas, esto con el fin de tener certeza de la regularidad de los datos consultados.

Se consultó primeramente a las variables normalizadas de la Estación Meteorológica Automatizada (EMA) en Ensenada, a partir de 10 años a la fecha. Se recurrió, además, a los datos de la estación climatológica del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), con una consulta de dos años a la fecha.

Esta fuente fue consultada debido a la fiabilidad de los datos y la ventaja de contar con una estación meteorológica muy próxima al emplazamiento de los dos lugares experimentales, por lo cual se cuenta con que estos datos serán representativos para situar el experimento.

En cuanto al funcionamiento de los equipos de medición necesarios para extraer los datos necesarios en resumen se utilizaron una estación climática con anemómetro (para medir los datos del viento), pluviómetro (para medir la precipitación), termómetro (para medir la temperatura ambiente), así como un pluviómetro sencillo que en el caso de esta investigación fue utilizado para medir la cantidad de agua captada.

El funcionamiento de estos equipos se realiza por medio de algunas acciones mecánicas, como en el caso de los pluviómetros y anemómetros, fotoeléctricas en el caso de los radiómetros o por sensores electromagnéticos en el caso de los termómetros. Es importante destacar las particularidades del funcionamiento de estos equipos para poder entender el porqué de los cuidados al momento de su montaje.

En el caso del pluviómetro, funciona a partir de una báscula compuesta de dos cucharas en equilibrio; cuando una cuchara se llena de agua, se vuelca, evacuando el agua y activa un interruptor. La cantidad de agua muestreada es registrada en un contador que puede transmitir la cantidad de agua que fue necesaria para volcar la cuchara en forma remota.

El volumen de agua acumulada se relaciona con el número de oscilaciones o volcamiento de las cucharas, correspondiendo generalmente cada oscilación a 5 centímetros cúbicos. Es así como, con conexión a un microcontrolador, podemos medir el flujo de agua y la hora en que ocurre la precipitación captada. (Vera, 2018)

Es por esto, que es capital la importancia del nivelado de los equipos de medición, puesto que, al depender estos equipos de un pluviómetro basculante, la nivelación es esencial para que los datos recogidos sean veraces, y no haya margen de error que influya en un registro falso de datos.

En cuanto al anemómetro que registra los datos de velocidad y dirección del viento en la estación climática, este depende de dos veletas de plástico las cuales están expuestas a la acción del viento al aire libre.

Una veleta está compuesta de tres velas que giran de acuerdo a la velocidad del viento, y es la que registra la velocidad del viento en un microcontrolador en la frecuencia que sea especificada,

La otra veleta consta de una sola vela de plástico y su función es alinearse de acuerdo a la dirección predominante del viento, con lo cual logra llevar a cabo el registro de la dirección dominante del viento en un lapso de tiempo determinado.

En la siguiente imagen (Figura 42), se puede observar la nivelación tanto de la estación climatológica como el pluviómetro encargado de registrar el agua colectada por el neblinómetro.

Figura 42. Nivelación de equipos de monitoreo en el montaje



Nota. Montaje el 20 de septiembre de 2021

En la siguiente imagen (Figura 43) se muestra el monitor del pluviómetro (pantalla). Se llevó a cabo la calibración del pluviómetro de acuerdo a las especificaciones del fabricante. En este caso, con 16 oz de agua en un vaso con un hueco de alfiler se dejó gotear en el dispositivo hasta tener una lectura de 42.6 mm (+2mm) en un lapso de aproximadamente 15 minutos.

Figura 43. Calibración de pluviómetro para lectura de agua recolectada



Nota. Calibración el 19 de septiembre de 2021

En la siguiente imagen (Figura 44) se muestra la disposición de los monitores tanto de la estación climática como del pluviómetro basculante para monitorear la cantidad de agua colectada. Ambos monitores se emplazaron al interior de la vivienda objeto de estudio en la colonia Pedregal Playitas, a 4 metros aproximadamente del experimento montado.

Figura 44. Monitores de estación climática y pluviómetro para monitoreo



Nota. Montaje 20 de septiembre de 2021

En la siguiente imagen (Figura 45) se muestra la disposición del experimento en la azotea de la vivienda objeto de estudio, vista desde el exterior. Como se observa en el gráfico, el atrapanieblas está ubicado de manera que no sea obstruido físicamente por ningún objeto del entorno. A su lado también se observa la estación climática, totalmente libre a la intemperie para la recolección de datos.

Figura 45. Montaje final del dispositivo en azotea de vivienda Pedregal Playitas



Nota. Montaje 20 de septiembre de 2021

La estación de monitoreo climático fue dispuesta de acuerdo a la normatividad vigente Norma Oficial Mexicana *NMX-AA-166/1-SCFI-2013, estaciones meteorológicas, climatológicas e hidrológicas - parte 1: especificaciones técnicas que deben cumplir los materiales e instrumentos de medición de las estaciones meteorológicas automáticas y convencionales.*

En cuanto a las especificaciones para los pluviómetros se cumplió con las 4 especificaciones principales de esta norma:

Tabla 12. *Especificaciones pluviómetros*

---

**Especificaciones:**

---

- a) *La arista del colector debe tener un borde afilado, siendo la vertiente interior siempre vertical y la exterior con un profundo biselado; el diseño de los pluviómetros utilizados para medir la nieve debe ser tal que se disminuya al máximo la posibilidad de obturación del orificio por acumulación de nieve húmeda alrededor de la arista.*

- b) *El área de captación del pluviómetro debe conocerse con una precisión de un 0.5 por ciento y la construcción debe ser tal que esta área permanezca constante mientras el pluviómetro esté en uso normal.*
- c) *El colector debe diseñarse de modo que se impida que la lluvia salpique hacia adentro o hacia afuera; esto puede lograrse haciendo que la pared vertical sea bastante profunda y la pendiente del embudo suficientemente inclinada.*
- d) *El depósito debe tener una entrada estrecha, suficientemente protegida de la radiación, para reducir al mínimo las pérdidas de agua por evaporación. Los pluviómetros que se utilicen en lugares donde sólo se hacen lecturas semanales o mensuales deben ser análogos en diseño al tipo utilizado para hacer medidas diarias, pero con un depósito de mayor capacidad y más robusta construcción.*

*Nota.* Norma Oficial Mexicana NMX-AA-166/1-SCFI-2013, consultada en marzo de 2021

En cuanto a los equipos para medir humedad relativa y temperatura ambiente (higrómetros) tanto en la estación climática como en el *data logger* se cumplieron con las especificaciones de la Norma Mexicana de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 13. *Especificaciones técnicas higrómetro*

<b>Especificaciones técnicas:</b>	
<i>Tipo</i>	<i>Electrónico digital</i>
<i>Escala</i>	<i>En grados centígrados °C y %</i>
<i>Intervalo</i>	<i>De - 30 a + 60 °C en temperatura y de 0 a 100 % en humedad relativa.</i>
<i>Precisión</i>	<i>± 0.2 °C y ± 2 % de humedad relativa</i>
<i>Resolución</i>	<i>0.1 °C y 1 %</i>
<i>Características generales</i>	<i>Con capacidad de indicar la temperatura del Punto de Rocío. Construido en material</i>

resistente a la intemperización. Capacidad de almacenamiento digital de datos sin necesidad de una PC. Con pantalla de LCD de 6 dígitos.

---

Nota. Norma Oficial Mexicana NMX-AA-166/1-SCFI-2013, consultada en marzo de 2021

Las especificaciones técnicas que cumplió el anemómetro para la medición del viento en la estación climática son las siguientes, de acuerdo a la norma mexicana antes mencionada:

Tabla 14. *Especificaciones anemómetro*

---

**Características técnicas del dispositivo principal**

---

**Velocidad del viento**

<i>Tipo:</i>	<i>Anemómetro de copas</i>
<i>Material:</i>	<i>Copas de acero inoxidable o de aluminio anodizado con una capa protectora resistente a la corrosión.</i>
<i>Intervalo de medición:</i>	<i>0 a 65 m/s = 234 km/h</i>
<i>Precisión:</i>	<i>±2 %</i>
<i>Resolución:</i>	<i>0.27 m/s</i>
<i>Umbral de respuesta:</i>	<i>0.7 m/s = 2.52 km/h</i>

*El sensor de velocidad del viento funcionará perfectamente a una temperatura ambiente - 40 °C a 60 °C.*

---

**Dirección del viento**

---

<i>Tipo:</i>	<i>Veleta</i>
<i>Material:</i>	<i>Veleta de acero inoxidable o de aluminio Anodizado con una capa resistente a la corrosión.</i>
<i>Rango de medición:</i>	<i>0 a 360 °</i>

*Precisión:*  $\pm 5^\circ$

*Resolución:*  $1^\circ$

*Umbral de respuesta:*  $0.7 \text{ m/s} = 2.52 \text{ km/h}$

*El sensor de dirección del viento funcionará manera óptima a una temperatura ambiente de  $-40^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$ . Escala En m/s, km/h, nudo y grados.*

---

*Nota.* Norma Oficial Mexicana NMX-AA-166/1-SCFI-2013, consultada en marzo de 2021

En este caso cumpliendo con los instrumentos de prueba de higrómetro, anemómetro y pluviómetro. De acuerdo a las especificaciones del fabricante al calibrarse de forma adecuada con un margen de error de  $\pm 0.02 \text{ mm}$  en las lecturas de cantidades de agua pluvial.

Los instrumentos cumplen con los estándares internacionales de medición y en este caso de monitoreo climático, y fueron dispuestos con las calibraciones, instrucciones e indicaciones de montaje que especifica el fabricante para asegurar la exactitud del monitoreo.

En la siguiente imagen (Figura 46) se muestra la disposición del experimento en la azotea de la planta de tratamiento en la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, Campus Sauzal. En este sitio de estudio se instaló un pluviómetro para medir la recolección de agua captada por un neblinómetro. Para el monitoreo del clima se utilizó un *data logger* de monitoreo.

Figura 46. Montaje final del dispositivo en planta de tratamiento de UABC Ensenada Campus Sauzal



Nota. Montaje 27 de septiembre de 2021

El *datalogger* de monitoreo climático fue ubicado no exactamente al lado del atrapanieblas, sino en un dispositivo cortina ubicado en las inmediaciones del sitio de experimentación, aproximadamente a 70 m. de la ubicación del neblinómetro UABC y a una altitud aproximada del atrapanieblas de dicha locación.

En la siguiente imagen (Figura 47) se muestra tanto el pluviómetro fijado al experimento ubicado en UABC y la manguera que conduce el agua colectada por el neblinómetro, con el fin de monitorear la cantidad del líquido colectado.

El monitor del pluviómetro quedó fijado en una pared al interior de la planta de tratamiento con el fin de eficientizar la recolección de datos, y poder disponer de un acceso controlado a dicho monitoreo de datos, minimizando riesgos de robo o extravío.

Figura 47. Pluviómetro y monitor fijados en planta de tratamiento UABC Ensenada Campus Sauzal



Nota. Montaje 27 de septiembre de 2021

## **CAPÍTULO 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 5.1. Preámbulo resultados

En cuanto a la disposición del prototipo experimental se siguieron directrices básicas de la literatura clásica mencionada 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.

El experimento de la locación 1 (Pedregal Playitas-PP) se montó en la azotea de una vivienda prototípica unifamiliar de la colonia mencionada, con el fin de tener la mayor influencia posible de las condiciones climáticas circundantes, así como el montaje de una estación climática para monitorizar datos de la temperatura, humedad y velocidad del viento que influyen en la presencia de niebla.

