

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA DETERMINAR ZONAS
POTENCIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
ATRAPANIEBLAS EN LOS DISTRITOS DE SAMA LAS YARAS E
INCLÁN, TACNA 2023”**

**PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. CLAUDIO GEAN PIERO COLQUE ORDOÑEZ

TACNA - PERU

2024

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA DETERMINAR ZONAS
POTENCIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
ATRAPANIEBLAS EN LOS DISTRITOS DE SAMA LAS YARAS E
INCLÁN, TACNA 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el 1 de julio de 2024; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES

SECRETARIO : Mtro. MILTON CESAR GORDILLO MOLINA

VOCAL : Mtra. MARÍA ETELVINA DUARTE LIZARZABURO

ASESOR : Mtro. EVER RUDY ANCCO HUANACUNI

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Claudio Gean Piero Colque Ordoñez, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 76203620, así como Ever Rudy Ancco Huanacuni con DNI 75676732; declaramos en calidad de autor y asesor que:

1. Somos los autores de la *tesis* titulada: *Análisis multicriterio para determinar zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas en los Distritos de Sama Las Yaras e Inclán, Tacna 2023*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La *tesis* es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la *tesis*, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 1 de julio del 2024



Claudio Gean Piero Colque Ordoñez

DNI:76203620



Ever Rudy Ancco Huanacuni

DNI: 75676732

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de investigación a Dios por ser mi consuelo y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida, a mis padres por ser mi resguardo, por darme la vida y por enseñarme a actuar siempre como un buen ser humano con otras personas, y a mis hermanos, por ser los que me dieron el ejemplo de lo que significa salir adelante a pesar de que todo parezca ir en nuestra contra.

Claudio Gean Piero Colque Ordoñez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por cuidarme cada día y guiar mis pasos en el sendero de la vida. Agradezco a mi familia y amigos por ser mi refugio en los momentos más complicados que he vivido, y a mis docentes de la Universidad Privada de Tacna, los cuales nos brindaron sus conocimientos e inculcaron en nosotros sus valores morales como profesionales durante todos estos años de estudio.

Y un agradecimiento especial a mi asesor por su apoyo para la culminación de este proyecto de investigación.

Claudio Gean Piero Colque Ordoñez

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Descripción del Problema	3
1.2. Formulación del Problema	5
1.2.1. Problema General.....	5
1.2.2. Problemas Específicos.....	5
1.3. Justificación de la Investigación	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
1.5. Hipótesis.....	7
1.5.1. Hipótesis General	7
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	7
1.6. Tipo de Estudio	7
1.7. Nivel de Investigación	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes de la Investigación	9
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	9
2.1.2. Antecedentes Nacionales	11
2.1.3. Antecedentes Locales.....	13
2.2. Bases Teóricas	14
2.2.1. La Atmosfera.....	14
2.2.2. El Agua en la Atmosfera	14
2.2.3. La Niebla.....	17

2.2.4. El Atrapanieblas.....	19
2.2.5. Altitud y pendiente del terreno para la instalación de atrapanieblas.....	27
2.2.6. Análisis multicriterio	28
2.2.7. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	29
2.2.8. Análisis Multicriterio en el Entorno de los SIG.....	30
2.3. Definición de Términos	32
2.3.1. Atrapaniebla.....	32
2.3.2. Desarrollo sostenible	32
2.3.3. Ecosistema	32
2.3.4. Humedad atmosférica.....	32
2.3.5. Humedad Relativa	32
2.3.6. Orografía.....	33
2.3.7. Precipitación	33
2.3.8. Sequia.....	33
2.3.9. Temperatura ambiente.....	33
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	34
3.1. Diseño de investigación	34
3.2. Acciones y Actividades	34
3.2.1. Revisión Bibliográfica.....	34
3.2.2. Análisis de la Información.	35
3.2.3. Evaluación multicriterio	35
3.3. Materiales y/o Instrumentos	36
3.4. Población y/o Muestra de Estudio.....	37
3.4.1. Población	37
3.4.2. Muestra.....	37
3.5. Operacionalización de Variables.....	38
3.5.1. Variable Dependiente	38
3.5.2. Variables Independientes.....	38
3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis Estadístico	39
3.7. Procesamiento y análisis de datos.....	40
3.7.1. Distribución espacial de la humedad relativa	40
3.7.2. Extensión disponible en la zona de estudio	42
3.7.3. Altitud de terreno suficiente.....	42
3.7.4. Análisis multicriterio	42
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	46
4.1. Distribución espacial de la humedad relativa	46

4.2. Extensión disponible en la zona de estudio	48
4.3. Altitud de terreno suficiente.....	49
4.4. Zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas.....	52
CAPÍTULO V: DISCUSIONES	55
5.1. Distribución espacial de la humedad relativa	55
5.2. Extensión disponible en la zona de estudio	56
5.3. Altitud de terreno suficiente.....	57
5.4. Zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas.....	57
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ANEXOS.....	689

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Balance hídrico de cuenca Sama con licencias como demandas (m ³ /s).....	4
Tabla 2. Cantidad de agua en el planeta tierra	15
Tabla 3. Categorización según la aptitud	366
Tabla 4. Matriz de valores de importancia de zonas agrícolas.....	36
Tabla 5. Operacionalización de variables	399
Tabla 6. Reclasificación de pendientes.....	42
Tabla 7. Categorización del factor Humedad Relativa	433
Tabla 8. Categorización del factor extensión disponible	43
Tabla 9. Categorización del factor altitud	44
Tabla 10. Clasificación del factor pendiente.....	455
Tabla 11. Ponderación de los cuatro criterios utilizados	45
Tabla 12. Criterios para la determinación de zonas óptimas.....	533

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balance hídrico de la cuenca Sama.....	4
Figura 2. Capas de la atmosfera.....	14
Figura 3. Desglose porcentual de toda el agua en la Tierra.....	15
Figura 4. Neblina en zonas montañosas.....	17
Figura 5. Inversión de Subsistencia en altura.....	18
Figura 6. El árbol “garoe”, pintado en el S. XVIII.....	19
Figura 7. Países con presencia de nieblas.....	20
Figura 8. Estructura del atrapanieblas.....	22
Figura 9. Arpa de niebla.....	22
Figura 10. Red de recolección de agua 2D y torre de recolección de agua 3D.....	23
Figura 11. Torre 3D del proyecto benéfico Warka Water.....	233
Figura 12. Sistemas con energía solar para recolección de agua atmosférica.....	25
Figura 13. Sistemas de recolección de agua alimentados con energía externa.....	26
Figura 14. Esquema temporal de la evolución de los SIG.....	29
Figura 15. Modelo ráster y vectorial.....	31
Figura 16. Representación gráfica del álgebra de mapas.....	31
Figura 17. Secuencia lógica para el desarrollo de la presente investigación.....	34
Figura 18. Elaboración de insumos cartográficos.....	355
Figura 19. Clasificación climática de la región de Tacna.....	377
Figura 20. Ubicación geográfica de los distritos Sama Las Yaras e Inclán.....	38
Figura 21. Data grillada satelital promedio de la temperatura de rocío.....	41
Figura 22. Data grillada satelital promedio de la temperatura del aire.....	411
Figura 23. Elevación recomendable para la instalación de atrapanieblas.....	444
Figura 24. Ubicación del área de estudio.....	466
Figura 25. Distribución espacial de la humedad relativa.....	477
Figura 26. Humedad relativa normalizada.....	47
Figura 27. Mapa de uso de suelos en Sama e Inclán.....	48
Figura 28. Uso de suelo normalizado.....	49
Figura 29. Mapa de elevaciones de Sama e Inclán.....	50
Figura 30. Modelo de elevación digital normalizado.....	50
Figura 31. Mapa de pendientes de Sama e Inclán.....	51
Figura 32. Pendiente normalizada.....	52
Figura 33. Análisis multicriterio.....	53

Figura 34. Potencialidad de zonas para construcción de atrapanieblas.....	54
Figura 35. Registros de Estación Meteorológica de Sama Grande - Agosto 2023	566
Figura 36. Centros Poblados de interés de los Distritos de Sama e Inclán	58
Figura 37. Malla Kirigami	59
Figura 38. Mallas textiles 3D.....	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	70
Anexo 2. Mapa Factor 01 – Distribución espacial de la humedad relativa	72
Anexo 3. Mapa Factor 02 – Extensión de áreas disponibles.....	73
Anexo 4. Mapa Factor 03 – Altitud.....	74
Anexo 5. Mapa Factor 04 – Pendiente.....	75
Anexo 6. Mapa análisis multicriterio para la construcción de atrapanieblas.....	76
Anexo 7. Mapa zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas.....	77
Anexo 8. Presupuesto para la construcción de atrapanieblas.....	78
Anexo 9. Análisis de costos unitarios para la construcción de atrapanieblas.....	79
Anexo 10. Listado de insumos para la construcción de atrapanieblas	81

RESUMEN

La escasez de agua es un problema global que viene empeorando a consecuencia del crecimiento poblacional y el cambio climático. En zonas naturalmente áridas, como los distritos de Sama e Inclán, el problema se ve aún más agravado, por lo que es necesario contar con fuentes alternativas de agua más allá de las convencionales, como son las aguas subterráneas y las aguas superficiales. En este escenario, el agua atmosférica viene tomando gran importancia. Entre los dispositivos más usados para su recolección se encuentran los denominados atrapanieblas, los cuales sólo son efectivos en lugares específicos que cumplen determinados criterios. En el presente estudio se evaluaron los parámetros de humedad relativa, uso de suelos, altitud y pendiente, para así aplicar análisis multicriterio que permita identificar las zonas potenciales para la construcción de los sistemas atrapanieblas. Se determinó que el 31 % de la zona de estudio tiene potencial para la construcción de atrapanieblas, pudiendo ser beneficiadas las zonas altas del Proter y el Centro Poblado Tomasiri, en el distrito de Inclán. Mientras que, en el Distrito de Sama, se podrían construir atrapanieblas en las cercanías del Centro Poblado Buena Vista y en la zona noreste del Morro Sama.

Palabras clave: atrapanieblas; zonas potenciales; humedad relativa; agua atmosférica; análisis multicriterio.

ABSTRACT

Water scarcity is a global problem that is increasing as a result of population growth and climate change. In arid areas, such as Sama and Inclán, the problem is even worse, which is why it is necessary to have alternative sources of water beyond conventional ones, such as groundwater and surface water. In this scenario, atmospheric water is becoming more important. Among the most used devices for its collection are the mesh fog collectors, which are only effective in specific places that meet certain criteria. In this study, parameters such as relative humidity, land use, altitude, and slope were evaluated to apply multicriteria analysis that allows the identification of potential areas for the construction of fog harvesting systems. It was concluded that 31 % of the study area has potential for the construction of mesh fog collectors, and the high areas of Proter and the Tomasiri Population Center, in the district of Inclán, could be benefited. Additionally, in the Sama District, mesh fog collectors could be built in the vicinity of the Buena Vista Population Center and the northeastern area of Morro Sama.

Keywords: mesh fog collectors; potential areas; relative humidity; atmospheric water; multicriteria analysis.

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua se está convirtiendo rápidamente en uno de los problemas más críticos del mundo (Jiang et al., 2023; Zhang et al., 2022). Esto debido al crecimiento poblacional y al cambio climático que ocasiona eventos extremos (Zhang et al., 2022).

Si bien el agua abunda en el planeta, aproximadamente el 97 % es agua salina, y el agua dulce es mucho más escasa. Las fuentes más comunes de agua dulce son las aguas subterráneas, lagos y ríos, pero en la atmósfera sigue habiendo una fuente de agua dulce en gran medida sin explotar (Jiang et al., 2023). Aproximadamente el 10 % del agua dulce proviene del agua atmosférica; porcentaje mayor que el correspondiente al agua superficial (Thavalengal et al., 2023a).

El agua atmosférica está presente en dos formas: como vapor en forma de humedad (agua en estado gaseoso) y como líquido suspendido en el aire que existe en forma de niebla (agua en estado líquido). De estas dos, la más usada es el agua atmosférica en forma de niebla (Jiang et al., 2023). Durante décadas, las regiones costeras, principalmente semiáridas, a nivel mundial han documentado el uso de la recolección de niebla (Jiang et al., 2023).

Los dispositivos recolección de niebla se clasifican por fuente de energía: los dispositivos activos utilizan fuentes de energía externas, mientras que los dispositivos pasivos dependen únicamente de las condiciones atmosféricas (Lord et al., 2021). El dispositivo más utilizado es una gran malla de plástico fija sobre un marco rígido y erigida perpendicularmente a los vientos predominantes (Fessehayé et al., 2022a). Estos dispositivos denominados “atrapanieblas”, son pasivos y vienen recibiendo mucha atención recientemente (Thavalengal et al., 2023a). Sin embargo, los dispositivos pasivos se limitan a lugares geográficos con un conjunto de características climáticas y geomorfológicas específicas donde se puede recolectar sistemáticamente y eficientemente la niebla (Lord et al., 2021).

La presente tesis determina las zonas potenciales en las que sería factible la construcción de atrapanieblas en dos distritos costeros de clima árido de la Región Tacna, Sama e Inclán; utilizando un análisis multicriterio en base a diferentes juicios citados en investigaciones previas. Principalmente, criterios de contenido de agua en el ambiente, altitud y uso de suelos.