Ante la presencia de vientos fuertes debido a las condiciones Santana (vientos cálidos y fuertes provenientes del noreste, caracterizados por sus rachas de velocidad superior a los 30 km/h y sequedad), hubo dificultad con la estabilidad de los dispositivos, por lo que fue necesario reforzar la estructura.

Para reforzar la estructura se realizaron unos amarres o arriostramientos de 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.

En la disposición del experimento en el sitio 1 (PP) se montó el dispositivo perpendicularmente hacia la orientación geográfica Oeste, debido a la dirección histórica dominante del viento, es decir la dirección oeste, por lo que la malla atrapanieblas se orientó perpendicularmente hacia esa dirección.

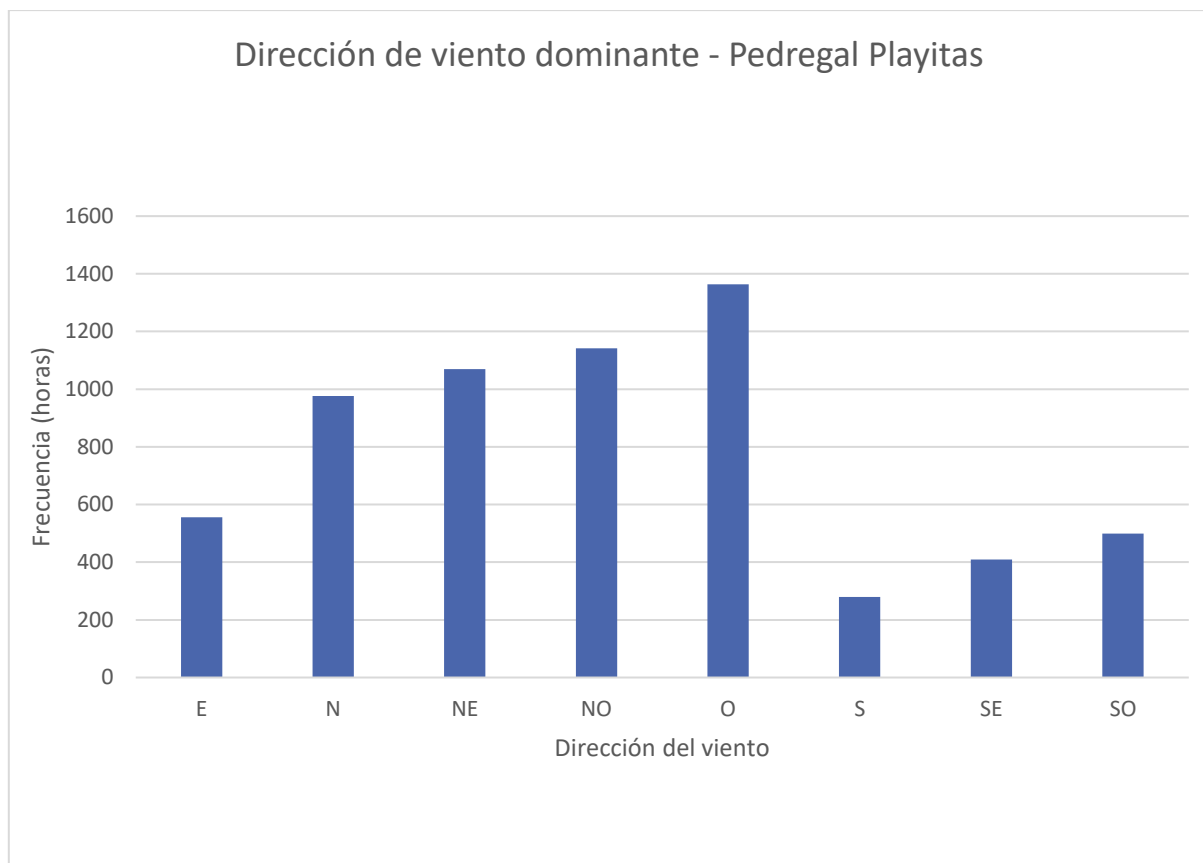
Esta disposición se tomó en cuenta con el objetivo de que se pudiera favorecer también la dirección hacia los encañonamientos y elevaciones circundantes, que deberían favorecer la conducción de la neblina hacia el dispositivo, de acuerdo con el conocimiento asimilado del marco teórico.

Todas estas consideraciones para incrementar la eficiencia de los dispositivos se tomaron de la literatura previamente mencionada en el apartado del marco teórico,

de acuerdo con Cereceda (2011), principalmente a lo que respecta de los factores a considerar para incrementar la eficiencia en la captación del agua.

En el siguiente gráfico (48), se puede observar la dirección dominante del viento (oeste) durante el primer periodo monitoreado del experimento (mes de septiembre), con lo cual se pudo asegurar que la alineación del atrapanieblas fue efectivamente dispuesta en la dirección perpendicular a los vientos dominantes.

Figura 48. Dirección de viento Pedregal Playitas Ciclo Sept 21 – enero 22



Nota. Datos monitoreados en sitio pedregal playitas con estación climática

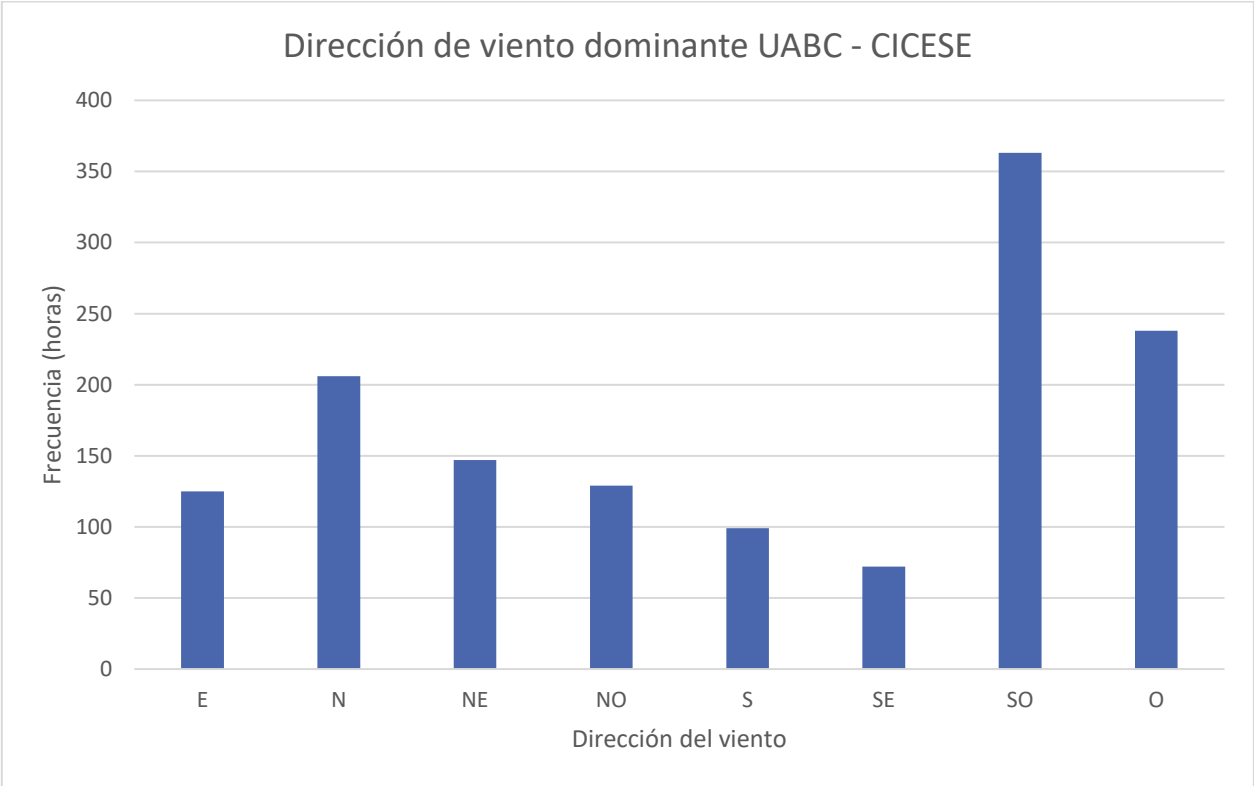
El experimento en la locación 2, Universidad Autónoma de Baja California (UABC), se montó con las mismas premisas de montaje temporal, sin fijaciones y observando las mismas directrices de arriostamiento y montaje de los principales elementos de funcionamiento, como son la fijación de la malla, la canaleta, la

manguera de conducción, arriostramientos provisionales y pluviómetro para monitoreo de la cantidad de agua.

Para el montaje en la ubicación del sitio 2 (UABC) se tomó en cuenta la dirección dominante del viento en esta zona, es decir suroeste, por lo cual el dispositivo se orientó en esta dirección, originalmente habiendo sido orientado en la dirección sur.

La colocación de la malla atrapaniebla perpendicular hacia la dirección del viento es una característica que se debe tomar en cuenta para la disposición de los atrapanieblas.

Figura 49. Dirección de viento UABC – CICESE Ciclo Sept 21 – enero 22



Nota. Datos proporcionados por EMA CICESE

A partir de esta disposición de estos dos experimentos se registró la recolección de datos tanto de variables dependientes (cantidad de agua recolectada), como

variables independientes (datos climáticos, principalmente de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento).

## **5.2. Observaciones durante el experimento**

Con el fundamento de la investigación de definir el volumen de agua captado de la humedad ambiente, así como la posible contribución al gasto diario de agua en una vivienda prototípica, con el agua producto de esta captación, y por lo tanto ayudar al usuario del espacio, se realizaron observaciones del experimento durante toda la duración de éste.

Los periodos de observación durante el mes de septiembre fueron de nula presencia de neblina, y por lo tanto la captación tampoco se presentó, ni en las horas más húmedas y de menor temperatura de la mañana. Fue necesario reforzar en algunos casos el anclaje de los dispositivos ante presencia de vientos.

En cuanto a presencia de lluvia u otros fenómenos que pudieran incidir en los resultados del monitoreo, tampoco se presentaron, por lo que no fue necesario ajustar los resultados registrados durante este periodo.

Durante el mes de octubre se observó mayor presencia de neblina, la cual fue precedida por días de baja humedad relativa en el ambiente, temperaturas anormalmente altas, y mayor velocidad del viento. Estas características definidas como condición Santana fueron seguidas por una baja de temperatura, y presencia de neblinas bajas, lo cual contribuyó a la captación de neblina en los dispositivos.

En la Figura 50 se puede observar la presencia del fenómeno de la neblina en la ciudad de Ensenada, registro de presencia de niebla durante el mes de octubre, con neblina proveniente del mar.

Figura 50. *Neblina nocturna en la ciudad de Ensenada. mes de octubre*



*Nota:* Fotografía del autor. Sitio UABC, 09 de octubre de 2021.

Cabe destacar que fue durante el mes de octubre en donde se presentaron los días con mayor captación de agua, y fue el mes con segundo índice de días con captación de agua respecto al periodo de experimentación, con once días de presencia de niebla suficiente como para poder captar agua en los dispositivos.

En el mes de noviembre nuevamente se presentaron estas condiciones Santana, seguidas de bajas en las temperaturas y presencia de neblinas bajas. Las neblinas altas tuvieron más presencia en estos días, desgraciadamente al estar presentes en altitudes mayores a los sitios de experimentación no pudieron ser aprovechadas o cosechadas para su monitoreo.