Los datos a procesar se recolectaron de plataformas de almacenamiento y visualización de imágenes satelitales; entre ellas, Climate Engine, WorldCover y NASA Earthdata Search. Posteriormente, para el procesamiento de datos se utilizó el sistema

de información geográfica de uso libre, QGIS; donde también se elaboraron los mapas para cada criterio considerado. De la misma manera, con la calculadora de ráster de QGIS se normalizaron y ponderaron los criterios, respectivamente. Por último, como resultado de la ponderación, se obtuvo un mapa final que muestra las zonas potenciales del área de estudio donde sería viable la construcción de atrapanieblas.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

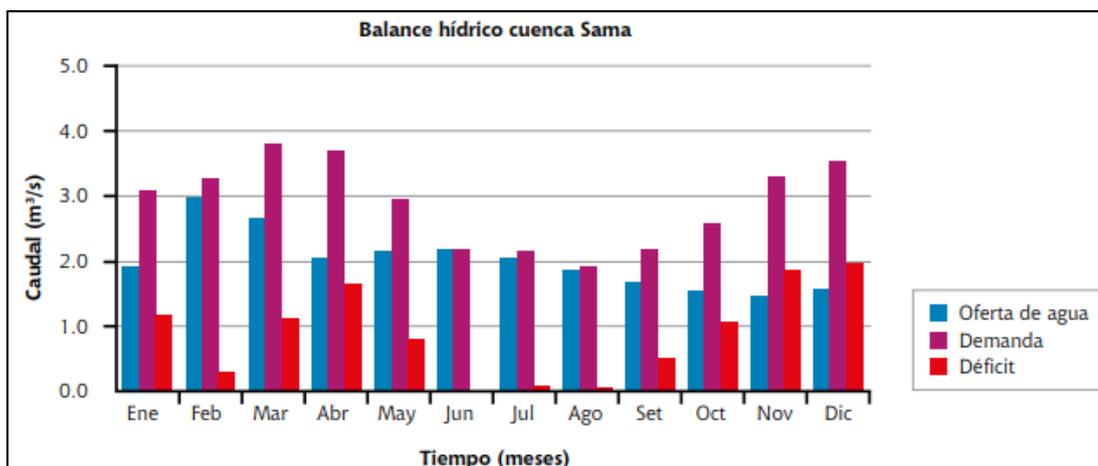
1.1. Descripción del Problema

El agua es un recurso natural renovable pero limitado, el ser humano usa este recurso natural para realizar diferentes actividades, entre las más importantes están el uso doméstico, agrícola, industrial, energético y minero. El agua es abundante en nuestro planeta Tierra ya que cubre en un 70 % el área de la superficie terrestre, sin embargo, el agua dulce, solo representa el 2,8 % del agua del planeta. Es por ello que el uso excesivo del agua por parte de la actividad humana y la distribución irregular de las precipitaciones convierten al agua en un recurso natural limitado (García, 2019).

Según el Instituto de Recursos Mundiales (2019), el Perú se encuentra ubicado en el puesto 66 del ranking de estrés hídrico. Esto quiere decir que nuestro país se encuentra en un riesgo "medio-alto" de sufrir escasez de recursos hídricos. En el Perú las zonas costeras de las regiones La Libertad, Lambayeque, Piura, Tumbes, Ica Arequipa, Moquegua y Tacna son las más afectadas (El Comercio, 2019).

La región de Tacna, ubicada en la cima del desierto de Atacama en el sur de Perú, es una región muy árida con una precipitación anual promedio de menos de 10 mm a lo largo de la costa y de 400 a 900 mm en las tierras altoandinas (>3000 m.s.n.m.). En las últimas décadas, el crecimiento demográfico conjuntamente con la agricultura y la minería industrializada han provocado un importante déficit de agua, estimada en unos 6-8 m³/s (Lazarow et al., 2018), además el déficit del agua se agrava aún más con la mala calidad de las fuentes de origen volcánicas, resultando aguas contaminadas con altas concentraciones de boro, arsénico y azufre (Limache et al., 2021).

Según el Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca Caplina – Locumba elaborado por la(Autoridad Nacional del Agua, 2015), en la cuenca hidrográfica del rio sama (lugar donde se encuentran los distritos de Sama las Yaras e Inclán), la variabilidad climática es significativa, por lo que se tiene un déficit hídrico medio de 0,878 m³/s, equivalentes a aproximadamente 28 hm³/año, como se muestra de la serie medida de caudales en la estación hidrométrica de La Tranca (Figura 1 y Tabla 1).

Figura 1*Balance hídrico de la cuenca Sama*

Nota. Tomada de Autoridad Nacional del Agua, (2015).

Tabla 1*Balance hídrico de cuenca Sama con licencias como demandas (m³/s)*

	Ene.	Geb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic	Tota
Oferta	1.94	3.00	2.68	2.06	2.17	2.19	2.07	1.89	1.68	1.54	1.47	1.56	2.02
Demanda	3.10	3.29	3.79	3.72	2.97	2.17	2.17	1.93	2.17	2.60	3.32	3.54	2.90
Balance hídrico	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-0.88

Nota. Se observa que los meses de junio, julio y agosto presentan balance casi equilibrado en oferta y demanda debido a que coinciden con el periodo invernal, de menor uso por el sector agrario. Tomada de Autoridad Nacional del Agua, (2015).

La recolección de agua atmosférica (AWH, por sus siglas en inglés) surge como una alternativa de solución para abordar la escasez de agua en áreas remotas o regiones áridas como el caso de estudio (Zhou et al., 2020).

La AWH es una fuente alternativa de producción de agua para uso doméstico, cultivos, crianza de animales menores, creación de pulmones ecológicos y turísticos en la zona, etc. (Harte, 2015). Sin embargo, debe usarse de manera responsable ya que la sobreexplotación de la misma podría generar daños ecológicos en la zona del cual se extrae.

A pesar de todas sus ventajas, la construcción de atrapanieblas no es factible en todos los lugares, debiéndose tener en cuenta diversos criterios de selección de locación para que su construcción sea efectiva en cuanto a recolección de agua se refiere (Thavalengal et al., 2023a; B. Wang et al., 2021; Zhang et al., 2022). Uno de los

criterios más importantes para seleccionar la ubicación de los atrapanieblas es la humedad relativa de la zona, la cual se utiliza generalmente para describir cuantitativamente el contenido de vapor de agua (B. Wang et al., 2021). Adicionalmente, se debe considerar la disponibilidad de suelos para su construcción, pues siempre se busca instalar varios de estos dispositivos para que la recolección de agua sea más significativa. Por último, teniendo en cuenta que la formación de niebla está en estrecha relación con factores fisiográficos, también es necesaria la evaluación de éstos para ubicar una zona apropiada de construcción (Aranguiz Quintanilla et al., 2009).

Por todo lo mencionado, el presente estudio tiene como objetivo aplicar diferentes criterios para localizar zonas potenciales de construcción de atrapanieblas, y así asegurar que éstos no sean instalados en zonas de poca factibilidad de recolección de agua. Este estudio se plantea en dos distritos costeros de clima árido, como son Sama e Inclán, donde se hace necesario contar con fuentes alternativas de agua.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuáles son las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán usando un análisis multicriterio, 2023?

1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cuál es la distribución espacial de la humedad relativa, la temperatura ambiente en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023?
- b. ¿Qué zonas cuentan con extensión disponible para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023?
- c. ¿Qué zonas cuentan con la altitud necesaria para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023?

1.3. Justificación de la Investigación

El cambio climático, crecimiento demográfico y la alta escasez de agua a nivel global necesitan alternativas de solución para mantener el recurso hídrico de manera sostenible.

En todo el mundo, se vienen usando distintos métodos para la recolección de agua, tales como la recolección de agua subterránea, la desalinización del agua, la

recolección y almacenamiento de agua de lluvia. Para que la recolección de agua sea exitosa se debe contar con agua líquida disponible, teniendo en cuenta que estos suministros son limitados, la recolección de agua atmosférica se vuelve esencial (Jarimi et al., 2020).

La recolección de agua atmosférica no requiere de la construcción de infraestructura gris para su almacenamiento y distribución a comparación de las fuentes convencionales de agua.

Desde el punto de vista teórico, este estudio será útil para futuras investigaciones de recolección de agua atmosférica en zonas de Tacna con características similares.

Desde el punto de vista práctico, la presente investigación será útil para la adecuada toma de decisiones en cuanto a la ubicación estratégica de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán.

Desde el punto de vista social, ya que en la costa peruana el atrapanieblas se usa principalmente en el sector agrícola por su bajo pH, se incentivaría la creación huertas orgánicas que contribuyan a la seguridad alimentaria en los hogares y ollas comunes (Guevara et al., 2022).

Desde el punto de vista económico, la región de Tacna necesita de herramientas científicas para ayudar a los planificadores en varios niveles de gobierno a lidiar con la escasez de agua, ahorrar el dinero y el tiempo necesario para elegir las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas. El desarrollo de la presente investigación puede ayudar a los tomadores de decisiones, los inversores y otras partes interesadas a mejorar la gestión del agua mediante la elección zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas para la conservación del agua.

Por consiguiente, esta investigación es importante, ya que no hay evidencia de datos pasados registrados que nos permitan conocer si el sistema de atrapanieblas es aplicable en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán. Asimismo, se busca incentivar la aplicación de tecnologías las cuales cumplen con los objetivos del desarrollo sostenible que tiene gran demanda en la actualidad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán usando un análisis multicriterio, 2023.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Analizar la distribución espacial de la humedad relativa, la temperatura ambiente en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023
- b. Identificar las zonas que cuentan con extensión disponible para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023
- c. Identificar las zonas que cuentan con la altitud de terreno suficiente para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

La aplicación de un análisis multicriterio permite determinar las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán en 2023, considerando factores como humedad relativa y temperatura ambiente, extensión disponible y altitud de terreno suficiente; lo que contribuirá al aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos y a la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- a. La distribución espacial de la humedad relativa, la temperatura ambiente en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán en 2023 permite determinar las zonas donde se tienen condiciones meteorológicas adecuadas para la construcción de atrapanieblas
- b. Se identifican zonas con extensión disponible para realizar la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023
- c. Se identifican zonas con altitud de terreno suficiente para realizar la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023

1.6. Tipo de Estudio

La presente investigación es básica o pura ya que, busca incrementar los conocimientos científicos o filosóficos, pero sin contrastarlos con ningún aspecto práctico. De esta manera busca reducir la brecha de conocimiento desde un aporte teórico (Sandi Meza, 2014). Los resultados de impacto podrían darse años después de iniciada la investigación con el uso de este estudio para investigaciones relacionadas con la recolección de agua atmosférica en la zona de estudio.

1.7. Nivel de Investigación

La presente investigación busca describir factores ambientales específicos; detallando cómo son y se manifiestan. Con este estudio se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de los factores ambientales que son sometidos al análisis. Por lo tanto, esta investigación según (Fernandez Collado & Baptista Lucio, 2017), es de índole descriptiva, ya que no busca establecer relaciones entre las variables, sino realizar una descripción del resultado a obtener.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Fessehaye et al., (2022b), en su investigación denominada “The Potential for Scaling Up a Fog Collection System on the Eastern Escarpment of Eritrea”, tuvo como objetivo identificar pueblos que pudieran usar tecnología de recolección de niebla para aliviar sus problemas de suministro de agua; concluye que el potencial para recolectar niebla en la región de estudio está limitado por la estacionalidad de la niebla y la disponibilidad de suministros de agua convencionales, el agua de niebla también tiene potencial para la forestación con árboles bien seleccionados.

B. Wang et al., (2021), en su artículo de revisión denominado “Recent advances in atmosphere water harvesting: Design principle, materials, devices, and applications”, resumen los últimos avances en el desarrollo de nuevos materiales para la recolección de agua mediante el diseño racional de la estructura y la composición química de la superficie. Se presentan los mecanismos y factores de influencia en estos procesos de recolección de agua. Basándose en los materiales desarrollados, presentan los dispositivos y sistemas de recolección de agua, incluidos los sistemas que no consumen energía, los sistemas alimentados por energía solar y otros sistemas que consumen energía externa. También se revisan los sistemas emergentes de recolección de agua para aplicaciones agrícolas. Finalmente, se discuten los problemas existentes, los desafíos y las orientaciones futuras de investigación en el campo de los materiales y dispositivos de recolección de agua, y su alto potencial en el suministro sostenible de agua en regiones con escasez de agua y sistemas de irrigación agrícola.

Gómez Garcia & Quinteros Carabali, (2020), en su investigación denominada “Diseño e implementación de torres atrapanieblas (3d) y ecosistema informático de monitoreo con internet de las cosas y aprendizaje automático”, tuvo como objetivo identificar las zonas potenciales para la ubicación de las torres atrapanieblas 3D mediante el uso de los SIG en el cerro Ilaló, provincia de Pichincha en Ecuador; La metodología que usó fue la implementación de tres torres diferentes, de forma rectangular, circular y piramidal además, concluye que los SIG son indispensables para la realización del modelo estandarizado basado en el análisis multicriterio tomando en

cuenta los parámetros tales como humedad, accesibilidad, velocidad, dirección de viento, altura y pendiente, cobertura vegetal, etc.

Humphrey et al., (2020), en su investigación denominada “The potential for atmospheric water harvesting to accelerate household access to safe water”, tuvo como objetivo actualizar a los científicos globales de Saneamiento, Agua e Higiene sobre el Aprovechamiento de Aguas Atmosféricas (AAA), informar a aquellos involucrados en la innovación de AAA sobre los requisitos operativos de los sistemas de agua en entornos de bajos ingresos, y considerar el potencial del AAA para contribuir a alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6. Concluyeron que la tecnología AAA descentraliza la producción de agua, respondiendo así al desafío del ODS-6 de suministrar agua limpia directamente a cada hogar en el mundo.

Zhou et al., (2020), en su artículo científico denominado “Atmospheric Water Harvesting: A Review of Material and Structural Designs”, ilustran los mecanismos de captura de agua atmosférica, iniciando por el mecanismo de sorción, incluyendo la absorción y adsorción para materiales recolectores de humedad, y resumen los requisitos fundamentales, así como los principios de diseño de los recolectores de humedad. Discuten críticamente el progreso reciente en los diseños de materiales y estructuras de los recolectores de humedad para el Aprovechamiento de Aguas Atmosféricas (AAA). Concluyen con las direcciones prospectivas para los recolectores de humedad de próxima generación para promover el AAA desde la investigación científica hasta la aplicación práctica.

Calderon Villavicencio, (2019), en su tesis que lleva por título “Identificación de zonas más adecuadas mediante la evaluación multicriterio para ubicar sistemas atrapaniebla que colecten agua para riego en la provincia del Azuay”, identificó zonas adecuadas para ubicación de sistemas de atrapanieblas haciendo uso de factores ambientales tales como: zonas agrícolas, nubosidad, déficit hídrico, isoyetas, meses secos y bioclimas, concluye que es indispensable el uso de los SIG para elaborar los insumos cartográficos y la ejecución de la evaluación multicriterio para ubicar las zonas más adecuadas, basados en la utilización de varios factores resumidos en un solo producto final, que faciliten la interpretación de los resultados para la toma de decisiones.

Bautista Olivas et al., (2018) en su investigación denominada “Potencial de captura de agua atmosférica en el noreste de México”, tuvo como objetivo identificar zonas rurales del noroeste de México con problemas de escasez de agua, pero en condiciones que permitan la condensación del agua atmosférica haciendo el análisis de

la información referente a la humedad relativa y temperatura ambiente del lugar. Concluye que 24 zonas rurales con grado de estrés hídrico extremo presentan una capacidad significativa para captar agua atmosférica además recomienda instalar más estaciones meteorológicas automatizadas, con la finalidad de aumentar la cobertura del territorio e incrementar la información climatológica.

Rivera Ayala, (2017), en su investigación denominada “Implementación de sistemas básicos de captación de agua de niebla, caso de estudio las Verapaces”, se planteó como objetivo identificar y evaluar los factores meteorológicos relevantes para el uso de un sistema básico de recolección de agua de niebla para lo cual utilizo como metodología la implementación de los colectores de niebla en las Verapaces; concluye que el sistema de aprovechamiento del agua de niebla depende principalmente de los factores meteorológicos tales como: humedad relativa, punto de rocío y velocidad del viento.