En este mes (noviembre 2021) se presentaron algunas precipitaciones esporádicas, sin que se afectaran los resultados del monitoreo de captación de agua, al ser mínimas, y pudiéndose ajustar fácilmente gracias a los datos recopilados por las estaciones climáticas instaladas para monitorear las variables climáticas.

Figura 51. *Neblina encañonamiento Pedregal Playitas, Nov 2021*



Nota: Fotografía del autor. 10 de noviembre de 2021

En el mes de diciembre se presentaron algunos días de neblina, así como algunos días de lluvia. En relación a las normales climáticas la presencia de lluvia ha sido menor que el promedio. Sin embargo, en lo que se refiere a este experimento, la lluvia no sería un factor a considerar en la captación de agua para el gasto de una vivienda, sino que únicamente se considera el fenómeno de neblina.

En el periodo monitoreado en el mes de enero de 2022 no se observaron ni días de niebla ni presencia de lluvia, por lo cual no se tuvieron datos de captación de agua para el gasto de la vivienda. La visibilidad en la ciudad no se vio disminuida con la presencia de humedad ambiental y/o nubosidades, y en el caso de este experimento, sin poder recolectar agua en el mes mencionado.

### **5.3. Desarrollo del experimento en campo**

El monitoreo de los experimentos en ambas ubicaciones comenzó el 27 de septiembre de 2021, concluyendo el 1 de febrero de 2022. Este periodo representa el de transición entre las temperaturas altas (mayor evaporación y humedad relativa en el ambiente) y las temperaturas bajas (menor evaporación y humedad relativa en el ambiente).

Este periodo también representa la transición de la temporada seca hacia la temporada de lluvias que inicia a mediados de diciembre pudiéndose prolongar este fenómeno hasta mediados de abril, y a veces hasta mayo, con raras precipitaciones en junio o julio.

A través del desarrollo del experimento se llevó a cabo un registro detallado de las incidencias que influyeron en los resultados del mismo, principalmente en lo que se refiere a la captación del agua proveniente de la humedad ambiental, los días en los que el fenómeno de presencia de neblina permitió la recolección y los parámetros climáticos referentes a esos días.

En la Tabla 15 a continuación, se registran los datos promediados de las variables climáticas registradas en el sitio del experimento durante el ciclo de observación.

Tabla 15. *Variables climáticas durante el periodo de monitoreo*

<b>Mes (ciclo 2021-2022)</b>	<b>Temperatura ambiente promedio</b>	<b>Velocidad del viento promedio</b>	<b>Humedad Relativa Promedio</b>
Septiembre	20.13	5.85	77.73%
Octubre	18.99	5.16	65.01%
Noviembre	17.77	4.33	64.82%
Diciembre	13.75	4.76	74.20%
Enero	14.17	4.75	62.33%
<b>Total</b>	<b>16.96</b>	<b>4.97</b>	<b>68.82%</b>

*Nota:* Datos de estación climatológica Sitio 1, Pedregal Playitas

En la siguiente Tabla (16), se muestran los datos de valores máximos promedio de las variables climáticas (temperatura, velocidad del viento y punto de rocío) registradas

en el sitio del experimento durante el ciclo de observación. Asimismo, se incluye la temperatura superficial del mar lo cual influye en la formación de la neblina.

Tabla 16. *Variables climáticas durante el periodo de monitoreo*

<b>Mes (ciclo 2021-2022)</b>	<b>Temperatura ambiente máxima (°C)</b>	<b>Velocidad del viento máxima (km/h)</b>	<b>Punto de rocío (°C)</b>	<b>Temperatura superficie océano</b>
Septiembre	28.33	25.7	18.9	18.76
Octubre	32.40	27.3	18.9	17.49
Noviembre	27.22	25.7	15.0	16.63
Diciembre	21.67	27.4	14.4	15.44
Enero	24.89	33.8	13.9	15.16
<b>Total</b>	<b>26.90</b>	<b>27.98</b>	<b>16.22</b>	<b>16.70</b>

*Nota:* Datos extraídos de estación climática Pedregal Playitas Experimento 1, Superficie Océano Bahía Ensenada

Como se puede observar en la gráfica anterior, la relación entre la temperatura de la superficie del océano con el punto de rocío es significativa, teniendo una aproximación de 0.15 a 1.5 grados centígrados en todos los meses monitoreados, una diferencia mucho menor que con la temperatura ambiente media.

La temperatura de la superficie del océano puede consultarse más a detalle en el anexo A de este documento, en donde se cuenta con datos de la temperatura superficial del océano Pacífico en el área de la bahía de todos santos, datos recopilados durante el periodo de monitoreo y experimentación.

Con estos datos podemos inferir la influencia significativa de la temperatura del océano en la formación de la neblina, y el riesgo que conlleva para la recolección del agua a partir de la humedad ambiental el fenómeno de calentamiento global y el aumento de temperatura en los océanos.

De acuerdo a lo observado durante el desarrollo del experimento, los cambios de clima repentinos favorecieron la formación de neblina a nivel de las locaciones. Los parámetros de velocidad de viento, humedad relativa y temperatura al variar, especialmente de un período anormalmente seco y cálido a uno húmedo y templado siguió un periodo de neblina aprovechable.

Concordando con trabajos de investigación preliminares, tanto la velocidad del viento como el alto índice de humedad relativa favorecieron a la formación de cuerpos de agua de neblina, sin embargo, es preciso notar que el viento puede ser un factor favorable en tanto su factor de velocidad no interfiera con la estructura de los dispositivos (se presentaron algunos problemas con velocidades superiores a 20 km/h o 5.55 m/s).

Al ser la neblina un fenómeno cuya presencia depende de muchos factores climáticos es necesario monitorear de manera precisa y consistente para poder llegar a captar los periodos más favorables. Incluso, cuando hay presencia de niebla apreciable a simple vista, los fenómenos meteorológicos pueden llegar a alejar la niebla a lugares o altitudes en que no se puede aprovechar este potencial.

En la siguiente gráfica (Figura 52) se aprecia el rango de velocidad de viento durante el mes de septiembre. Cabe mencionar que durante septiembre no se presentó neblina aprovechable para la captación, por lo tanto, no se pudo recolectar agua. La velocidad del viento durante este lapso de tiempo fluctuó desde los 0 km/h (calma absoluta) hasta los 25 km/h, máximo de velocidad durante este ciclo de tiempo.

Figura 52. Velocidad de viento Septiembre Sitio 1



En las siguientes imágenes se muestra la línea de tiempo con los intervalos de días en que la recolección de neblina pudo dar como resultado la captación de agua en cada uno de los sitios de experimentación.

Figura 53. Datos acumulados por día Sitio Pedregal Playitas

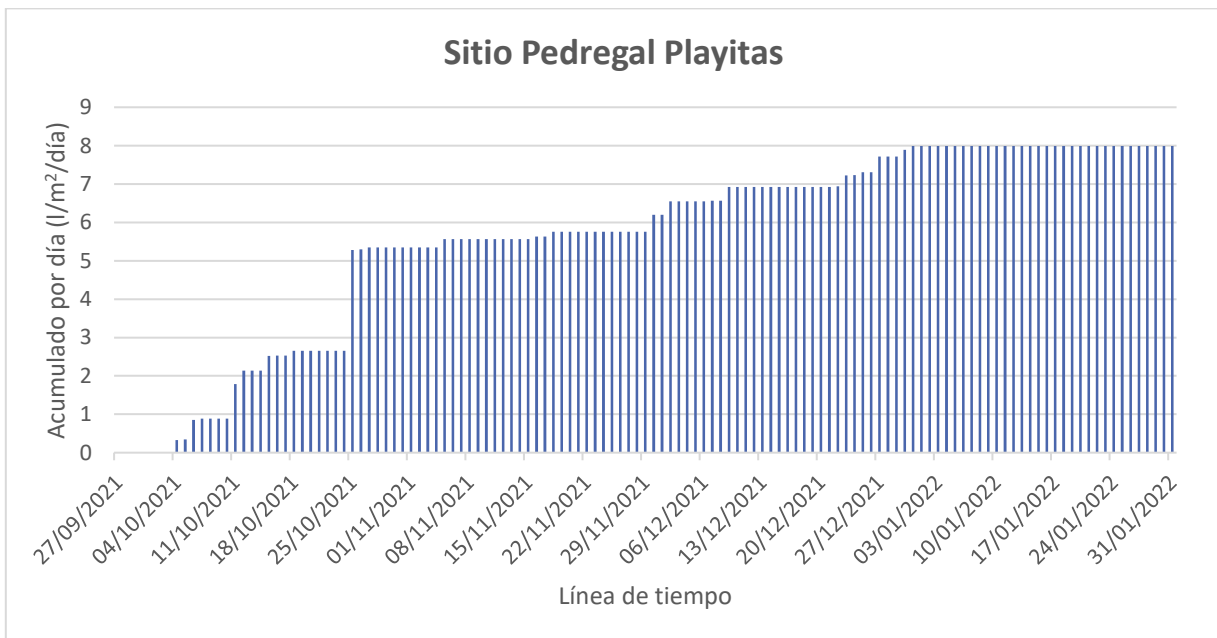
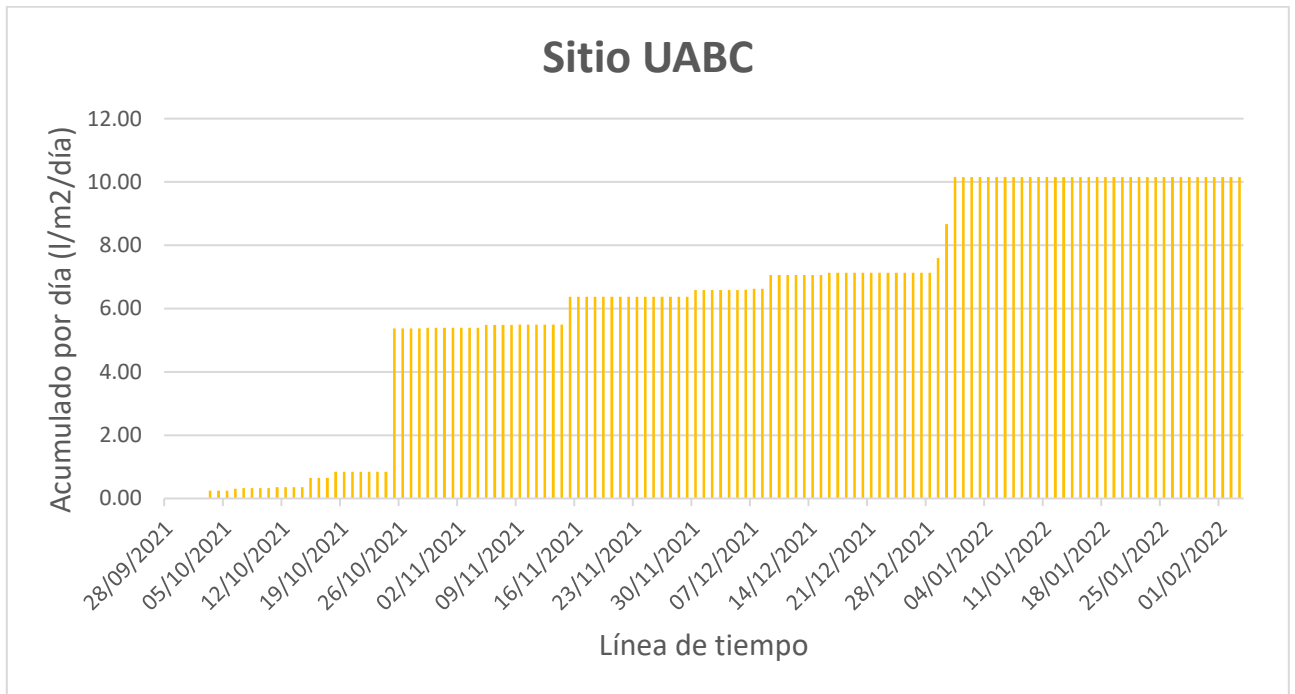


Figura 54, Datos acumulados por día Sitio UABC

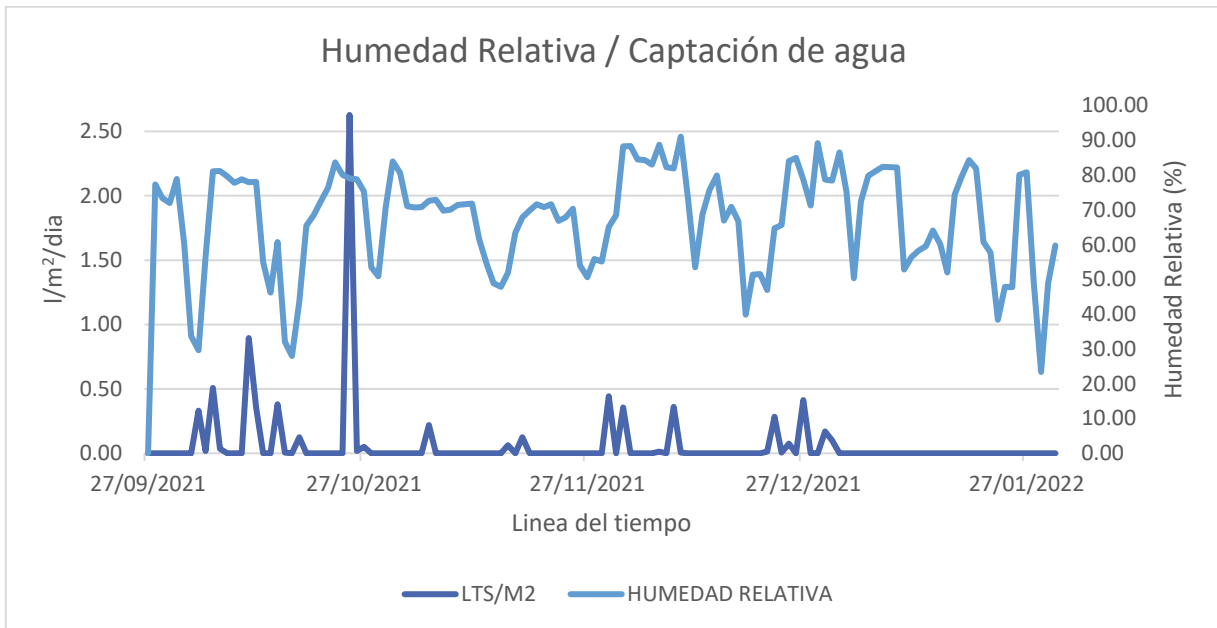


En la Figura 55, que corresponde al sitio Pedregal Playitas se puede observar la incidencia de la mayor humedad relativa en conjunto con la disminución gradual de la temperatura dió como resultado los mayores índices de captación de agua.

Se puede observar también que el pico de los días en que se pudo dar la captación de agua coincide con los picos entre un punto relativamente bajo de humedad relativa con un aumento repentino en la humedad, tal como sucede en los días posteriores a la condición Santana presente en la región.

Esto nos da una aproximación a la pregunta de investigación en cuanto a las condiciones que permiten potenciar el aprovechamiento de la captación de agua en cuanto a las condiciones climáticas de Ensenada, y esto es las condiciones que anteceden o favorecen la presencia de niebla.

Figura 55. Recolección de agua de neblina en sitio Pedregal Playitas



*Nota:* La imagen inferior corresponde a en l/m<sup>2</sup>, es decir la cantidad de agua colectada por el neblinómetro de 1x1 m ajustada con los instrumentos calibrados.

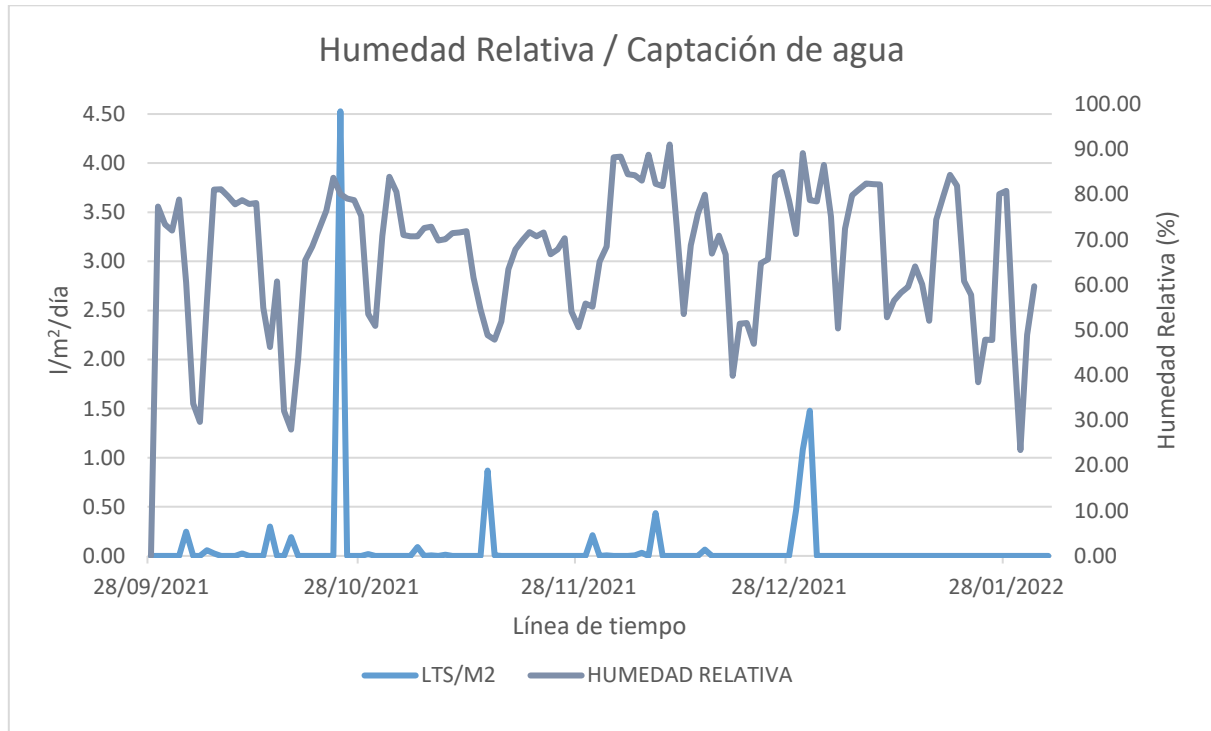
Se puede destacar como fechas de mayor presencia de neblina el día 25 de octubre de 2021, en donde en ambos sitios de experimentación se presentó la mayor cantidad de agua recolectada. En el sitio Pedregal Playitas se recolectaron aproximadamente 100 mm de agua, equivalente a 2.5 l/ m<sup>2</sup> de agua, mientras que en el sitio UABC se logró una captación de cerca de 180 mm de agua, equivalente a 4.5 l/ m<sup>2</sup>.

A continuación, en la Figura 56, se aprecia la gráfica comparativa entre el agua captada y las condiciones de humedad relativa del sitio, y se puede apreciar, que en concordancia con el sitio Pedregal Playitas, los momentos de captación de agua de niebla son antecedidos por una sima de baja humedad y un aumento repentino de este índice en un lapso de tiempo muy corto.

En cuanto al sitio UABC, este pudo captar una cantidad un poco mayor de agua, y esto a pesar de su baja altitud respecto al nivel del mar, sin embargo, se vio favorecido el sitio por su proximidad prácticamente junto al océano, estando distante de la línea de la costa apenas por unos 25 metros. Con este hallazgo se puede

observar que la distancia de la costa es uno de los factores que más favorecerían la ubicación de los dispositivos atrapanieblas.

Figura 56. *Recolección de agua pluvial en sitio UABC*



*Nota:* La imagen inferior corresponde a en l/m<sup>2</sup>, es decir la cantidad de agua colectada por el neblinómetro de 1x1 m ajustada con los instrumentos calibrados.

Como se puede observar, la recolección de agua de la humedad ambiental en los dos sitios propuestos varía de manera relativa, y la recolección de agua se dio en fechas puntuales del periodo de desarrollo del experimento.

Tabla 17. *Datos acumulados en sitios de experimentación*

Locación	Total de días	Captación total	Promedio por día	Dispersión (max/min)
Pedregal Playitas	126	8 l	0.06 l/m <sup>2</sup> /día	(2.70 / 0.00)
UABC	126	10.5	0.08 l/m <sup>2</sup> /día	(4.50 / 0.00)
<b>Promedio</b>	<b>126</b>	<b>9.25 l</b>	<b>0.07 l/m<sup>2</sup>/día</b>	<b>(3.60 / 0.00)</b>

*Origen:* Datos recolectados durante el periodo de investigación (27 de septiembre al 01 de febrero)

En una extrapolación de datos con base en el promedio diario de agua captada en un metro cuadrado de atrapanieblas, se hace el cálculo para poder lograr la captación de al menos 1 metro cúbico de agua (1000 litros) en un mes:

$0.07 \text{ l/m}^2 \times 30.48 \text{ días} = 2.13 \text{ l} \times \text{mes}$ .  $1000 / 2.13 = 468.69 \text{ m}^2$  de atrapanieblas requeridos para captar hasta 1000 litros en un mes.

Esto nos indica que, aunque la ciudad de Ensenada reúne varias de las características favorables para la recolección de niebla, los días en los que se pudo captar efectivamente el agua de niebla, son pocos en comparación con la línea del tiempo del experimento, posiblemente al verse afectado por la baja altitud, y no tener acceso a las nieblas bajas formadas a alturas de más de 300 msnm.

En la siguiente Tabla 18 se observa la caracterización climática del día con mayor recolección de agua de niebla en los dos sitios (25 de octubre), observándose las variables climáticas y su comportamiento a lo largo de ese día.

Tabla 18. *Caracterización climática del 25 de octubre (mayor captación de agua de niebla) sitio Pedregal Playitas*

Hora	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)	Captación de agua (l/m <sup>2</sup> )
00:00:00	15.33	89	0.00	
01:00:00	15.72	87	0.00	
02:00:00	16.00	84	3.22	
03:00:00	16.06	83	0.00	
04:00:00	16.06	83	6.44	
05:00:00	16.06	82	11.27	
06:00:00	15.67	82	9.66	
07:00:00	15.28	84	4.83	
08:00:00	16.83	77	6.44	
09:00:00	17.72	76	3.22	

10:00:00	18.22	72	1.61	
11:00:00	19.11	67	3.22	
12:00:00	19.78	64	9.66	
13:00:00	21.00	60	9.66	
14:00:00	19.33	67	6.44	
15:00:00	19.06	70	6.44	
16:00:00	18.89	73	4.83	
17:00:00	18.33	77	4.83	
18:00:00	16.89	88	4.83	
19:00:00	16.56	92	4.83	
20:00:00	16.12	85	4.32	
21:00:00	15.56	90	4.21	
22:00:00	14.28	79	6.44	
23:00:00	14.00	81	6.44	
<b>Total</b>	<b>17.00</b>	<b>78.83</b>	<b>5.12</b>	<b>2.70</b>

*Nota:* La medición del pluviómetro para la recolección del agua del neblinómetro reporta datos acumulados diarios, más no con exactitud de hora-minuto.