Cereceda et al., (2014), en su libro titulado “Agua de niebla nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas”, desarrolla en seis capítulos los resultados importantes del Proyecto Atrapanieblas con la finalidad de dar a conocer la importancia, potencialidad y factibilidad del uso de agua de niebla en la costa norte de Chile.

Aranguiz Quintanilla et al., (2009), en su investigación titulada “Diseño generativo aplicación en sistemas de atrapanieblas en el norte de Chile”, utiliza el diseño generativo para optimizar los procesos de diseño y distribución de los atrapanieblas mediante la parametrización de las variables que influyen en la conformación y características de la neblina en el norte de Chile. Ellos concluyeron que las variables primarias para el desarrollo de propuestas de proyectos de atrapanieblas son: la topografía, el viento, el agua en la atmósfera y la cantidad de beneficiarios. Como variables secundarias mencionan el uso de suelo circundante y la distancia a la costa, indicando que son variables influyentes, pero no determinantes.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Suiney Cestti, (2020), en su tesis titulada “Siembra y cosecha de agua con atrapanieblas para forestación como mecanismo del cuidado del medio ambiente produciendo materia prima y evitando desastres en el área de influencia en lomas del distrito de Villa María del Triunfo – Lima”, tuvo como objetivo diseñar el sistema de siembra y cosecha de

agua con atrapanieblas, proteger el cuidado del medio ambiente y evitar desastres que afecten la zona. Concluye que se deben tomar en cuenta las condiciones climáticas y topográficas para diseñar un sistema de siembra y cosecha de agua. Así como también conocer las condiciones de humedad relativa del ambiente para elegir el tipo de atrapaniebla a utilizar y con el recurso hídrico obtenido pretende reforestar el área de estudio mediante plantas como la tara la cual, debido su baja demanda de agua y adaptabilidad para las condiciones topográficas y meteorológicas de la zona, resulta la opción más viable.

León et al., (2020), en su investigación denominada “Ubicación de la mayor concentración de nieblas de advección en la Costa Central del Perú entre los años 2000 -2014, usando imágenes satelitales, como potenciales recursos de agua dulce” tiene como objetivo identificar zonas de mayor concentración de nieblas en la Costa Central del Perú por lo que analiza parámetros como la vegetación mediante el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) y la altitud de la zona mediante el Modelo de Elevación Digital (DEM), con ayuda de estos datos se localiza la vegetación de las lomas, posteriormente se realiza un análisis de la correlación entre NDVI y altitud mediante perfiles topográficos que atraviesan las Lomas más importantes de la costa. Concluye que el NDVI aumenta al elevar la altitud y alcanza un valor máximo de NDVI posterior a ello el valor disminuye al continuar aumentando la altitud, cuanto mayor sea el valor de NDVI, mayor será la disponibilidad de agua atmosférica. Se hizo el análisis de seis lomas ubicadas a lo largo de la Costa Central del Perú obteniéndose que a una altura promedio de $644,6 \pm 101,8$ msnm hay mayor desarrollo de vegetación por lo cual se puede decir que también hay mayor concentración de agua atmosférica y por lo tanto es la altura más adecuada para la instalación de atrapanieblas.

Diez Torricelli, (2019), en su tesis titulada “Factores meteorológicos que influyen en la captación volumétrica de agua del Atrapanieblas ubicado en la zona del Puericultorio “Pérez Aranibar”. Magdalena del Mar – Lima – 2017 - 2018” tiene como objetivo determinar si los factores meteorológicos tales como: Velocidad del viento, Nubosidad, Temperatura, Temperatura Superficial del Mar, Presión y Humedad podrían influir en la captación de agua recolectada mediante el uso de atrapanieblas en el Puericultorio “Pérez Aranibar” - Magdalena del Mar – Lima. Concluye que no existe una correlación entre las los factores meteorológicos y el volumen de agua captada lo que significa que los factores meteorológicos antes mencionados no son los únicos que intervienen en la formación de la niebla ya que intervienen más factores climáticos de los evaluados por el SENAMHI.

Madariaga Olivares, (2017), en su tesis titulada “Evaluación del potencial de neblina mediante el sistema de atrapanieblas en las Lomas de Ancón durante el evento del niño, en el distrito de Ancón, provincia de Lima periodo 2015-2016” tiene como objetivo determinar si los parámetros meteorológicos como la temperatura, humedad relativa, altitud, velocidad y dirección de viento, pueden incidir en la formación de agua atmosférica mediante el análisis de regresión múltiple. Concluye que luego de realizar las pruebas de regresión se obtuvo un valor de probabilidad menor a 0,05 entre la variable de temperatura y el volumen de agua capturada, esto nos indica que la temperatura es el parámetro meteorológico que tiene mayor incidencia en la formación de agua atmosférica.

Cieza León, (2019), en su tesis titulada “Volumen de agua aprovechable utilizando malla atrapanieblas en el centro poblado La Palma - Chota” tiene como objetivo determinar el volumen de agua aprovechable de nieblas y neblinas utilizando malla atrapanieblas en el Centro Poblado La Palma – Chota; La metodología que usó fue la implementación de sistemas de atrapanieblas con tres tipos de malla las cuales son: malla metálica, malla mosquitero, malla raschel para la elección de la zona adecuada para su instalación sigue la siguiente secuencia: Observar zonas con presencia de nieblas y neblinas en zonas despejadas, determinar la dirección del viento, medir la humedad relativa, instalar los atrapanieblas en la zona con mayor velocidad del viento y humedad relativa; es importante considerar la dirección de viento debido a que el viento transporta las masas de aire húmedo y ocasiona que haya precipitación de las nieblas y neblinas en contacto con objetos (atrapaniebla). Finalmente, concluye que la malla metálica es la más cara pero más efectiva, seguido por la malla mosquitera y, por último, la malla raschel, que son las más rentables, pero requieren un área de malla más grande para ser efectivas.

2.1.3. Antecedentes Locales

Lopez Nuñez, (2021), en su tesis denominada “Tecnologías de captación de agua de niebla para el desarrollo sostenible en la loma de Tacahuay, Tacna, 2021”, tuvo como objetivo realizar un análisis de la tecnología de atrapanieblas como técnica de recuperación y aprovechamiento sostenible de recursos hídricos en el ecosistema de la Loma de Tacahuay de Tacna. Concluye que la tecnología del atrapanieblas podría usarse en las Lomas de Tacahuay gracias a las condiciones geográficas y climáticas además que el agua captada, puede usarse para la reforestación de los ecosistemas de lomas, actividades agropecuarias, impulso del ecoturismo es amigable con el medio

ambiente ya que no requiere ningún tipo de energía para su funcionamiento y los materiales para su construcción son de bajo costo.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. La Atmosfera

La atmósfera es una capa de aire que rodea al planeta tierra debajo de la cual viven la mayoría de los seres vivos. Es relativamente delgada, tiene unos 100 kilómetros de profundidad, mientras que el diámetro de la Tierra supera los 12,700 kilómetros. Rodea a la Tierra en capas concéntricas de espesor y densidad variables (Figura 2), que en su mayoría consisten en aire seco, agua y diversas partículas (Tejeda Martinez et al., 2018).

Figura 2

Capas de la atmosfera



Nota: Ubicación de las capas de la atmósfera sobre la superficie terrestre. Tomada de Portillo, (2021).

2.2.2. El Agua en la Atmósfera

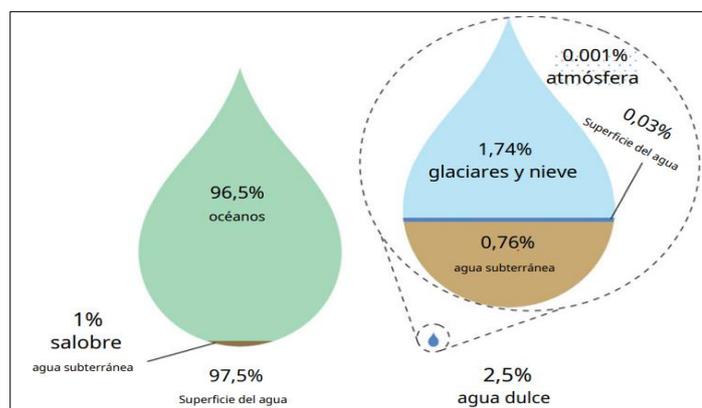
El agua está presente en la Tierra en cantidades casi ilimitadas desde hace millones de años, determina el llamado clima planetario en función de sus distintos estados (líquido, sólido o gaseoso). Las cantidades aproximadas actuales se dan en la Tabla 2. En promedio, la atmósfera contiene solo 3 gramos de agua por kilogramo de aire, esto se debe a que la atmósfera y el océano no están en equilibrio termodinámico, creando el ciclo hidrológico (Tejeda Martinez et al., 2018).

Tabla 2*Cantidad de agua en el planeta tierra*

Estado	Masa (millones de kg)	Volúmen aproximado (millones de km ³)	Superficie cubierta (millones de km ²)
Agua líquida en océanos y cuerpos superficiales	1,348x10 ¹⁵	1348	361
Polares y nieve (media anual y permanente)	2,9x10 ¹³	29	68
Agua líquida subterránea y dispersa en suelos (Incluye humedad)	1,5x10 ¹³	15	No aplica
Átmoesfera (Incluye vapor de agua, cristales de hielo y nubes)	1,3x10 ¹⁰	1,3x10 ⁻²	No aplica
Vapor de agua en la atmósfera	5x10 ⁷	5x10 ⁻⁵	No aplica
Tierra sólida	5,972x10 ¹⁸	1,081x10 ⁶	149
Planeta	6x10 ¹⁸	106	510

Nota. Proporción en las cantidades de agua disponibles en el planeta. Tomado de Tejeda Martínez et al., (2018)

La atmósfera de la Tierra contiene alrededor del 0,001 % del agua global (13 billones de m³). Se encuentra en forma de nubes, niebla, neblina y vapor de agua. Es una cantidad pequeña en términos globales, pero representa alrededor del 3,3 % del agua de los ríos y lagos, que es una fuente importante de agua potable (Figura 3). En los desiertos áridos, muchas plantas y animales sobreviven recolectando agua de la atmósfera (Bhushan, 2020).

Figura 3*Desglose porcentual de toda el agua en la Tierra*

Nota. El agua dulce representó el 2,5 % y el agua superficial en ríos y lagos representó solo el 0,03 % de toda el agua y las aguas subterráneas sólo el 0,76 % de toda el agua. Tomada de Bhushan, (2020).

Se entiende por agua atmosférica, al agua que se encuentra en la atmósfera terrestre, pero que aún no ha tocado la corteza terrestre, es decir, se desplaza bajo la influencia del viento (niebla, neblina, nubes bajas, etc.) o se encuentra en fase de precipitación (llovizna, lluvia, nieve, etc.) que se distinguen las aguas superficiales (escorrentía) y las subterráneas (nacientes, galerías y pozos) que acceden a acuíferos situados bajo la corteza (Optimizer, n.d.).

2.2.2.1. Humedad relativa y temperatura ambiente

De acuerdo a Thavalengal et al. (2023b), para que la atmósfera pueda ser usada como fuente de agua, hay que tener en consideración los siguientes parámetros, los cuales son indicadores de la cantidad de humedad en el aire:

- Humedad relativa (HR)
- Humedad absoluta
- Temperatura de punto de rocío (T_d)

El punto de rocío (T_d) es la temperatura al comienzo de la condensación y en la cual la humedad relativa alcanza el 100 % (Thavalengal et al., 2023b). El contenido de agua en el aire está determinado por la humedad relativa y la temperatura ambiente (T), que se denota como la humedad absoluta (Thavalengal et al., 2023b).

La humedad relativa se define comúnmente como la relación entre la presión de vapor de agua real, e ; y la presión de vapor de saturación, e_s (Lawrence, 2005).

$$HR (\%) = 100 \times \frac{e}{e_s} \quad (1)$$

Para la obtención tanto de la presión de vapor de agua real, como de la presión de vapor de saturación, se utiliza la fórmula de August-Roche-Magnus (Abbott & Tabony, 1985):

$$e_s = 6.1094 \exp\left(\frac{17.625 \times T}{T + 243.04}\right) \quad (2)$$

$$e = 6.1094 \exp\left(\frac{17.625 \times T_d}{T_d + 243.04}\right) \quad (3)$$

Donde:

e_s y e están en hPa

T: Temperatura del aire en °C.

T_d : Temperatura de punto de rocío en °C.

2.2.3. La Niebla

La neblina o niebla es un fenómeno geofísico y geográfico que se produce alrededor de casi todo el mundo. En nuestro país la neblina se encuentra presente a lo largo de la costa y en las montañas de los andes (Figura 4). Es definida como una masa de aire compuesta por pequeñas gotas de agua (de 1 a 40 micras) que no caen por su ligereza, sino que quedan suspendidas a merced de los vientos o de los océanos (Cereceda et al., 2014).

Figura 4

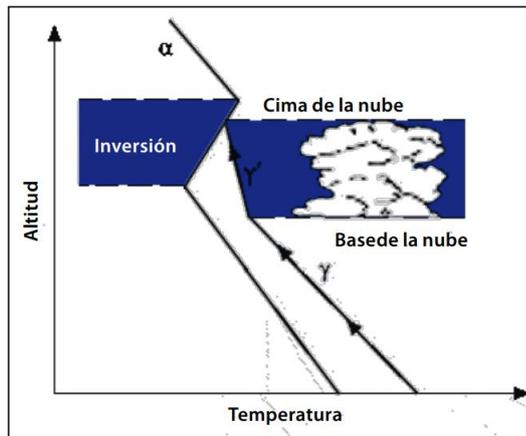
Neblina en zonas montañosas



Nota. Formación de niebla en montañas. Tomada de González, (2021).

2.2.3.1. Formación de la Niebla.

Cereceda et al. (2014) expresa que, una de las principales causas para que se produzca la niebla son los centros de alta presión. En nuestro país frente a las costas de Ecuador se ubica un anticiclón del pacífico suroriental el cual presenta una inversión térmica por subsidencia calentándose por compresión. Esto se debe al calentamiento adiabático lo que provoca el movimiento descendente de aire a los centros de alta presión. La Figura 5 muestra uno de estos casos, con aire inestable en superficie que asciende verticalmente hasta encontrarse con el nivel de inversión; cuando el aire alcanza el nivel de inversión su temperatura se iguala con la del ambiente y detiene su movimiento (Cuadrat & Pita, 1997).

Figura 5*Inversión de Subsistencia en altura*

Nota. Tomada de Cuadrat & Pita, (1997)

2.2.3.2. Tipos de Niebla

a) Nieblas de evaporación

Según Inzunza (2019), señala que se debe al aumento en el contenido de vapor de agua de una corriente de aire frío y seco, o que se forma niebla debido a las diferencias de temperatura, ocurren dos fenómenos relacionados con la evaporación:

- *Nieblas de Vapor*: Se producen cuando la evaporación en la superficie del agua cálida, el vapor asciende y se mezcla con el aire frío, provocando la saturación y condensación para formar este tipo de niebla.
- *Niebla Frontal*: Se produce cuando la lluvia cae sobre aire frío con temperaturas cercanas al punto de rocío, que a su vez puede evaporarse y formar una niebla frontal.

b) Nieblas por enfriamiento

Según Inzunza (2019), indica que se debe a que el aire no es capaz de retener el vapor del agua al momento de reducir su temperatura y se puede clasificar en:

- *Nieblas de Radiación*: Es causado por el enfriamiento de la Tierra y el aire circundante, reduciendo su temperatura al punto de rocío.
- *Niebla de Advección*: Es causado por el movimiento de aire caliente y humedad sobre superficies frías.
- *Niebla Orográfica*: Es causado por el movimiento del aire húmedo sobre un terreno plano con pendiente en alguna montaña, lo que hace que el aire se

expanda y se enfríe adiabáticamente hasta que alcanza el punto de rocío, donde se forma la niebla.

2.2.4. El Atrapanieblas

Es un sistema compuesto por estructuras capaz de atrapar pequeñas gotas de agua microscópica que contiene la niebla. Es usado en regiones áridas como fuente alternativa de suministro de agua para hacer frente a la escasez.

a) Reseña histórica del atrapanieblas

En el siglo XVI, en la isla de El Hierro de las Islas Canarias en España, los cronistas cuentan que existía un árbol llamado "el garoe" que abastecía a la población autóctona con agua recolectada de la niebla (Figura 6). Luego esta técnica todavía se usaba en 1990 en la península arábiga, con dos olivos que llegaron a recolectar 1000 litros de agua diarios (Cereceda et al., 2014).

Figura 6

El árbol "garoe", pintado en el S. XVIII



Nota. El uso de agua de niebla se remonta desde el siglo XVI. Tomada de Cereceda et al., (2014)

A principios del siglo XX, el profesor alemán Marlot midió la cantidad de agua que se podía recolectar en Sudáfrica y publicó uno de los primeros artículos sobre el tema en una revista científica. A mediados del mismo siglo, en las islas de Hawái se fabricaron

instrumentos para medir el agua y usarla en lugares con presencia de niebla (Cereceda et al., 2014).

b) Historia reciente

En los últimos años, se han realizado varios estudios a nivel internacional para estudiar la zona con disponibilidad de nieblas, y un resumen de estos estudios se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Países con presencia de nieblas



Nota. Mapa obtenido en base a estudios realizados sobre zonas con presencia de niebla. Tomada de Cereceda et al., (2014).

La historia reciente también ha marcado el desarrollo de nuevos receptores de niebla con tecnología más actualizada, así como el desarrollo de mallas más resistentes y con mayor eficiencia de captura que las raschels tradicionalmente utilizadas.

c) Proceso para la Recolección de Agua Atmosférica

Un proceso completo para la recolección de agua atmosférica involucra principalmente los siguientes aspectos (B. Wang et al., 2021).

- *Captura de Niebla:* La sorción es un proceso importante para condensar las moléculas de agua en la superficie sólida. El sólido generalmente utiliza la fuerza de Van der Waals para anclar las moléculas de agua que se acercan a la superficie.

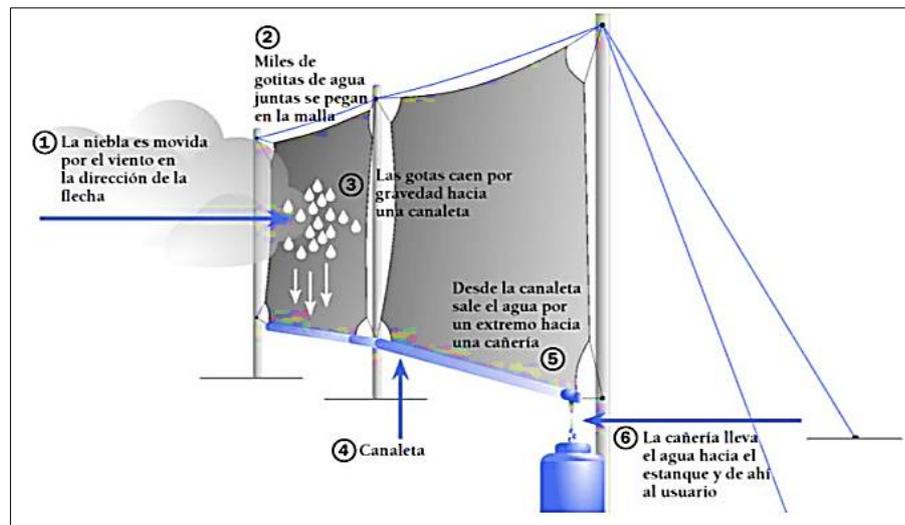
- *Coalescencia de Gotas*: Es el proceso binario en el que dos burbujas de un gas o dos gotas de un líquido se fusionan para formar una sola burbuja o gota de agua.
- *Transporte Direccional*: Permite la recolección continua de agua del aire, la rápida entrega del agua superficial al tanque de recolección y almacenamiento facilita la liberación de áreas superficiales secas para su posterior captura y recolección. La mayor parte del transporte del agua son impulsados por la simple gravedad.
- *Recolección y Almacenamiento*: Es la parte final del proceso de recolección de agua atmosférica y es donde el agua recolectada se almacena para su posterior uso.

2.2.5. Sistemas de Recolección de Agua Atmosférica

Según Bautista Olivas et al., (2013), existen dos sistemas de recolección de agua atmosférica, que se pueden dividir en recolección de agua atmosférica pasiva y activa, según la humedad relativa y la temperatura ambiente del entorno del sitio.

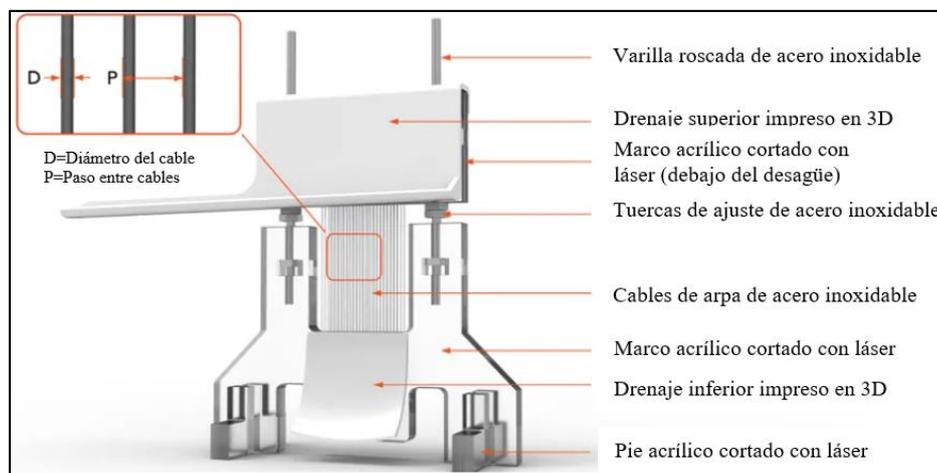
a) Captación Atmosférica Pasiva de Agua

Hace referencia a los sistemas que no utilizan energía para que se produzca la condensación del agua. Esto ocurre en áreas con alta humedad relativa (90 % a 100 %), lo que indica que el ambiente está saturado de agua, por lo que solo se necesita una superficie de contacto a la temperatura adecuada (punto de rocío) para que el agua presente en la atmosfera se condense naturalmente (Bautista Olivas et al., 2013). Desde los primeros intentos de Carlos Espinosa en Chile en 1957, se han construido recolectores de niebla pasivos basados en redes en varios países. Estos dispositivos, son conocidos como atrapanieblas (Figura 8). Sin embargo, las redes de niebla en estos sistemas generalmente están hechas de un material que no ha sido optimizado para la recolección de agua (Bhushan, 2020).

Figura 8*Estructura del atrapanieblas*

Nota. Se muestra la secuencia del proceso de captación de agua atmosférica. Tomada de Aranguiz Quintanilla et al., (2009).

Actualmente, se han desarrollado materiales inspirados en la naturaleza para mejorar la eficiencia de la recolección de agua atmosférica es así que inspirado en la tela de araña, Boreyko et al., (2018) desarrollaron un colector de niebla que consiste en una serie de cables verticales (arpas de niebla) como se muestra en la Figura 9. Las investigaciones muestran que las arpas de niebla poseen una mejora de 3 veces en la tasa de recolección de niebla que las redes de niebla tradicionales.

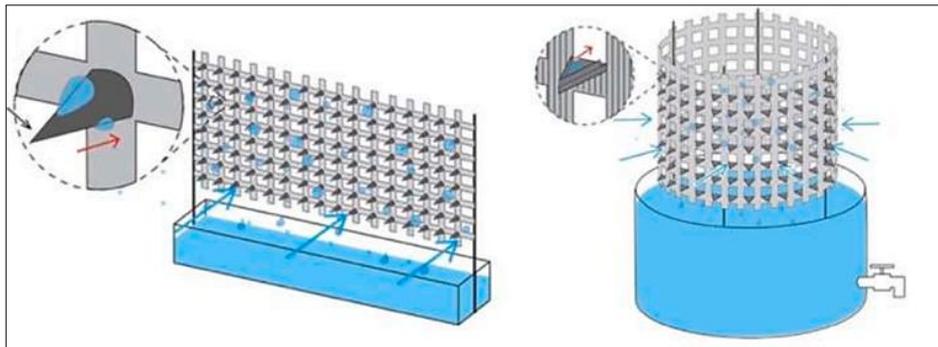
Figura 9*Arpa de niebla*

Nota. Partes de un arpa de niebla. Tomada de B. Wang et al., (2021).

Bhushan, (2020), propuso otra red de recolección de agua 2D y una torre de recolección de agua 3D para lograr una alta capacidad de recolección de agua. La torre superior está cubierta con patrones triangulares o cónicos. Estas pequeñas estructuras facilitan la captura de agua y el transporte direccional hacia el centro de la torre y renuevan la diminuta estructura para la captura continua con energía casi nula (Figura 10).

Figura 10

Red de recolección de agua 2D y torre de recolección de agua 3D



Nota. A la izquierda se muestra una red de recolección de agua 2D inspirada en escarabajos y cactus. En el lado derecho se muestra una torre de captación de agua en 3D inspirada en hierba y cactus cubierta. Tomada de Bhushan, (2020).

En América del Norte, se han desarrollado nuevos diseños para aumentar las tasas de recolección de agua, como la torre 3D del proyecto benéfico Warka Water Figura 11. Las redes de estos dispositivos suelen estar hechas de materiales y estructuras que no se han optimizado en función de la bioinspiración para la recolección de agua.

Figura 11

Torre 3D del proyecto benéfico Warka Water



Nota. WarkaWater lleva el nombre de un árbol de higo de Etiopía. Tomada de ADIT, (2016).

b) Captación Atmosférica Activa de Agua

Hace referencia a los sistemas que utilizan energía para que se produzca la condensación del agua. Esto ocurre en áreas con baja humedad relativa (30 % a 70 %). Esto indica que no hay mucha agua en el ambiente para que se produzca la condensación de forma natural, por lo que es necesario usar dispositivos que usen energía para bajar la temperatura interna y alcanzar el punto de rocío atrayendo las moléculas de agua que se encuentran en la atmósfera y condensarlas. Cuanto menor sea la humedad relativa, mayores serán los costes energéticos de utilizar estos dispositivos para extraer agua del aire.

c) Sistemas Alimentados con Energía Solar

Los dispositivos que funcionan con energía solar generalmente utilizan las variaciones naturales de temperatura y humedad relativa entre el día y la noche para absorber y eliminar el agua de manera reciclable (B. Wang et al., 2021).

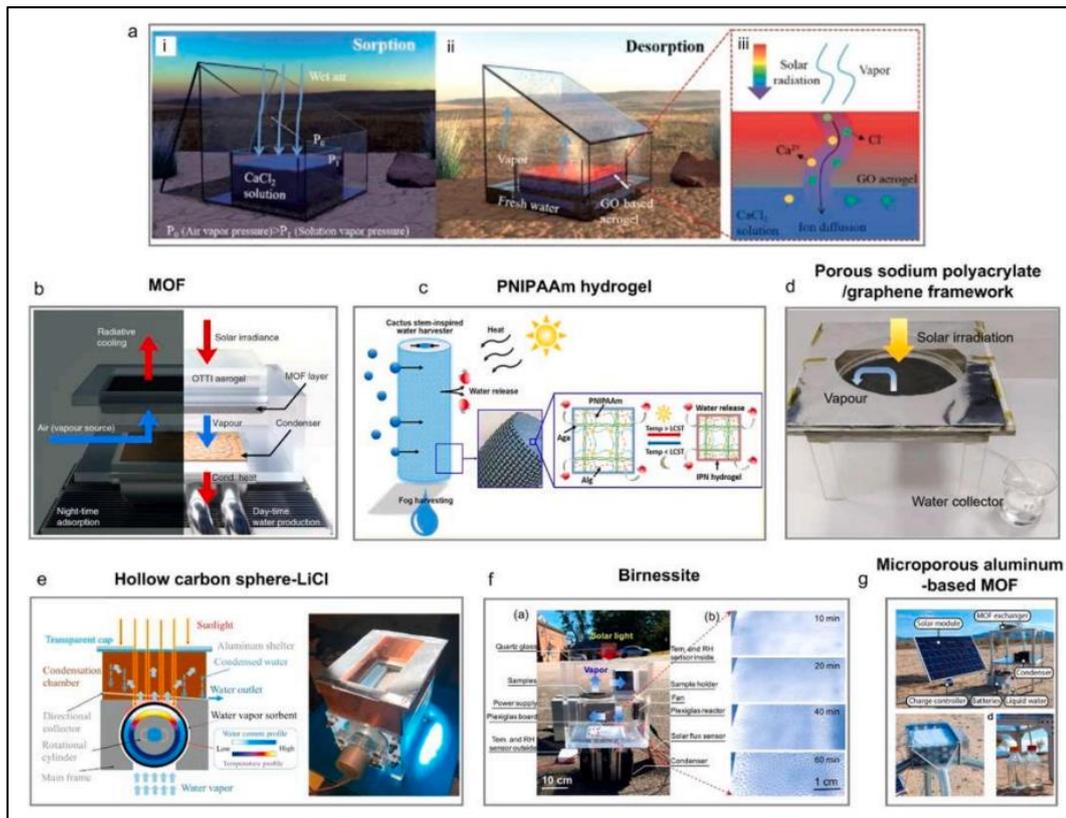
El sistema de sorción-desorción alimentado por energía solar ofrece una tecnología completamente nueva para abordar el problema del costo-beneficio sin asumir la energía eléctrica, en virtud de los materiales adsorbentes.