Se puede observar a partir de estos datos, la conjunción de las diferentes variables climáticas necesarias para que se pueda lograr tanto el fenómeno de nieblas bajas, como la recolección de agua a partir de este fenómeno. En este caso a partir de las 17:00 horas se observa tanto una baja de temperatura como el aumento de la humedad relativa, la cual en conjunto con una velocidad media del viento ayudó a la captación de agua.

En el caso de la siguiente Tabla 19, se recopilan los datos del mismo día de mayor captación de agua de neblina, esta vez en el sitio de estudio de UABC. Al igual que en la tabla de Playitas los datos climáticos están recopilados por hora, y la captación de agua se dio una sola lectura por el día.

Tabla 19. Caracterización climática del 25 de octubre (mayor captación de agua de niebla) sitio UABC

Hora	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)	Captación de agua (l/m <sup>2</sup> )
00:00:00	15.7	85	0.64	
01:00:00	16.2	83	1.44	
02:00:00	16.3	83	0.64	
03:00:00	16.4	82	0.00	
04:00:00	16.3	81	1.44	
05:00:00	16.3	81	2.08	
06:00:00	15.8	81	6.4	
07:00:00	15.6	82	2.08	
08:00:00	16.7	78	2.08	
09:00:00	17.8	75	1.44	
10:00:00	17.7	75	1.44	
11:00:00	19.00	69	1.44	
12:00:00	19.6	67	2.08	
13:00:00	20.6	63	2.88	
14:00:00	19.1	71	4.32	
15:00:00	18.7	76	2.08	
16:00:00	18.7	75	2.08	
17:00:00	18.0	82	2.88	
18:00:00	16.9	87	2.08	
19:00:00	16.6	90	2.88	
20:00:00	14.7	85	2.44	
21:00:00	14.3	83	1.88	
22:00:00	14.2	79	1.44	
23:00:00	14.0	79	2.88	

<b>Total</b>	<b>16.83</b>	<b>78.83</b>	<b>2.13</b>	<b>4.50</b>
--------------	--------------	--------------	-------------	-------------

*Nota:* Debido a la configuración de los equipos de medición (pluviómetro) se pudo registrar la cantidad de agua recolectada durante el día, más no con exactitud de hora-minuto.

En la caracterización del día con mayor captación pluvial visto en la tabla anterior se observan temperaturas relativamente bajas, hasta de 13.5 grados centígrados y con un punto de rocío de 10 grados. La humedad relativa exterior presentó índices de hasta 95% a las 19:30 horas. La velocidad del viento media fue de aproximadamente 6 km/h, alcanzando algunos picos de hasta 11.6 y 19.5 km/h.

También se destaca en el tratamiento de los datos, que los días en que se presentó lluvia, en algunos días de diciembre, se restó el agua captada de la lluvia de la efectivamente captada por el neblinómetro, al tener un pluviómetro en la estación climática, la cual fungió como elemento de control.

Los días sin presencia de lluvia, simplemente se presentaron los datos de recolección colectados sin necesidad de ajustar debido a la influencia de otros fenómenos, por lo que en este apartado de resultados se presentan los datos finales.

#### **5.4. Factores climáticos**

Como se propuso en la metodología, se llevó a cabo el monitoreo de las variables climáticas en las proximidades de ambos sitios de experimentación, con el fin de recopilar los datos e investigar las variables más favorables para el fenómeno de la neblina presente en este estudio.

En el sitio de experimentación de UABC se contó con datos de temperatura, humedad relativa y punto de rocío, así como temperatura media del Océano a nivel superficie. (ver anexo A). Con esto en mente es posible poder hacer una estimación del volumen que podría ser colectado a través del año, mediante una proyección de las características climáticas observadas durante el experimento y aplicándose a las normales observadas durante un periodo más regular de diez años.

Por medio de la lectura de las temperaturas superficiales del océano, datos proporcionados por el Instituto de oceanografía de la UABC, en donde podemos observar las temperaturas que influyen en la formación de la neblina por advección que causa el encuentro del viento cálido proveniente de la masa continental con el cuerpo de agua del océano, a una temperatura menor.

En la Tabla 20 se puede observar la bitácora de registros de agua colectada por los dos experimentos, en donde están las fechas puntuales en donde se pudo constatar tanto el volumen registrado por los pluviómetros de báscula oscilante como el agua almacenada en los dispositivos de recolección.

Tabla 20. *Días de presencia de neblina y captación durante el periodo estudiado sitio UABC*

FECHA	MM	I/M <sup>2</sup>
03/10/2021	9.90	0.25
06/10/2021	2.30	0.06
07/10/2021	1.02	0.03
11/10/2021	1.01	0.03
15/10/2021	11.93	0.30
18/10/2021	7.62	0.19
25/10/2021	181.10	4.53
29/10/2021	0.76	0.02
05/11/2021	3.55	0.09
07/11/2021	0.26	0.01
09/11/2021	0.50	0.01
15/11/2021	34.79	0.87
16/11/2021	0.25	0.01
30/11/2021	8.38	0.21
02/12/2021	0.25	0.01
06/12/2021	0.25	0.01
07/12/2021	1.27	0.03
09/12/2021	17.48	0.44
16/12/2021	2.54	0.06
29/12/2021	18.54	0.46

30/12/2021	43.18	1.08
31/12/2021	59.18	1.48
	<b>406.06</b>	<b>10.15</b>

En la tabla anterior se enumeran los días en que el experimento montado en la ubicación UABC logró captar agua de la humedad ambiente. Como se observa, se tuvieron distintos índices de captación durante los meses de octubre, noviembre y diciembre.

No obstante que el experimento fue realizado desde el 27 de septiembre y concluido el 1 de febrero, durante los meses de septiembre 2021 y enero 2022 no se logró captar agua, debido a las condiciones climáticas presentes en el momento.

Durante los meses de septiembre de 2021 y enero 2022, las condiciones climáticas se caracterizaron por la nula presencia de neblina y una radiación mayor que el promedio, con una visibilidad alta, favorecida por la baja presencia tanto de nubes como de neblina en el ambiente. En la tabla 21 se observa la bitácora de los días de presencia de neblina, esta vez en el sitio Pedregal Playitas.

Tabla 21. *Días de presencia de neblina y captación durante el periodo estudiado sitio Pedregal Playitas*

FECHA	MM	I/M <sup>2</sup>
04/10/2021	13.20	0.33
05/10/2021	0.70	0.02
06/10/2021	20.30	0.51
07/10/2021	1.40	0.04
11/10/2021	35.81	0.90
12/10/2021	14.20	0.36
15/10/2021	15.20	0.38
16/10/2021	0.20	0.01
18/10/2021	5.00	0.13
25/10/2021	105.10	2.63
26/10/2021	0.70	0.02

27/10/2021	2.00	0.05
05/11/2021	8.80	0.22
16/11/2021	2.50	0.06
18/11/2021	5.00	0.13
30/11/2021	17.70	0.44
02/12/2021	14.20	0.36
07/12/2021	0.50	0.01
09/12/2021	14.40	0.36
10/12/2021	0.20	0.01
22/12/2021	0.50	0.01
23/12/2021	11.40	0.29
24/12/2021	0.20	0.01
25/12/2021	3.00	0.08
27/12/2021	16.50	0.41
30/12/2021	6.80	0.17
31/12/2021	4.00	0.10
	<b>319.51</b>	<b>7.99</b>

Como se puede observar en la tabla anterior, en el mes de octubre de 2021 se presentaron hasta 12 días de captación de agua, desde un rango mínimo de 0.20 mm de agua hasta un máximo absoluto de 105.10 mm. Siendo el día 25 de octubre el día que se captó mayor cantidad de agua durante el desarrollo del experimento.

En el mes de noviembre de 2021 se presentaron hasta cuatro días con presencia de neblina en el ambiente, con valores fluctuando entre 17.5 y 3 mm lo cual fue una baja con respecto al mes anterior; el volumen de agua captada en los dispositivos disminuyó, totalizando en todo el mes hasta 1 lt/m<sup>2</sup>.

En el mes de diciembre de 2021, se registraron hasta 11 días de presencia de neblina y captación de agua, con volúmenes de 16.50 a 0.20 mm, promediando 2.4 mm aproximadamente, con volúmenes medios calibrados, debido a que en ese mismo mes comenzó la presencia de lluvias en la región.

## 5.5. Aplicación en el caso de una vivienda popular

Como parte del objeto de estudio y la pregunta de investigación base de este proyecto, es la correspondencia entre el potencial de captación de agua en la localidad con las necesidades de agua potable en una vivienda prototípica de tipo popular (B1) en Ensenada.

Para tal propósito se tomó el caso de una vivienda unifamiliar de 55 m<sup>2</sup>, con un baño completo, una cocina con un lavadero, así como lavadora y lavadero. Los integrantes de esta vivienda prototipo serían 2 adultos y 2 menores de edad.

En este caso, se realizó el levantamiento de una vivienda prototípica que corresponde a la colonia popular Emiliano Zapata, ubicada en el noroeste de la ciudad. En la Figura 57 se puede observar la planta de conjunto de esta vivienda, la cual se puede observar que a manera de muchas otras viviendas esta desplantada en un lote regular de 8 x 20 m.

Figura 57. Ubicación vivienda colonia popular Emiliano Zapata 55 m<sup>2</sup>



Al frente de la vivienda se ubica la cochera y el acceso principal a la vivienda, la cual tiene un sistema constructivo de block desplantado en una losa de cimentación colada monolíticamente con trabes de cimentación. Es de un solo nivel, y la losa de azotea es construida a base de sistema ligero, con emplastes exteriores a base de mortero cemento-arena.

Figura 58. Vivienda unifamiliar 55 m<sup>2</sup>. Planta de conjunto



Nota: Ejemplo de vivienda popular en Col. Popular Emiliano Zapata, 55 m<sup>2</sup> de construcción, 2 habitaciones, planta de conjunto

## 5.6. Estimaciones y proyecciones de gasto de agua en una vivienda popular

En esta vivienda prototípica se estiman de 3 a 5 m<sup>3</sup> como gasto corriente de agua por mes; esto con base en estimaciones de 70 l\*dia/persona con costumbres de ahorro en el uso de la misma; es decir cerrando la regadera para enjabonarse en el momento de bañarse; no lavar trastes/utensilios o el auto con la llave del agua abierta.

En las normas técnicas complementarias (NTC) del reglamento de construcción de la Ciudad de México, base de los reglamentos de construcción de los diferentes estados del país, se define la dotación de agua potable, y los parámetros con los que han de diseñarse los sistemas hidráulicos.

En este caso, deberán de seleccionarse tomando como base los datos estadísticos que posea la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. En caso de no existir dichos datos podrán tomarse los valores que se presentan en la Tabla 22 a continuación.

Tabla 22. *Periodos de Diseño*

<b>Población de proyecto (habitantes)</b>	<b>Dotación (l/hab/día)</b>
De 2,500 a 15,000	100
De 15,000 a 30,000	125
De 30,000 a 70,000	150
De 70,000 a 150,000	200
Mayor a 150,000	250

Cabe mencionar que estas estimaciones de gasto pueden ser moderadas en lo que respecta a una estandarización o cálculo de gasto de agua respecto a desarrollos de tipo residencial; es decir la normatividad aplica un gasto promedio de proyecto de hasta 250 l por día por habitante para los cálculos de gasto promedio en los proyectos de infraestructura de este tipo de fraccionamientos.