Estos sistemas utilizan materiales adsorbentes para capturar las moléculas de agua, que luego son desorbidas por la energía solar. El agua desorbida posee un punto de rocío más alto y es más propensa a la condensación que con la técnica basada en enfriamiento.

Los materiales adsorbentes desarrollados incluyen el aerogel resistente a la sal (Figura 12a), MOF-801 (Figura 12b), PNIPAAm hidrogel (Figura 12c), estructura porosa de poliacrilato de sodio/ grafeno (Figura 12d), esfera hueca de carbono-LiCl (Figura 12e), birnesita (Figura 12f), y MOF-303 microporoso a base de aluminio (Figura 12g).

Figura 12

Sistemas con energía solar para recolección de agua atmosférica



Nota. Sistemas que usan materiales absorbentes. Tomada de B. Wang et al., (2021).

d) Sistemas de Consumo de Energía Externos

Aparte de la energía solar, se proponen otros tipos de energía para accionar el proceso de captación de agua.

Damak & Varanasi, (2018), aplicaron la fuerza eléctrica como una energía impulsada para facilitar y promover la recolección activa de niebla en el aire. A diferencia de las mallas de recolección de niebla convencionales que se basan en la colisión inercial y están inherentemente limitadas por la aerodinámica, introdujeron una carga espacial en las gotas de niebla circundantes mediante la aplicación de un emisor de iones y las dirigieron hacia un colector mediante un campo eléctrico. La malla de recolección de niebla alimentada por energía eléctrica proporcionó nuevos conocimientos sobre el diseño de sistemas de recolección de niebla de alto rendimiento.

Santiago et al., (2018) reportan una membrana de óxido de aluminio anódico (AAO) que transporta espontáneamente gotitas desde la superficie de condensación hacia la parte trasera debido a las diferentes humectabilidades en los dos lados Figura 13a. Basado en la membrana AAO, desarrollaron un dispositivo de condensación de

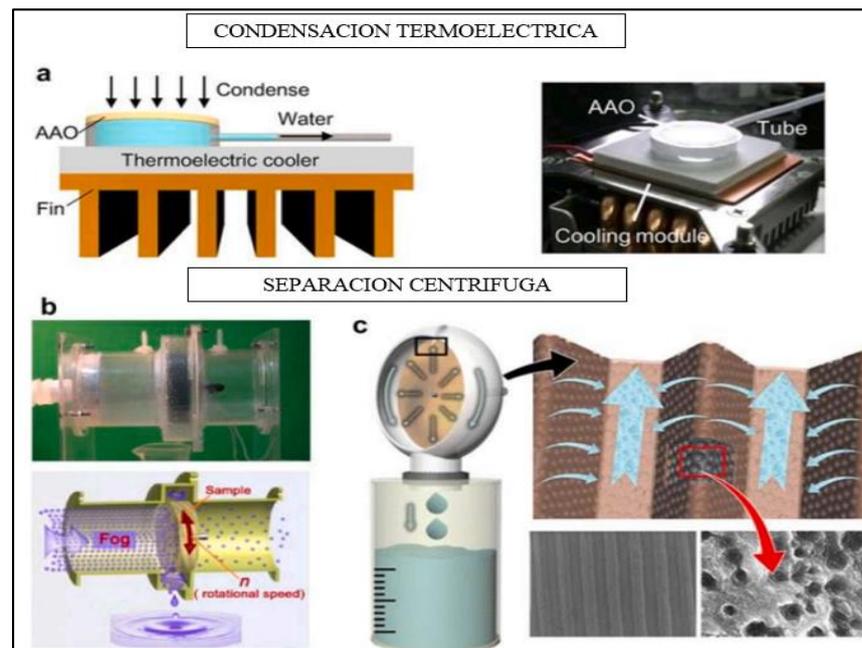
agua que consta de una cámara equipada con una membrana AAO y un enfriador termoeléctrico.

La fuerza centrífuga también se puede ejercer para recolectar fuentes de agua del aire es así que Dai et al., (2016), propuso un tipo de recolección de agua que puede recolectar agua atmosférica mediante la fuerza centrífuga (Figura 13b). El dispositivo está compuesto por un tubo cilíndrico con extremos abiertos los materiales del núcleo hecho de espuma de cobre nanoestructurada, se coloca y se fija en el centro de la tubería.

Otro ejemplo diseñado por Y. Wang et al., (2019) tiene como objetivo recolectar la energía del viento y transformarla mediante la fuerza centrífuga para facilitar el transporte direccional de las gotas de agua condensada en la superficie hacia el anillo exterior (Figura 13c). Además, el molino de viento es capaz de detectar la dirección del flujo del viento y ajustar su dirección de orientación en tiempo real para aprovechar al máximo la energía eólica.

Figura 13

Sistemas de recolección de agua alimentados con energía externa



Nota. (a) Esquema y fotografía de la plataforma de condensación termoeléctrica. (b) Imagen óptica y esquema que muestra el dispositivo utilizado para la recolección de niebla asistida por fuerza centrífuga. (c) Esquema que muestra el concepto de diseño del molino de viento colector de agua inspirado en la hoja de arroz, el cactus y la planta de jarra. Tomado de B. Wang et al., (2021).

Estos trabajos ofrecen una alternativa para el desarrollo de materiales y dispositivos inteligentes de captación de agua para la aplicación en entornos complejos.

2.2.6. Altitud y pendiente del terreno para la instalación de atrapanieblas

En el norte de Chile se han investigado las variables geográficas que influyen en la colecta de agua de niebla y se han definido tres niveles de análisis: macro, meso y micro escala (Cereceda et al., 2014). Los criterios de altitud y pendiente se encuentra a nivel de micro escala de análisis, dentro de los factores topográficos esenciales para determinar la localización de atrapanieblas. En la actualidad, la geomática se ha convertido en una herramienta crucial en la toma de decisiones considerando estos aspectos.

La niebla costera se forma a diferentes altitudes, ya sea por efectos orográficos o de advección, pero a partir de los 400 metros es donde presenta los mayores niveles de concentración de agua por metro cúbico y es más constante durante las noches del año. Para la instalación de atrapanieblas se requiere que el relieve tenga una altitud superior a los 400 metros y alcance al menos los 800 metros sobre el nivel del mar, de modo que los cerros funcionen como una barrera natural contra la niebla (Aranguiz Quintanilla et al., 2009).

Por otro lado, las pendientes desempeñan un papel crucial como factor determinante en la recolección de agua. En primer lugar, influyen en la dirección de los vientos, los cuales a su vez afectan la llegada de la nubosidad a las áreas montañosas. En segundo lugar, determinan la viabilidad de instalar sistemas de atrapanieblas en las cimas de las montañas. Además, tienen un impacto en la accesibilidad a las áreas con alto potencial de cosecha de agua de niebla, lo que a su vez influye en los costos asociados (Cereceda et al., 2014).

El número de sistemas de atrapanieblas que pueden instalarse en la ladera de una montaña está limitado por las pendientes; pendientes pronunciadas no son adecuadas. Sin embargo, una pendiente de 15 a 30 grados puede ser favorable, ya que permite la instalación de sistemas de atrapanieblas a distancias cortas y en paralelo, sin interferir con los ubicados a alturas más bajas o más altas (Cereceda et al., 2014).

2.2.7. Análisis multicriterio

Es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones debido a que es un método que permite tomar decisiones en base a una serie de criterios comunes, en un solo marco de análisis, aunque estos sean contradictorios (Josefina, 2014).

2.2.7.1. Reseña Histórica

En sus inicios, este método se desarrolló para la ingeniería industrial y la ciencia económica. Entre las décadas de 1960 y 1970 comenzó a experimentar un importante desarrollo hasta convertirse en un instrumento científico. Los principios del análisis multicriterio provienen de:

- La teoría de matrices
- La teoría de grafos
- La teoría de la organización
- La teoría de la medición
- La teoría de la decisión colectiva
- La investigación de operaciones
- La economía (Josefina, 2014).

2.2.7.2. Objetivo

El análisis multicriterio surge para el análisis de fenómenos complejos y que no se repiten, los cuales no pueden ser verificados de manera objetiva en laboratorio. Se utiliza para hacer una evaluación comparativa entre proyectos tiene como objetivo encontrar una solución a un problema a través de la simplificación (Josefina, 2014).

2.2.7.3. Métodos del análisis multicriterio

Existen situaciones en las que la elección de decisiones es limitada se denominan problemas de decisión multicriterio discretos. Algunos de los métodos utilizados en tales situaciones son:

- Ponderación Lineal
- Utilidad multiatributo
- Relaciones de superación
- Proceso Analítico Jerárquico (Josefina, 2014).

2.2.8. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Es un sistema integrador de tecnología informática, personas e información geográfica, y su función principal es adquirir, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (Olaya, 2014).

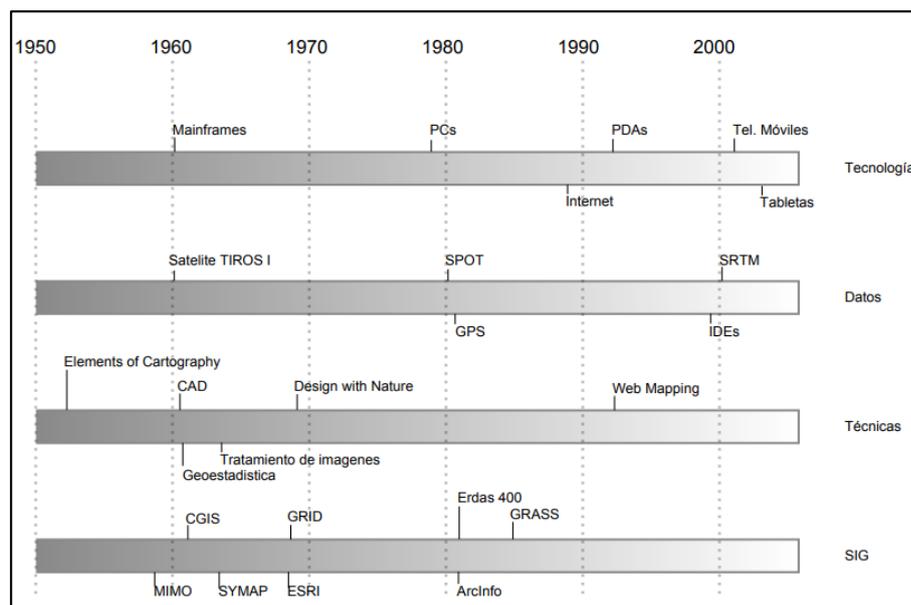
2.2.8.1. Reseña Histórica

Los SIG surgen en la década de los sesenta con el desarrollo de la cartografía el cual parecía predecir las necesidades futuras de un manejo integrado de la información.

Si bien es cierto que en la década de los sesenta es donde surgen los pioneros y las primeras implementaciones del SIG, la década de los setenta es cuando se comienza a investigar y a desarrollarse con más velocidad. Desde entonces, el campo de los SIG ha pasado por sucesivas fases hasta la actualidad Figura 14, desarrollándose muy rápidamente bajo la influencia de varios factores externos (Olaya, 2014).

Figura 14

Esquema temporal de la evolución de los SIG



Nota. Se muestra los procesos de evolución de los SIG. Tomada de Olaya, (2014).

En la actualidad, los SIG son usados para crear capas de mapas digitales, descubrir patrones, tendencias y relaciones sobre cualquier tema, los cuales ayudan a resolver las problemáticas presentes en todo el mundo.

En el futuro, los SIG junto con la evolución digital se convertirán en una plataforma conectada a casi todas las actividades humanas. Los SIG desempeñarán un papel importante frente a los desafíos globales como el crecimiento de la población, la deforestación y la contaminación, dando solución a estos problemas, usando el lenguaje común de los mapas (Aeroterra, S.f.).

2.2.8.2. Componentes de un SIG

Los SIG son un sistema complejo que integra varios elementos interrelacionados. Los SIG están compuestos por varios subsistemas y elementos, cada uno de los cuales es responsable de un conjunto específico de funciones (Olaya, 2014).

Para que un SIG sea una herramienta útil y válida de manera general debe contener tres subsistemas fundamentales:

- a) Subsistema de datos: Es el responsable de las operaciones de entrada y salida de datos y el procesamiento de estos en SIG.
- b) Subsistema de visualización y creación cartográfica: Es el responsable de crear representaciones a partir de los datos (mapas, leyendas, etc.), lo que permite la interacción con ellos.
- c) Subsistema de análisis: Contiene los métodos y los procesos necesarios para realizar el análisis de los datos geográficos.

De acuerdo a Olaya, (2014), existen cuatro componentes en los SIG:

- a) Datos: Son la base fundamental de un SIG el cual provee de información para los demás componentes.
- b) Visualización: Consta de fundamentos y métodos necesarios para la representación de los datos.
- c) Tecnología: Consta del software y hardware necesario para el análisis y representación de los datos.
- d) Factor organizativo: Consta de los elementos relativos a la coordinación de las personas, datos y tecnología o la comunicación entre ellos.

2.2.9. Análisis Multicriterio en el Entorno de los SIG

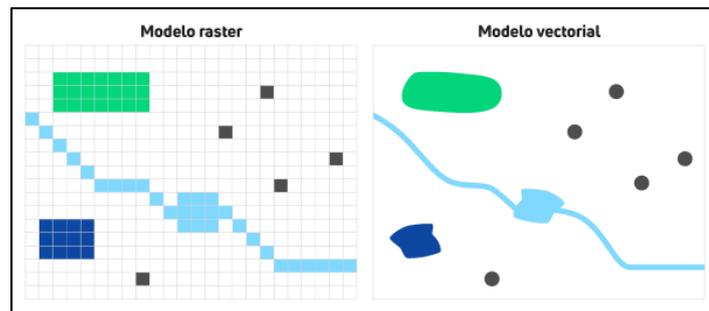
En el contexto de los SIG, el análisis multicriterio es todo proceso analítico que permite identificar diferentes alternativas de solución frente a un problema, utilizando principalmente variables cartográficas como datos iniciales. En los SIG se usarán

variables geoespaciales, que pueden ser de tipo vector (variables discretas) o de tipo ráster (variables continuas) (Gis & Beers, 2020).

Un análisis ráster puede identificar regiones adecuadas en función de sus criterios, pero evaluarlas para crear una clasificación de prioridad en función de los diferentes valores contenidos en sus píxeles (Gis & Beers, 2020).

Figura 15

Modelo ráster y vectorial



Nota. Variables geoespaciales de tipo vector y tipo ráster.
Tomado de Valladares, (2022)

Una vez se tenga todas las variables disponibles, se puede editar y analizar aplicando los criterios de prioridad de análisis, identificar áreas más o menos adecuadas y utilizar todas las capas de las variables para obtener el resultado final como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Representación gráfica del álgebra de mapas



Nota. Suma de capas de variables geoespaciales. Tomada de Matellanes, (2016).

2.2.9.1. Usos del análisis multicriterio

En el GIS el análisis multicriterio se usa para identificar zonas óptimas de acuerdo al problema que se requiera con ayuda de los criterios de partida, entre los usos más comunes que se le dan tenemos los siguientes:

- Elaboración de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo, utilizando criterios de variables de exposición, fragilidad, resiliencia.
- Delimitación de áreas de protección, utilizando criterios de variables de mayor riqueza de especies, menor presión humana o mayor diversidad de ecosistemas
- Sectorización de zonas de mayor erosionabilidad, empleando criterios de análisis basados en datos climáticos, pendientes, vegetación o usos del suelo, etc.

Cada variable es procesada y ajustada de acuerdo a criterios que muestran su participación en el esquema de prioridad analítica. Luego, estos se combinan con los demás para producir resultados cuantitativos de acuerdo con estos criterios, lo que le permite elegir la mejor alternativa territorial, incluso si no siempre es la mejor opción. Aquí el álgebra de mapas Figura 21, es crucial para la combinación de estas variables (Gis & Beers, 2020).

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Atrapaniebla

Son estructuras construidas y realizadas a cierta altura en zonas costeras que retienen partículas de agua en la niebla y por lo tanto podría ser otra fuente de agua (Lopez Nuñez, 2021).

2.3.2. Desarrollo sostenible

Consiste en el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer o afectar las necesidades de las generaciones futuras (Aranguiz Quintanilla et al., 2009).

2.3.3. Ecosistema

Es el conjunto de flora, fauna, microorganismos y seres abióticos que interactúan entre sí (Aranguiz Quintanilla et al., 2009).

2.3.4. Humedad atmosférica

Es el aire que se encuentra en la atmósfera normalmente se considera como una mezcla de dos componentes: aire seco y agua (Kashchenevsky, 2009).

2.3.5. Humedad Relativa

Es el vapor de agua que se encuentra presente en un volumen dado de aire que puede contener la misma cantidad de vapor de agua si está saturado a la misma temperatura (Lopez Nuñez, 2021).

2.3.6. Orografía

Este es un factor decisivo, las montañas son obstáculos naturales que afectan mucho el movimiento del viento. Cuando hay una montaña, el viento golpea la superficie de la montaña y la humedece, mientras que el flujo aumenta o se desvía según la onda de choque o la pendiente de la superficie (Lopez Nuñez, 2021).

2.3.7. Precipitación

Es toda agua meteórica que cae sobre la superficie de la Tierra, ya sea en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.) (Ordoñez Galvez, 2011).

2.3.8. Sequia

Consiste en la ausencia de la humedad atmosférica por temporadas prolongadas, se puede notar en la ausencia de nubes y lluvias durante esas temporadas lo que ocasionaría desequilibrios hidrológicos y ecológicos en el ecosistema (Briones & Mejia, 2017).

2.3.9. Temperatura ambiente

Es el estado del ambiente que se manifiesta en el aire y en los cuerpos en forma de calor (OSMAN, S.f.).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de investigación

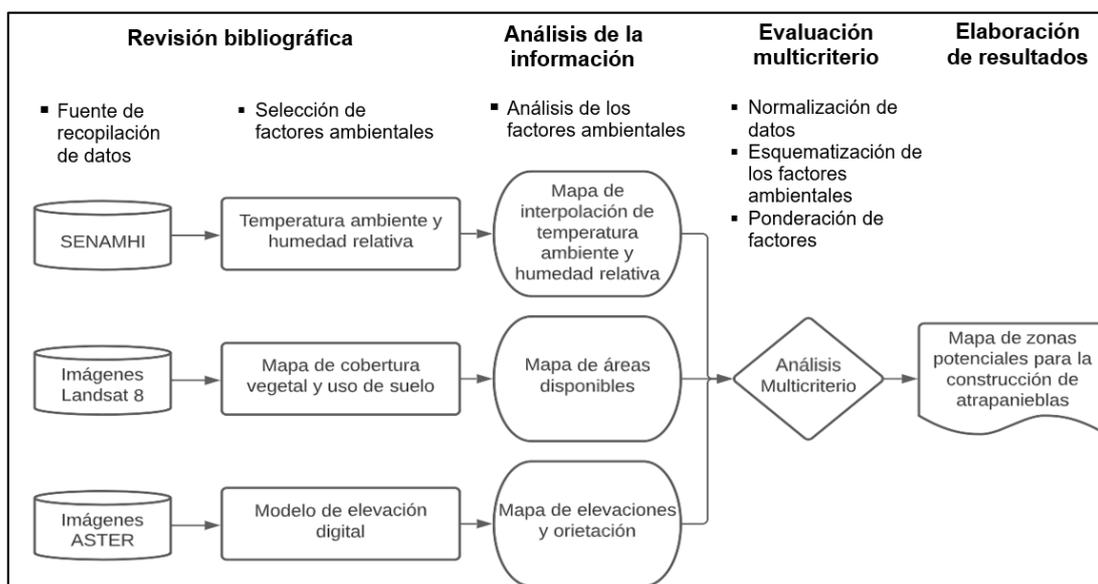
En la presente investigación no se manipulan deliberadamente las variables para ver sus efectos sobre otras variables, sino más bien se observan los fenómenos tal y como se dan en su ambiente natural para posteriormente analizarlos durante un determinado periodo por lo que según Fernandez Collado & Baptista Lucio (2017) estos conceptos están asociados a la investigación no experimental con diseño o enfoque transversal.

3.2. Acciones y Actividades

Para el desarrollo de la Evaluación Multicriterio se establece un diagrama con la secuencia lógica de las etapas como se muestra en la Figura 17.

Figura 17

Secuencia lógica para el desarrollo de la presente investigación



3.2.1. Revisión Bibliográfica

Mediante la revisión bibliográfica se pudo obtener la información base de las distintas instituciones estatales y extranjeras entre las cuales tenemos al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Satélite Landsat 8- EOS Data Analytics, visor EarthData de la NASA.

En base a la revisión de la bibliografía se pudo obtener la información necesaria para la selección de los factores ambientales:

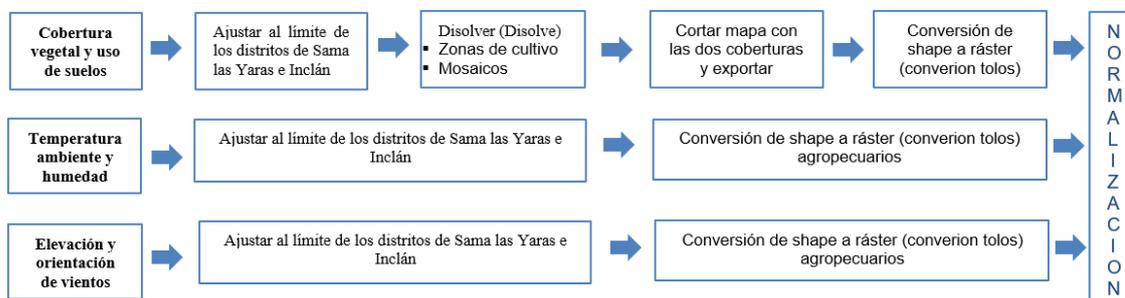
- Cobertura vegetal
- Uso de suelos
- Temperatura ambiente
- Humedad relativa
- Elevación
- Orientación de vientos

3.2.2. Analisis de la Informacion.

Análisis de los factores ambientales: La información cartográfica de los factores ambientales se procesará con ayuda del software Qgis 3.24.1. A continuación en la Figura 18 se describe la secuencia lógica para la elaboración de los insumos cartográficos.

Figura 18

Elaboración de insumos cartográficos



3.2.3. Evaluación multicriterio

La información geográfica a menudo se representa en diferentes escalas y debe convertirse a una escala común utilizando varios procedimientos de conversión, lo que significa que las variables no solo se representan numéricamente, sino que también existen en la misma escala de medición, por lo que es importante algún proceso de normalización (Calderon Villavicencio, 2019).

Para la normalización de datos de factores ambientales, se designan rangos para agrupar los datos en cuartiles (Tabla 3). Esta medida de posición permite dividir a la distribución de los datos en cuatro partes (Calderon Villavicencio, 2019).

Tabla 3*Categorización según la aptitud*

Aptitud	Valor
Zona poco importante	1
Zona importante	2
Zona muy importante	3
Zona prioritaria	4

Nota. Tomada de Calderon Villavicencio, (2019).

Para la cobertura vegetal y uso de suelo, se normalizan los valores en un rango entre 0 y 1 según se muestra en la Tabla 4. El análisis de este factor es diferente ya que permite conocer únicamente la existencia de zonas agrícolas con el valor de 1 y con el valor de 0 se discriminan las zonas que no corresponden al presente estudio.

Tabla 4*Matriz de valores de importancia de zonas agrícolas.*

Zona de estudio	Valoración
	0 Restringido
Cobertura y uso de suelo	1 Zonas agrícolas

Nota. Tomada de Calderon Villavicencio, (2019).

Para la realizar la evaluación multicriterio, los datos se normalizaron con el fin de compararlos y obtener mejores resultados. A los factores ambientales se les asignan sus respectivos pesos, valores y rangos establecidos.

Finalmente, utilizando la herramienta de calculadora ráster en el software Qgis 3.24.1, las capas de factores ambientales se suman y multiplican por los pesos especificados según corresponda. Luego con ese resultado se multiplicará por la capa de la zona agrícola y se obtiene el resultado final en el mapa.

3.3. Materiales y/o Instrumentos

El instrumento de recolección de datos, según Arias Odon, (2012) es el medio o formato donde será recopilado la información obtenida para que pueda ser estudiada y

analizada por el investigador. En la presente investigación la técnica de recopilación de datos es la observación.

Los instrumentos de recolección de datos son los siguientes:

- Plataformas: Climate Engine, WorldCover y Earthdata Search.
- Sistemas de Información Geográfica (QGIS 3.24.1)

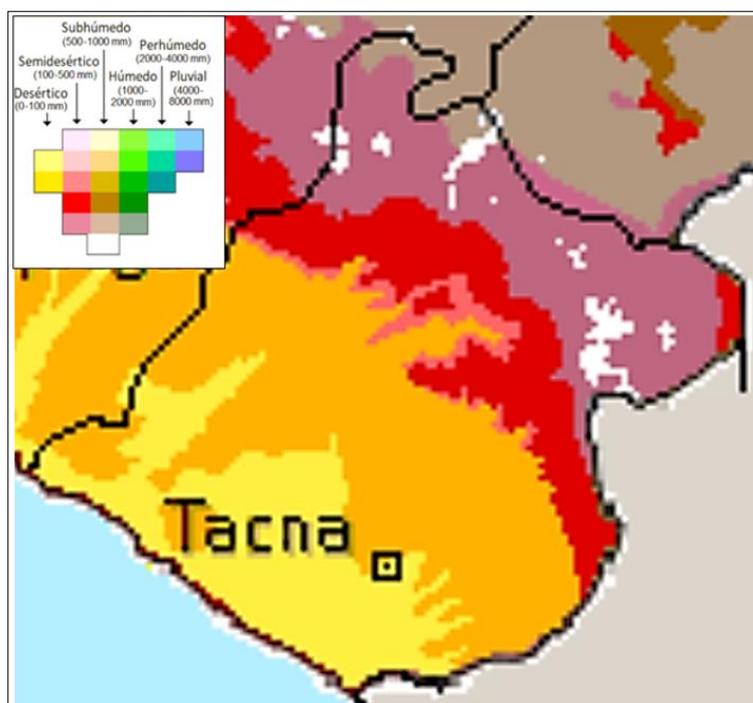
3.4. Población y/o Muestra de Estudio

3.4.1. Población

Fernandez Collado & Baptista Lucio (2017), definen a la población como un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. Para el caso de estudio se desea analizar los distritos de la Región Tacna que estén ubicados en zonas áridas (desérticas) donde la escasez de agua sea un problema constante.

Figura 19

Clasificación climática de la región de Tacna



Nota. Tomado de SENAMHI, (2020).

3.4.2. Muestra

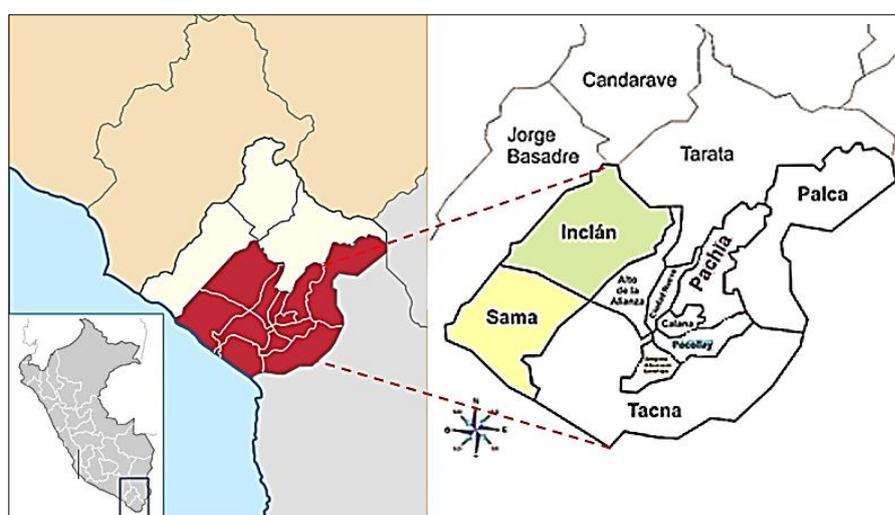
Según Fernandez Collado & Baptista Lucio (2017), la muestra es un subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta, es por

ello que de acuerdo a los resultados mostrados en el Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca Caplina – Locumba elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (2015), donde especifica que la cuenca del río Sama sufre un desbalance hídrico con un déficit medio de $0.878 \text{ m}^3/\text{s}$, se determina como muestra los distritos de Sama Las Yaras e Inclán de la provincia y departamento de Tacna ya que ambos cumplen con las características de la población.