Sin embargo, el cálculo presentado en este trabajo está realizado a partir de estimaciones reales y del suministro real que se ha corroborado en los fraccionamientos y colonias populares de Ensenada en donde el racionamiento del agua es una constante a través del tiempo.

En este caso de estudio se pueden observar los espacios habitacionales, constando de 2 recámaras, un baño, una barra que funge de comedor o desayunador y una sala o espacio compartido de esparcimiento. También en el exterior se tienen

las instalaciones para los electrodomésticos de lavado de ropas, como se observa en la Figura 59.

Figura 59. Planta arquitectónica vivienda unifamiliar 55 m<sup>2</sup>



Nota: Planta arquitectónica de levantamiento de vivienda ubicada en Col. Popular Emiliano Zapata

### 5.7. Contribución al gasto de agua en la vivienda popular

En un máximo de uso de 6 m<sup>3</sup>, es decir 6,000 litros de agua al mes, lo que se podría contribuir al gasto con un atrapanieblas doméstico es la media de captación en un mes de estudio, como lo fue octubre. En el periodo de octubre de 2021 se logró captar hasta 6 litros de agua por una superficie de 1 m<sup>2</sup>; Con esto se tiene un índice de contribución de 0.001 m<sup>3</sup> de agua mensual x m<sup>2</sup> de red atrapanieblas.

Para tener un factor de contribución significativo, es decir del 20% o más del gasto mensual de agua en la casa habitación que estamos estudiando se requeriría

de hasta 200 m<sup>2</sup> de red atrapaniebla, dicho elemento el cual no cuenta con posibilidades de albergar a escala doméstica.

En la Tabla 23 a continuación, se puede observar un cálculo de la contribución que teóricamente puede lograrse mediante los datos del agua recopilada durante la investigación. El cálculo es de acuerdo al gasto ya calculado con anterioridad para una familia prototípica en una vivienda popular del entorno, y la contribución del atrapanieblas es a base de un atrapanieblas de 1 metro cuadrado, tal como el neblinómetro con el que se trabajó durante esta investigación.

Tabla 23. *Contribución al gasto diario de agua en una vivienda popular*

FECHA	l/M <sup>2</sup>	PORCENTAJE GASTO EN
		VIVIENDA PROTOTIPO
03/10/2021	0.25	0.13%
06/10/2021	0.06	0.03%
07/10/2021	0.03	0.02%
11/10/2021	0.03	0.02%
15/10/2021	0.30	0.15%
18/10/2021	0.19	0.10%
25/10/2021	4.53	2.27%
29/10/2021	0.02	0.01%
05/11/2021	0.09	0.05%
07/11/2021	0.01	0.01%
09/11/2021	0.01	0.01%
15/11/2021	0.87	0.44%
16/11/2021	0.01	0.01%
30/11/2021	0.21	0.11%
02/12/2021	0.01	0.01%
06/12/2021	0.01	0.01%
07/12/2021	0.03	0.02%
09/12/2021	0.44	0.22%
16/12/2021	0.06	0.03%
29/12/2021	0.46	0.23%
30/12/2021	1.08	0.54%
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.41</b>	<b>0.21%</b>

En la tabla 23 se puede observar que aún en el caso de la máxima captación para un día se puede llegar a una contribución máxima de hasta 2.27% del gasto diario contemplado para una familia en una vivienda popular. Claro está que calculado en base a un metro cuadrado de superficie atrapaniebla para efectos de poder extrapolar los datos en un momento dado.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación nos da un panorama particular de un periodo específico en el tiempo en donde se llevó a cabo la aplicación de una estrategia práctica con el fin de paliar la situación de estrés hídrico que padece la población de la ciudad de Ensenada, sobre todo en las periferias.

Es posible que, a pesar del esfuerzo dedicado a este trabajo durante el espacio de dos años, la ventana de aplicación del experimento a las condiciones físicas y climáticas de la ciudad resulte en una muestra aún breve para poder definir el potencial de las alternativas de captación de agua ambiental para su viabilidad completa.

En el caso particular del desarrollo del experimento de captación de niebla, se tuvo como una limitación importante el periodo de monitoreo, sin poderse extender a un año de duración.

En la práctica, se llevaron a cabo 4 meses de recolección de datos, que si bien, fueron bastante útiles para definir la efectividad y el funcionamiento de los atrapanieblas en el periodo de niebla / humedad moderada, solo se pueden hacer proyecciones para el periodo de niebla cerrada en este caso.

Con base en los resultados de esta experimentación durante este lapso y en el periodo de niebla moderada señalado, se puede concluir que, por sí sola, la estrategia de captación de niebla aún no puede ser una estrategia viable para aliviar el estrés hídrico a nivel doméstico para los habitantes de la ciudad de Ensenada.

Con base en las observaciones realizadas durante el desarrollo del experimento, se recomienda realizar un complemento a la experimentación que pueda durar al menos un año, en donde se pueda monitorear bajo todas las posibles variantes climáticas de un periodo anual o en caso de ser posible, multianual.

También es prudente observar que aún con el tiempo de monitoreo de un año, los ciclos de cambio climático están afectando de una manera indiscutible las variables climáticas, y fenómenos como el Niño o la Niña dan como resultado variabilidad en la humedad ambiental que afectaría a este fenómeno de neblina estudiado.

Con estas consideraciones en mente, se puede concluir que para tratar de paliar la falta de agua potable en los hogares ensenadenses, se requiere, además de una estrategia de reúso del agua de uso doméstico, así como de captación pluvial; esto solo en el ámbito doméstico.

Para que la cantidad de agua recolectada por atrapanieblas pueda resultar significativa y contribuya efectivamente al gasto de agua doméstico, así como ser definida como una solución al estrés hídrico en Ensenada, se ocuparían captadores de niebla de mayores dimensiones, los cuales no serían prácticos para su montaje en una casa habitación.

Sin embargo, es importante destacar que la viabilidad a nivel unifamiliar si bien puede ser difícil de demostrar, otro tipo de estrategias como el involucrar a la comunidad en el desarrollo, montaje y mantenimiento de dispositivos atrapanieblas podría resultar, sobre todo en el entorno rural, el cual también padece del estrés hídrico a una distinta escala que el entorno urbano.

Las nieblas observadas en el transcurso de esta investigación en Ensenada se dieron muchas veces en altitudes mayores a los asentamientos urbanos de la ciudad; este es otro aspecto que se puede tomar en cuenta para su utilización en áreas rurales con una inversión común entre sociedad-gobierno.

Por lo cual se concluye que otra manera de aprovechar este potencial del agua de la humedad ambiente podría ser por medio de una red de atrapanieblas comunitario, prescindiendo de aplicaciones individuales de esta estrategia de atrapanieblas.

En un lugar con alto potencial de colección de agua de niebla, con elevación orográfica de más de 200 msnm podría perfilarse una red de 100 atrapanieblas tradicionales de 40 m<sup>2</sup> con un potencial de hasta 30,000 m<sup>3</sup>/ año, o un caudal de 0.13 l/ segundo.

Existen sitios potenciales en las cordilleras que rodean la mancha urbana en Ensenada, en sitios como el cerro Miracielo, en la parte noreste de Ensenada, las elevaciones orográficas situadas junto a la carretera escénica entre San Miguel y

Bajamar pueden conjuntar los factores de elevación y cercanía al mar que benefician el potencial de captación de agua.

En estos sitios podría aprovecharse el agua captada para diferentes propósitos, como puede ser agricultura, o para beneficiar asentamientos rurales y que no cuentan con infraestructura de tipo urbano para proveer el agua. También podría ser útil aprovechar los lechos de arroyos de temporada para conducir el agua hacia mantos subterráneos sobreexplotados en la actualidad.

## LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Para un amplio panorama acerca de la cosecha de agua se recomienda que la duración de este tipo de experimentación sea al menos de un año, y preferiblemente más de dos años, intentando cubrir el ciclo de los fenómenos de humedad y sequía característicos conocidos como el Niño y la Niña.

Se puede recomendar, basados en las observaciones de este experimento, que la captación de agua de niebla es posible, pero para paliar una problemática urgente como es el estrés hídrico en Ensenada será necesario implementar un conjunto de estrategias por parte de sociedad y gobierno para tratar de enfrentar este problema.

En este panorama, la estrategia de captación de niebla puede considerarse como una estrategia complementaria, sin embargo, el índice de contribución al gasto de agua no da para ser considerada como una solución completa e integral a un problema de dimensiones mayores y complejidad basta.

Asimismo, es importante que la comunidad científica, a nivel local, estatal y nacional e incluso internacional continúe con la misión más importante que es buscar el desarrollo científico y tecnológico para lograr soluciones eficientes e innovadoras para estos problemas que urgen soluciones.

Hoy en día, junio de 2022, la problemática de la falta de agua en Ensenada ha escalado un peldaño más, y comienzan a surgir brotes de violencia social. La sociedad misma necesita que todos los integrantes demos un paso al frente y contribuyamos en la medida de nuestras posibilidades a esta solución.

## REFERENCIAS

- Ahrens, D (2002): *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate and the Environment*, Brooks Cole.
- Anuario Estadístico Municipal 2018-2019. Ayuntamiento del Municipio de Ensenada
- Barry, R. Chorley, R (1998): *Atmosphere, Weather and Climate*, Londres, Routledge.
- Bohren, C. Albrecht, B. (1998): *Atmospheric Thermodynamics*. Oxford University Press.
- Camilloni, I. y Vera C (2006): *El aire y el agua en nuestro planeta*, Buenos Aires, Argentina EUDEBA.
- Camacho, A. (2016). *Análisis de las estrategias de adaptación a la escasez hídrica de las empresas vitivinícolas del Valle de Guadalupe*, B.C. recuperado de <https://www.colef.mx/posgrado/tesis/20141170/>
- Cereceda, P., Larrain, H., Osses, P., Farías, M., & Egaña, I. (2008). *The spatial and temporal variability of fog and its relation to fog oases in the Atacama Desert, Chile*. *Atmospheric Research*, 87, 312–323. doi:10.1016/j. atmosres.2007.11.012
- Cereceda, P., Osses, P., Larrain, H., Farías, M., Lagos, M., Pinto, R., & Schemenauer, R. S. (2002). *Advective, orographic and radiation fog in the Tarapacá region, Chile*. *Atmospheric Research*, 64, 261–271. doi:10.1016/ S0169-8095(02)00097-2
- Cereceda, Hernández, Leiva, Rivera. (2014). *Agua de Niebla. Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. Chile: La Discusión, S.A.
- CICESE (2018). *Agua en Ensenada: Más abasto, pero persiste la escasez*. <https://centrosconacyt.mx/objeto/agua-en-ensenada/>. Consultado el 1 de marzo de 2021.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (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*, 46(2), 563–580. <https://doi.org/10.18172/cig.4382>
- Givoni B. (1976). *Man, Climate & Architecture*. 2nd Edition, Applied Science Publishers, Ltd., Londres.
- Godinez H, (2013). *Recolección de Agua por Rocío y Niebla* - Tesis UNAM.
- Jarimi, H., Powell, R., & Riffat, S. (2020). *Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting*. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15(2), 253–276. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz072>
- Li, J., Li, W., Han, X., & Wang, L. (2021). *Sandwiched nets for efficient direction-independent fog collection*. *Journal of Colloid and Interface Science*, 581, 545–551. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.07.153>
- Li, T., Liu, F., Zhang, S., Lin, H., Wang, J., & Tang, C. Y. (2018). *Janus Polyvinylidene Fluoride Membrane with Extremely Opposite Wetting Surfaces via One Single-Step Unidirectional Segregation Strategy*. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(29), 24947–24954. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b08278>
- 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, Especialidad en Gestión Ambiental.
- Montecinos, S., Cereceda, P., & Rivera, D. (2018). *Fog collection and its relationship with local meteorological variables in a semiarid zone in Chile*. *Atmosfera*, 31(2), 143–153. <https://doi.org/10.20937/ATM.2018.31.02.03>
- Noguera, Bulmaro (2020.). *¿Qué son las cartas psicométricas?*. Recuperado el 7 de mayo de 2021. <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psicrometricas.html/>
- Panter, J. R., Gizaw, Y., & Kusumaatmaja, H. (2020). *Critical Pressure Asymmetry in the Enclosed Fluid Diode*. *Langmuir*, 36(26), 7463–7473. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c01039>