El Distrito de Sama Las Yaras tiene un área de 1134.52 Km^2 y el Distrito de Inclán tiene un área de 1434.35 Km^2 . Ambos distritos tienen un área total de $2,568.87 \text{ Km}^2$.

Figura 20

Ubicación geográfica de los distritos Sama Las Yaras e Inclán



Nota. Se muestra la ubicación geográfica del área de estudio.

3.5. Operacionalización de Variables

3.5.1. Variable Dependiente

Zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas.

3.5.2. Variables Independientes

Humedad relativa, temperatura ambiente, extensión disponible, y altitud de terreno.

3.5.2.1. Dimensiones.

- Mapa de interpolación de temperatura ambiente y humedad relativa.
- Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.

- Mapa de elevaciones y orientación de vientos.

3.5.2.2. Indicadores.

- Humedad relativa y temperatura ambiente
- Extensión disponible.
- Altitud y orientación de vientos.

Tabla 5

Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicador
Zona Potencial	Zona con condiciones aptas que permitan la colocación de atrapanieblas.	Parámetro de evaluación	Adimensional
Humedad Relativa	Contenido de humedad en un volumen de aire a una determinada temperatura.	Parámetro de evaluación	Porcentaje %
Extensión disponible	Área disponible libre de agentes externos u ocupantes que imposibiliten la colocación de atrapanieblas.	Parámetro de evaluación	Km ²
Altitud	Distancia vertical que existe entre cualquier punto de la Tierra en relación con el nivel del mar.	Parámetro de evaluación	m.s.n.m.
Pendiente	Grado de inclinación de la superficie del terreno respecto a un plano horizontal.	Parámetro de evaluación	Porcentaje %

Nota. Se describen las variables dependientes e independientes, su dimensión e indicador.

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis Estadístico

Para el procesamiento de los datos recolectados y obtención de resultados, se aplicará el método denominado Análisis Multicriterio. Este método se utilizará para evaluar alternativas de ubicación de atrapanieblas según criterios individuales y, posteriormente, combinarlos en una evaluación general que permita determinar las zonas más adecuadas para su construcción.

Para la realización del análisis multicriterio se seguirán básicamente los siguientes pasos:

- a) Definir el objeto de la toma de decisiones y el producto final que se necesita.
- b) Escoger y definir criterios de evaluación.
- c) Establecer la ponderación de los criterios, de acuerdo a la revisión bibliográfica y experiencias previas.
- d) Combinación de criterios de acuerdo a las ponderaciones usando el software QGIS 3.24.1.
- e) Interpretación de resultados, para optimizar el proceso de toma de decisiones.

3.7. Procesamiento y análisis de datos

3.7.1. Distribución espacial de la humedad relativa

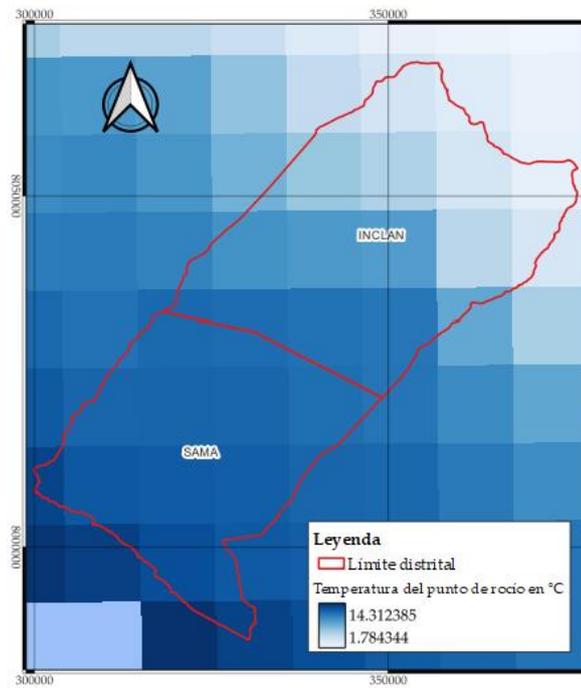
En el Capítulo II, se describió la fórmula para el cálculo de la humedad relativa en base a la temperatura del aire y la temperatura del punto de rocío. Ambas temperaturas se obtuvieron a través de la plataforma Climate Engine (<https://app.climateengine.org/climateEngine>) que permite procesar y visualizar datos meteorológicos satelitales presentados de forma grillada.

Los datos grillados de temperatura del aire y temperatura del punto de rocío se obtuvieron del Conjunto de Datos ERA5 Ag, el cual contiene datos meteorológicos diarios. Este conjunto de datos se basa en los datos ECMWF ERA5 por hora a nivel de superficie (a 2m) y se denomina AgERA5. Los datos utilizados tienen una resolución de 9.6 km (Boogaard et al., 2020).

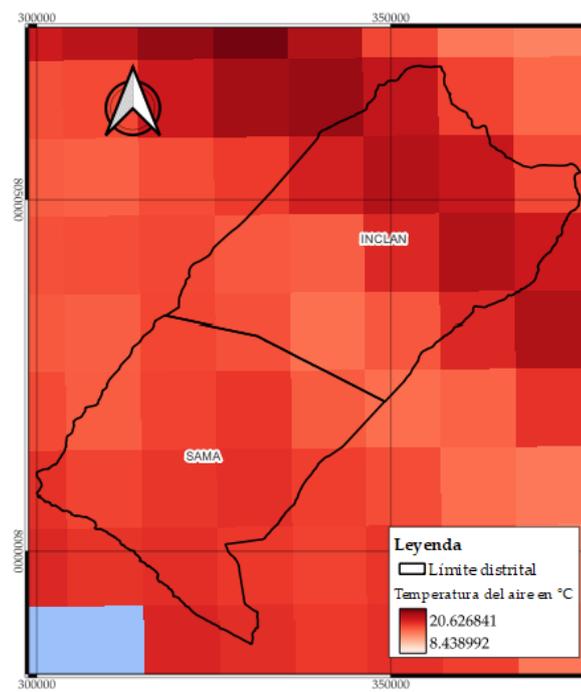
En el presente estudio se utilizaron los datos de temperaturas del año 2022, considerando la media de los meses desde Junio hasta Agosto, esto debido a las limitaciones de la plataforma Climate Engine (Figura 21 y Figura 22).

Figura 21

Data grillada satelital promedio de la temperatura de rocío

**Figura 22**

Data grillada satelital promedio de la temperatura del aire



3.7.2. Extensión disponible en la zona de estudio

Para determinar el área disponible con que se cuenta en la zona de estudio, se descargó información sobre el uso o cobertura de suelo de la plataforma WorldCover en su versión 2021 (<https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/>). Esta plataforma ha sido desarrollada por la Agencia Espacial Europea, y sus productos tienen una resolución de 10 m que se desarrolla y valida casi en tiempo real.

3.7.3. Altitud de terreno suficiente

El mapa de elevaciones del área de estudio se obtuvo mediante la descarga de modelos de elevación digital desde el portal de la NASA, mediante su portal Earthdata Search (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>), el cual brinda acceso a datos terrestres observados por la NASA. Los modelos de elevación digital grillados fueron descargados en formato GeoTIFF con una resolución espacial de 30 metros.

Adicionalmente, se debe considerar el criterio relacionado a la pendiente del área de estudio, pues en zonas escarpadas se dificultaría la instalación y traslado del agua recolectada. Por lo tanto, en base al mapa de elevaciones, se genera un mapa de pendientes, el cual fue reclasificado (Tabla 6) de acuerdo a los criterios considerados por la Food and Agriculture Organization (FAO, 2009, p. 12).

Tabla 6

Reclasificación de pendientes

Clase	Descripción	%
01	Plano a ligeramente inclinado	0 – 5
02	Inclinado a fuertemente inclinado	5 - 15
03	Moderadamente escarpado	15 - 30
04	Escarpado a muy escarpado	30 a más

Nota. Tomado de FAO (2009, p. 12).

3.7.4. Análisis multicriterio

3.7.4.1. Normalización de datos

Antes de realizar un procedimiento que abarque varias capas, como es el caso del análisis multicriterio, en ocasiones es necesario normalizarlas. Este proceso homogeneiza los factores (capas) de manera que estos se encuentren en un mismo

rango de valores. Las normalizaciones se realizaron con la ayuda de la herramienta de reclasificación de QGIS.

Para la normalización del factor humedad relativa en los meses de invierno, se utilizaron diferentes criterios mencionados en la literatura relacionada a la cosecha de agua atmosférica con dispositivos de colecta de niebla (atrapanieblas) (Tabla 7).

Tabla 7

Categorización del factor Humedad Relativa

Viabilidad del sistema de recolección de niebla	Humedad Relativa (%)	Reclasificación/ Normalización	Referencia
Muy viable	100 - 90	4	Bautista Olivas et al. (2013); Bautista Olivas et al. (2018)
Viable	90 - 69	3	
Muy poco viable	69 - 0	2	Jarimi et al. (2020)

Para la normalización del factor extensión disponible, se consideró que los atrapanieblas sólo se podrán colocar, preferentemente, en zonas donde no haya asentamientos de población o alguna actividad productiva, es decir, en suelo desnudo o de mínima vegetación (Tabla 8).

Tabla 8

Categorización del factor extensión disponible

Uso de suelo	Reclasificación/ Normalización	Viabilidad
Suelo desnudo/ Mínima vegetación	4	Muy viable
Pastizal	3	Viable
Árboles	2	Poco viable
Arbustos	2	
Tierra de cultivo	1	Muy poco viable
Zona urbana	0	No viable
Cuerpos de agua permanentes	0	
Humedal herbáceo	0	

Para la normalización del factor altitud, se consideró que la niebla costera se forma a partir de los 400 metros sobre el nivel del mar (Figura 23), y es a partir de esa altitud en que se encuentran las mayores concentraciones de agua por metro cúbico (Aranguiz Quintanilla et al., 2009; Cereceda et al., 2014).

Figura 23

Elevación recomendable para la instalación de atrapanieblas



Nota. Tomado de Aranguiz Quintanilla et al. (2009).

Tabla 9

Categorización del factor altitud

Recomendación	Altitud (msnm)	Reclasificación/ Normalización	Referencia
Muy recomendable	400 - 1200	4	Aranguiz Quintanilla et al. (2009b); Cereceda et al. (2014).
Recomendable	1200 - 1850	3	Molina & Escobar (2005).
Poco recomendable	1850 - 4000	2	No se encontró literatura específica.
No recomendable	0 - 400	0	Aranguiz Quintanilla et al. (2009).

La pendiente es un factor limitante en lo referente a la cantidad de atrapanieblas que se pueden instalar en un área. Pendientes moderadamente escarpadas son más

favorables para la instalación de atrapanieblas cercanos y en paralelo (Cereceda et al., 2014). Pendientes mayores imposibilitan la instalación de atrapanieblas (Tabla 10).

Tabla 10

Clasificación del factor pendiente

Descripción	%	Reclasificación/ Normalización
Plano a ligeramente inclinado	0 – 5	2
Inclinado a fuertemente inclinado	5 - 15	3
Moderadamente escarpado	15 - 30	4
Escarpado a muy escarpado	30 a más	1

Nota. Tomado de FAO (2009, p. 12).

3.7.4.2. Ponderación de factores

Para seleccionar las zonas más óptimas de instalación de atrapanieblas en los distritos de Sama e Inclán, se ha realizado una combinación lineal ponderada considerando cuatro criterios (Tabla 11), basados estos en la interpretación del estado del arte, como en Domínguez et al. (2019) y la opinión de expertos.

Tabla 11

Ponderación de los cuatro criterios utilizados

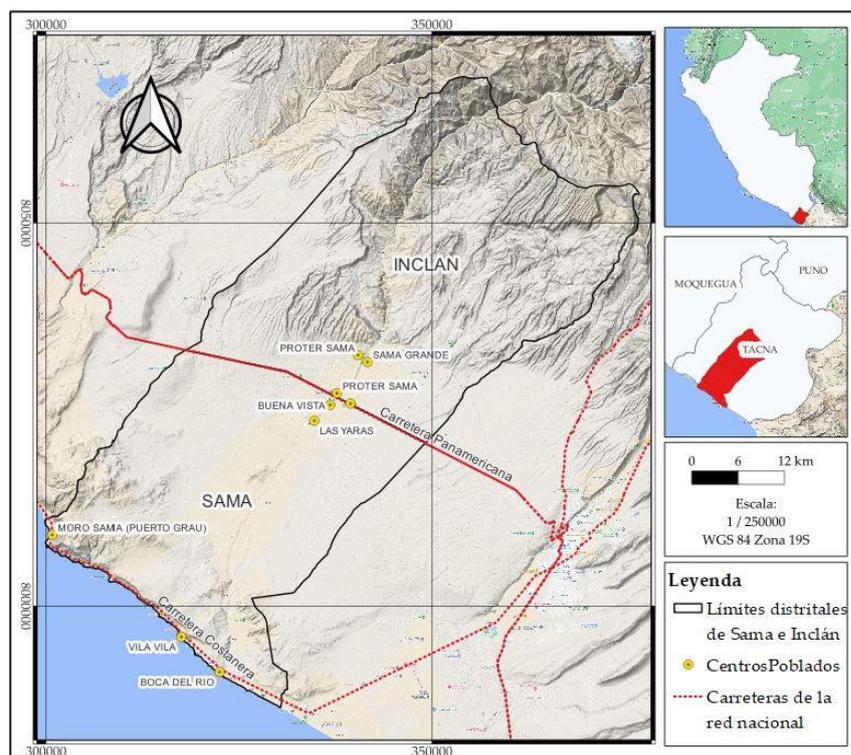
Criterio	Ponderación / Peso
Humedad relativa (%)	0.45
Uso de suelo	0.10
Altitud (msnm)	0.30
Pendiente (%)	0.15

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

La Figura 24 muestra la ubicación del área de estudio y de algunos de los centros poblados más importantes que conforman los distritos de Sama e Inclán.

Figura 24

Ubicación del área de estudio



4.1. Distribución espacial de la humedad relativa

La Figura 25 muestra la distribución espacial de la humedad relativa, observándose valores mayores en las cercanías a la costa. La Figura 26 muestra la normalización del criterio humedad relativa de acuerdo a la Tabla 7, observándose que la zona más adecuada para la colocación de atrapanieblas sería toda la zona costera que abarca todo el distrito de Sama y un pequeño sector del distrito de Inclán.