- 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>
- Sánchez, J. A. (2018). *Atrapanieblas tecnología para el atrapamiento de agua, una experiencia exitosa para las políticas públicas en el distrito de Villa María del Triunfo*, Lima 2018. Universidad César Vallejo, 95.
- Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1991). *Fog-water collection in arid coastal locations*. *Ambio*, 20, 303–308. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/4313850>
- Schemenauer R.S. and Joe P.I., (1989). *The collection efficiency of a massive fog collector*. *Atmos. Res.* 24, 53-69. DOI: 10.1016/0169-8095(89)90036-7
- Schemenauer R.S. and Cereceda P. (1991). *Fog-water collection in arid coastal locations*. *Ambio* 20, 303-308.
- Schemenauer R.S. and Cereceda P., (1994). *A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions*. *J. Appl. Meteorol.* 33, 1313-1322. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033%3C1313:APSFCE%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033%3C1313:APSFCE%3E2.0.CO;2)
- Temperatura. (s.f.). En *Significados.com*. Recuperado el 7 de mayo de 2021, de <https://www.significados.com/temperatura/>
- UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. <https://es.unesco.org/water-security/wwap/wwdr/2019>
- Viento. (s.f.). En *Significados.com*. Recuperado el 9 de mayo de 2021, de <https://www.significados.com/viento/>
- Vera Z., Rubén. (2018). *Tecnologías de oferta para incrementar la disponibilidad de agua en la región de Murcia: Estudio De Viabilidad De Captadores De Nieblas*. Universidad Politécnica de Cartagena, pp 178

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

- Aparicio, Javier. (2003). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editorial Limusa, México
- Armendáriz López, José F. (2017) *El agua como pilar del desarrollo sustentable*. Instituto Tecnológico de Chihuahua IICICDECH Año 25, Núm. 157
- Armendáriz López F., Arvizu Piña V. (2020) *Las certificaciones de edificación sustentable - Universidad Autónoma de Baja California, Universidad Iberoamericana, Ciudad de México-Tijuana CICDECH Año 28, Núm. 171*
- Arreguín Cortés, Felipe I. y Mario Buenfil Rodríguez (1997) *64 recomendaciones para ahorrar agua*. Segunda edición: adaptada por el Ministerio de Desarrollo Económico-Colombia.
- Ayuntamiento del Municipio de Ensenada (2015), *Anuario Estadístico Municipal. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática*.
- Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., Tumminia, G., 2018. *Climate change and the building sector: modelling and energy implications to an office building in southern Europe*.
- Ecoamerica (2007) *Captación de niebla*. www.ecoamerica.cl (Mayo 2007).
- Energy Sustain. Dev. 45, 46–65. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2018.05.001>.
- CONAFOVI (2010) Guía para el uso eficiente el agua en desarrollos habitacionales
- CONAGUA (2016) Atlas del agua en México.
- Eroksuz E, Rahman A (2010) *Rainwater tanks in multi-unit buildings: a case study for three Australian cities*. Resources, Conservation and Recycling Vol 54 (12):1449–52
- Fernández Melchor, Francisco (2016) *Estrés Hídrico en la Región Hidrológica del Norte de Baja California (Caso de Estudio Ensenada) y su Impacto en una Ciudad en Crecimiento*. México
- Fernández, F., González, M., Rincón, J. (2019). *Water stress in temperate dry climate of the Baja California north and use rainwater*. JCEA, E-20190219-1. México
- Fernández Salgado, J. (2008): *Eficiencia Energética En Los Edificios* ISBN: 9788496709713
- Fundación IDEA (2013). *Estrategia Nacional para la Vivienda Sustentable: Componente Ambiental de la Sustentabilidad*.

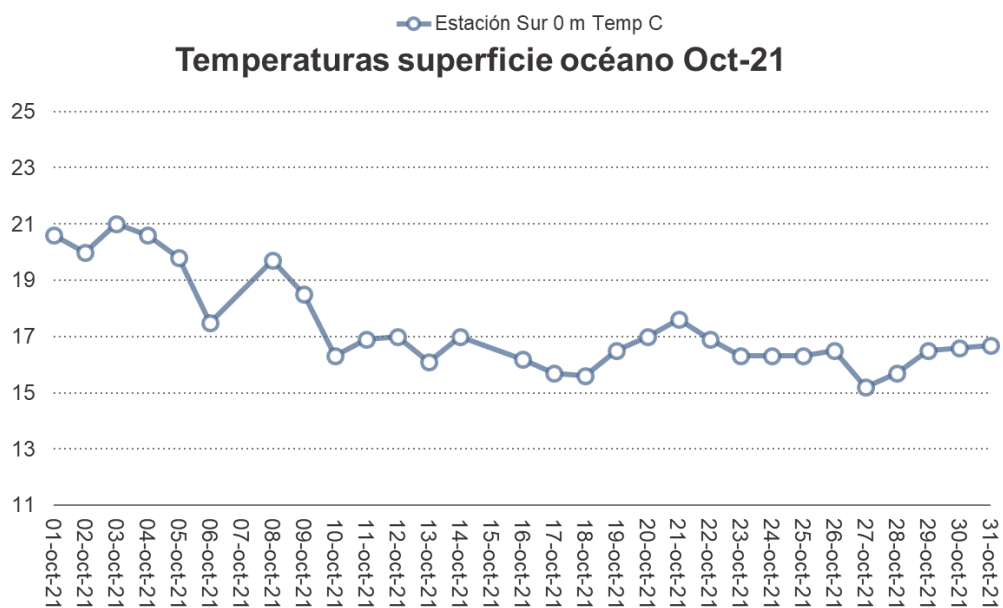
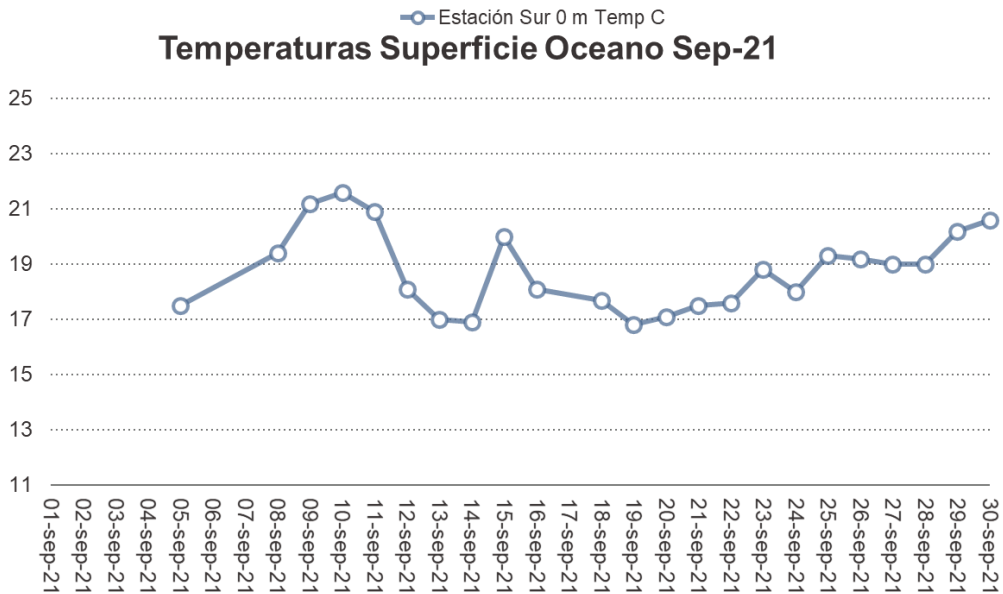
- Ghisi, E., Rupp, R. F., & Triska, Y. (2014). *Comparing indicators to rank strategies to save potable water in buildings*. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.04.001>
- Givoni B, A. 1976. *Man, Climate and Architecture*. Architectural Science Services. Publishers. Ltd. Londres.
- Godoy, Joaquín (2019) *Modelamiento y Caracterización de la Intrusión Salina en un Acuífero Costero*. FECSA, Chile
- Li Z, Boyle F, Reynolds A. (2010) *Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland*. *Desalination* 260(1–3):1–8.
- Mekonnen, M. M., Gerbens-Leenes, P., y Hoekstra, A. Y. (2015). *The consumptive water footprint of electricity and heat: A global assessment*. *Environmental science: water research & technology*, 1, 285-297.
- Monroy, C., Meléndez F.,(2002) *Estrategias para el ahorro y uso racional del agua*, Espacio ITH, México
- Ochoa A. L., Bourguett O. V., (1998) *Reducción integral de pérdidas de agua potable*, IMTA-CNA, México
- Pellicer-Martínez, F. y Martínez-Paz, J. M. (2016) *The Water Footprint as an indicator of environmental sustainability in water use at the river basin level*. *Science of The Total Environment*.
- Peñuela, G., Morato, J.(2009), *Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas*. ISBN: 9789584453075
- Seoanez Vicente, Antonio Madrid, (2004)., *Manual De Tratamiento Y Reciclado De Aguas Residuales*, Rev. Cub. Fís. 19, 68, (2002). ISBN 9788489922839
- Silva, L. C. C. da, Filho, D. O., Silva, I. R., Pinto, A. C. V. e., & Vaz, P. N. (2019). *Water sustainability potential in a university building – Case study*. *Sustainable Cities and Society*, 47(January), 101489. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101489>

SMN-CONAGUA (s.f.). Normales Climatológicas del periodo 1951-2010, Observatorio Sinóptico de Ensenada, Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua, Ensenada, B.C.

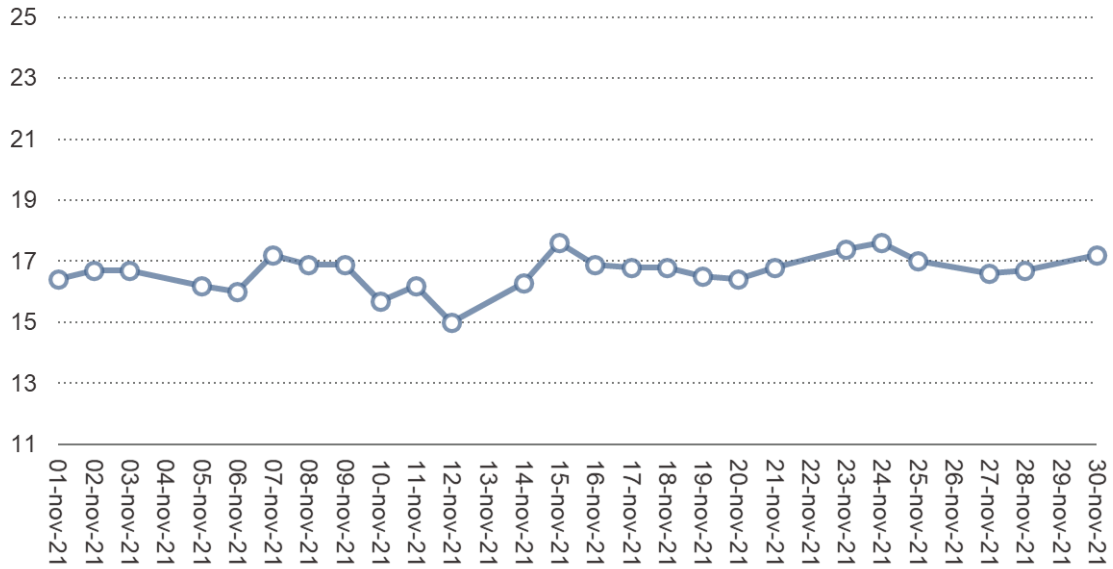
Yurdusev M., Kumanlioglu A. (2008). *Survey-based estimation of domestic water saving potential in the case of Manisa City*. *Water Resour Manage*; 22 (3): 291–305.

## ANEXOS

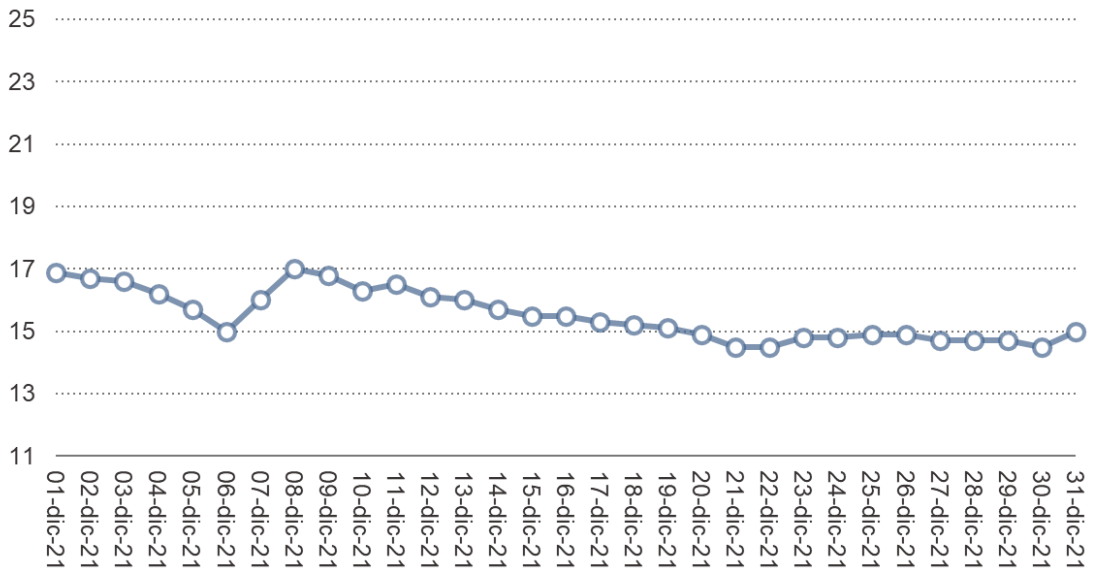
Anexo A. Temperaturas del océano en el periodo de monitoreo (septiembre 2021-enero 2022). Fuente: Instituto de Investigaciones Oceanológicas UABC.



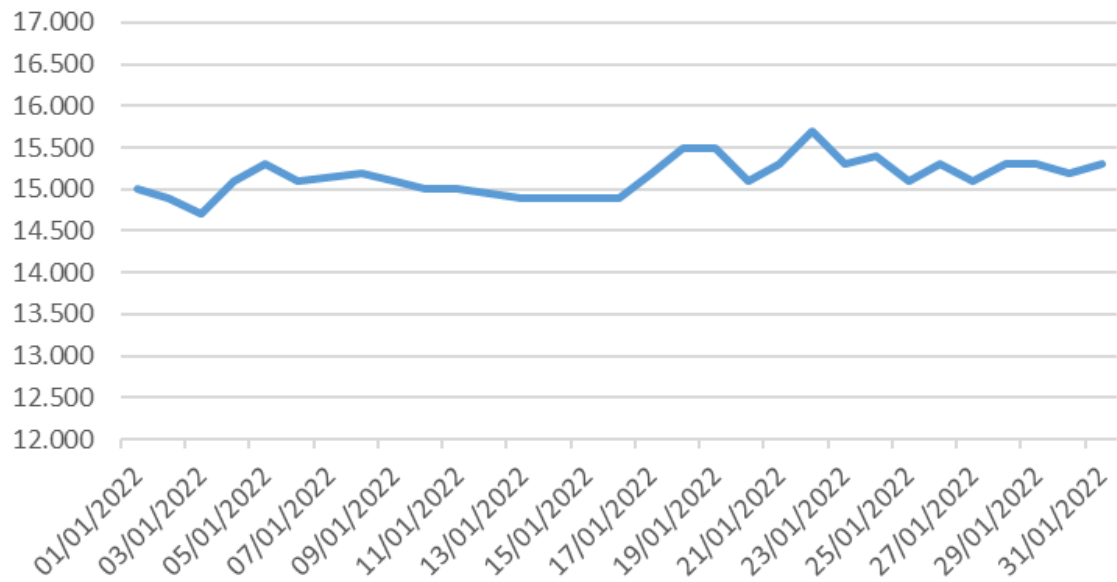
Estación Sur 0 m Temp C  
**Temperaturas Superficie océano Nov-21**



Estación Sur 0 m Temp C  
**Temperaturas Superficie océano Dic 2021**



### Temperaturas superficie océano Ene 2022



# Evaluación de la cosecha de humedad ambiental como una estrategia paliativa al estrés hídrico en Ensenada

---

ORIGINALITY REPORT

---

7%

SIMILARITY INDEX

---

PRIMARY SOURCES

---

1	<a href="https://repositorioinstitucional.uabc.mx">repositorioinstitucional.uabc.mx</a> Internet	802 words — 3%
2	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Internet	404 words — 1%
3	<a href="https://lorenzomatteoliberitutti.blogspot.com">lorenzomatteoliberitutti.blogspot.com</a> Internet	145 words — < 1%
4	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet	78 words — < 1%
5	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet	68 words — < 1%
6	<a href="https://repositorio.upct.es">repositorio.upct.es</a> Internet	68 words — < 1%
7	<a href="https://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Internet	41 words — < 1%
8	<a href="https://eprints.uanl.mx">eprints.uanl.mx</a> Internet	33 words — < 1%
9	<a href="https://www.eumed.net">www.eumed.net</a> Internet	33 words — < 1%

10	<a href="https://tesisymasters.com.co">tesisymasters.com.co</a> Internet	32 words — < 1%
11	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Internet	30 words — < 1%
12	<a href="http://www.afntijuana.info">www.afntijuana.info</a> Internet	23 words — < 1%
13	<a href="http://web.compranet.gob.mx:8002">web.compranet.gob.mx:8002</a> Internet	22 words — < 1%
14	<a href="https://library.wmo.int">library.wmo.int</a> Internet	20 words — < 1%
15	<a href="https://repositorio.ucundinamarca.edu.co">repositorio.ucundinamarca.edu.co</a> Internet	19 words — < 1%
16	<a href="http://gaceta.uabc.mx">gaceta.uabc.mx</a> Internet	18 words — < 1%
17	<a href="http://www.dbnl.org">www.dbnl.org</a> Internet	18 words — < 1%
18	"Aplicaciones e innovación de la ingeniería em ciencia y tecnología", FapUNIFESP (SciELO), 2019 Crossref	17 words — < 1%
19	<a href="http://bibliotecadigital.oducal.com">bibliotecadigital.oducal.com</a> Internet	16 words — < 1%
20	<a href="http://portalciencia.ull.es">portalciencia.ull.es</a> Internet	16 words — < 1%
21	<a href="https://repositorio.ute.edu.ec">repositorio.ute.edu.ec</a> Internet	16 words — < 1%

22	<a href="http://anes.org">anes.org</a> Internet	15 words — < 1%
23	<a href="http://gaceta.cicese.mx">gaceta.cicese.mx</a> Internet	15 words — < 1%
24	<a href="http://www.kufs.ac.jp">www.kufs.ac.jp</a> Internet	15 words — < 1%
25	<a href="http://agua.org.mx">agua.org.mx</a> Internet	14 words — < 1%
26	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Internet	14 words — < 1%
27	<a href="http://www.avance.eeaoc.gob.ar">www.avance.eeaoc.gob.ar</a> Internet	14 words — < 1%
28	<a href="http://journal.espe.edu.ec">journal.espe.edu.ec</a> Internet	13 words — < 1%
29	<a href="http://repositoriodigital.ipn.mx">repositoriodigital.ipn.mx</a> Internet	13 words — < 1%
30	<a href="http://ri.uaq.mx">ri.uaq.mx</a> Internet	13 words — < 1%
31	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Internet	13 words — < 1%
32	Davila Pullas, Lorena Marivel. "Evaluation of Five Lines of Amaranth ( <i>Amaranthus Caudatus</i> ) in Three Locations Within the Imbabura Province.", Brigham Young University, 2020 ProQuest	12 words — < 1%

33	Internet	12 words — < 1%
34	<a href="http://unac.edu.pe">unac.edu.pe</a> Internet	12 words — < 1%
35	<a href="http://opac.fmoues.edu.sv">opac.fmoues.edu.sv</a> Internet	11 words — < 1%
36	<a href="#">RICARDO IGNACIO YUSIM. "Itinerarios Culturales desarrollados a través de la puesta en valor de sus nodos componentes. El caso de la Vía Augusta", Universitat Politecnica de Valencia, 2014</a> Crossref Posted Content	10 words — < 1%
37	<a href="http://bmv.com.mx">bmv.com.mx</a> Internet	10 words — < 1%
38	<a href="http://doczz.es">doczz.es</a> Internet	10 words — < 1%
39	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Internet	10 words — < 1%
40	<a href="http://lanic.utexas.edu">lanic.utexas.edu</a> Internet	10 words — < 1%
41	<a href="http://papers.ssrn.com">papers.ssrn.com</a> Internet	10 words — < 1%
42	<a href="http://repositorio.espam.edu.ec">repositorio.espam.edu.ec</a> Internet	10 words — < 1%
43	<a href="http://repositorio.espe.edu.ec">repositorio.espe.edu.ec</a> Internet	10 words — < 1%
44	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Internet	10 words — < 1%

10 words — < 1%

---

45 [repositorio.upn.edu.pe](http://repositorio.upn.edu.pe)  
Internet

10 words — < 1%

---

46 [todocarta.net](http://todocarta.net)  
Internet

10 words — < 1%

---

47 [www.acis.org.co](http://www.acis.org.co)  
Internet

10 words — < 1%

---

48 [www.arquitectura.com.ar](http://www.arquitectura.com.ar)  
Internet

10 words — < 1%

---

49 [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)  
Internet

10 words — < 1%

---

50 [www.fao.org](http://www.fao.org)  
Internet

10 words — < 1%

---

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE SOURCES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE MATCHES < 10 WORDS