Figura 25

Distribución espacial de la humedad

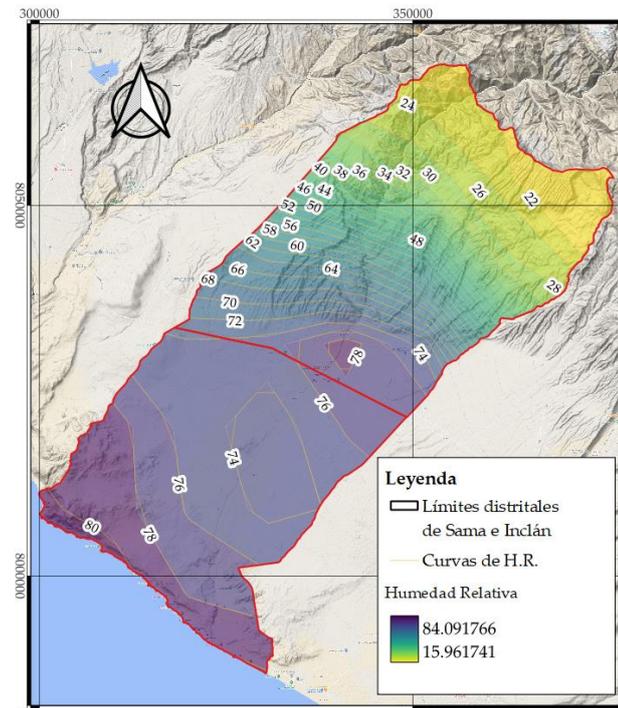
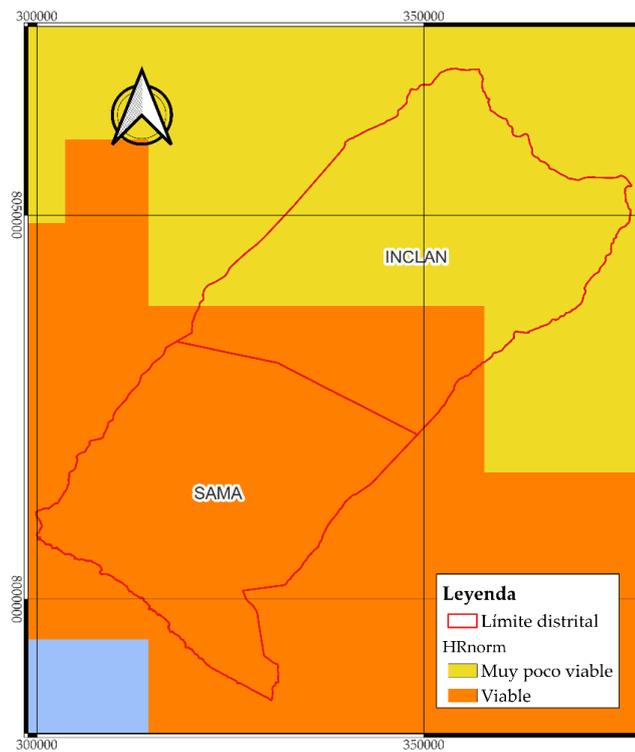


Figura 26

Humedad relativa normalizada



4.2. Extensión disponible en la zona de estudio

La Figura 27 muestra los diferentes usos del suelo en la zona de estudio. La Figura 28 muestra la normalización del criterio de extensión disponible de acuerdo a la Tabla 8, observándose que casi toda la zona de estudio es muy viable para la construcción de atrapanieblas debido a que en su gran mayoría ambos distritos son zonas áridas con suelo desnudo o muy mínima vegetación.

Figura 27

Mapa de uso de suelos en Sama e Inclán

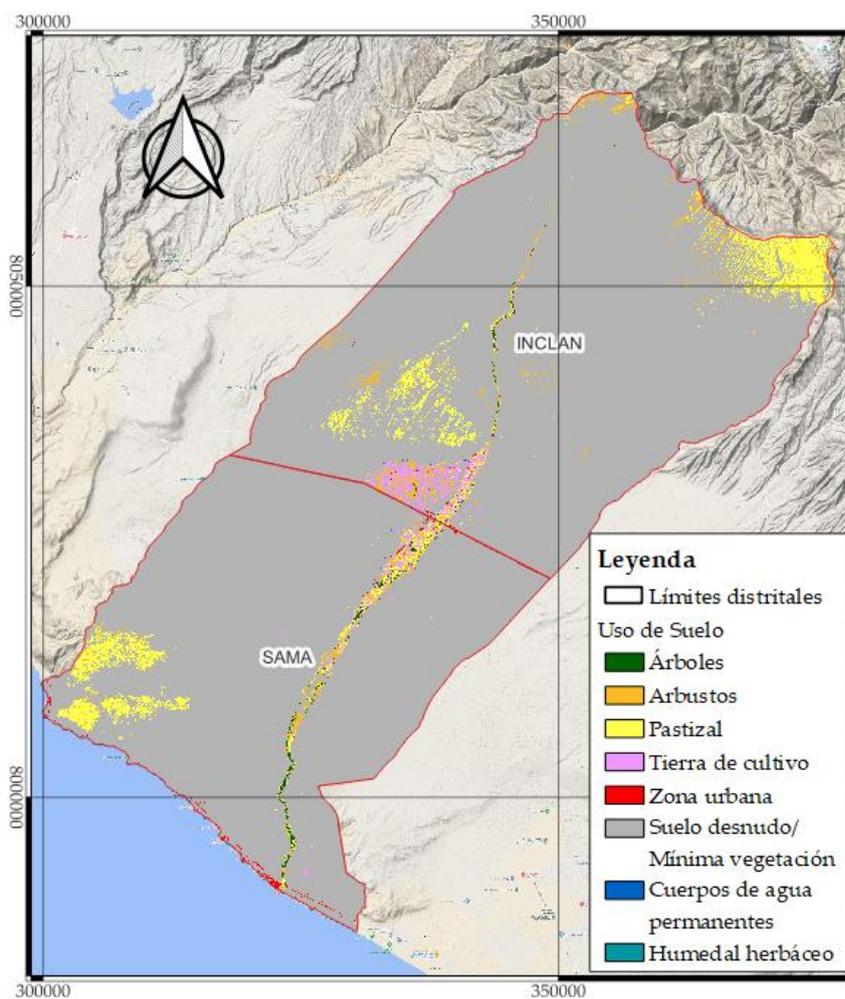
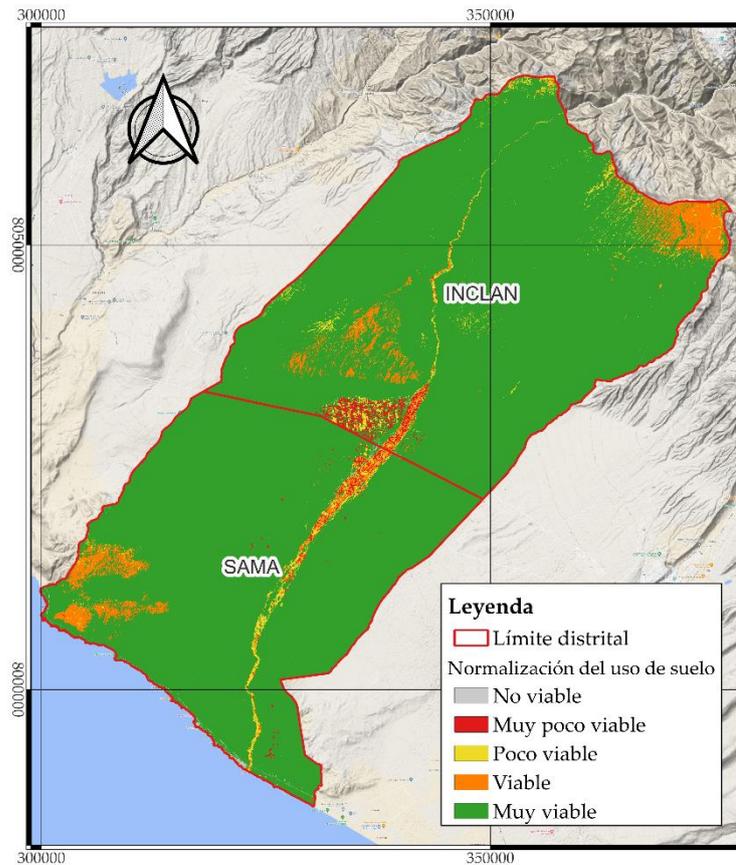
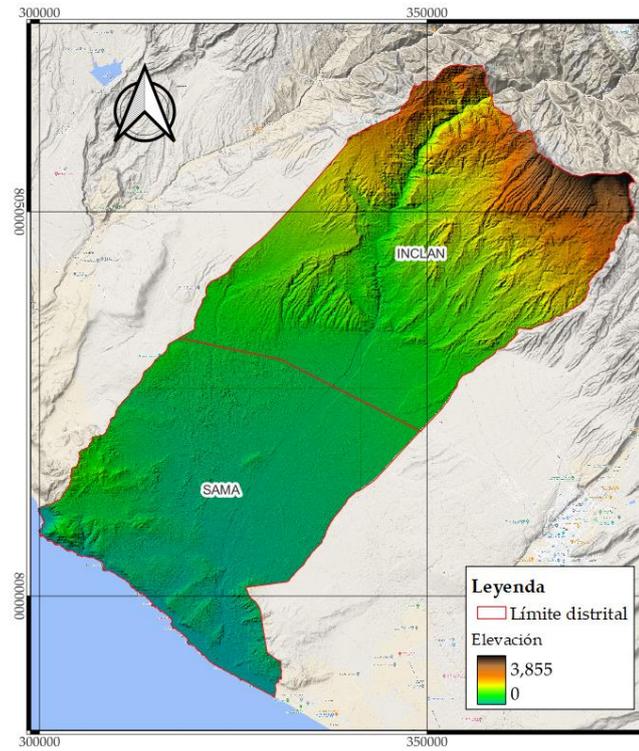
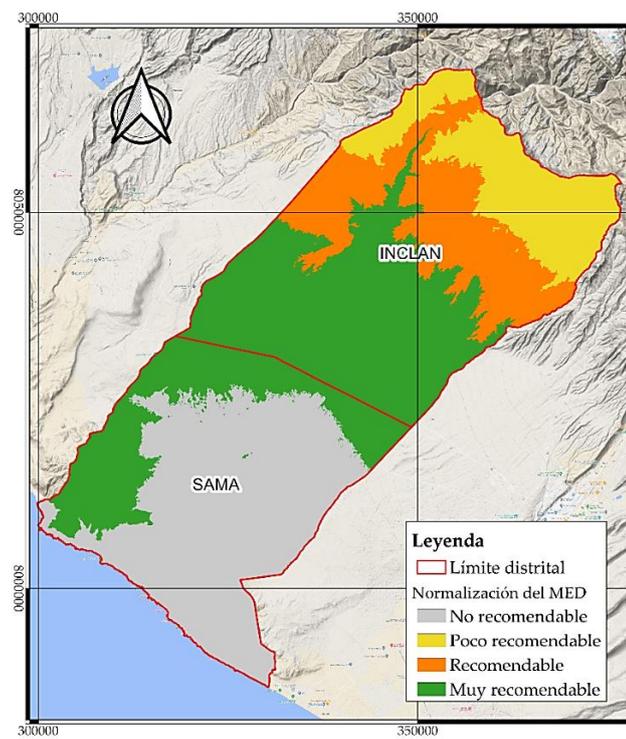


Figura 28*Uso de suelo normalizado*

4.3. Altitud de terreno suficiente

La Figura 29 muestra las altitudes, en msnm, de la zona de estudio. La Figura 30 muestra la normalización del criterio de altitud suficiente, de acuerdo a la Tabla 9, observándose que sólo una porción de la zona costera cumple con el criterio de altitud suficiente para la recolección de niebla.

Figura 29*Mapa de elevaciones de Sama e Inclán***Figura 30***Modelo de elevación digital normalizado*

Como se mencionó anteriormente, en base al modelo de elevación digital, se desarrolló el mapa de pendientes de la zona de estudio (Figura 31). Dicho mapa de pendientes fue normalizado de acuerdo a la Tabla 10 (Figura 32), observándose que las zonas de mayor altitud no cumplen con los criterios de pendiente.

Figura 31

Mapa de pendientes de Sama e Inclán

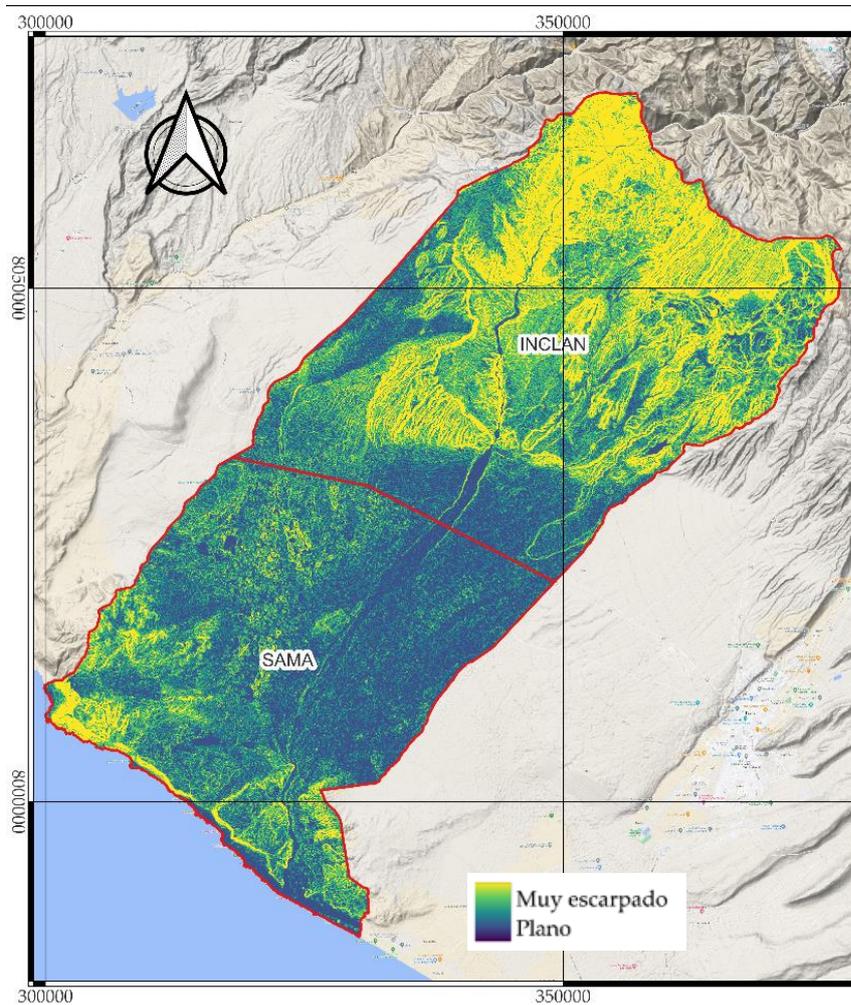
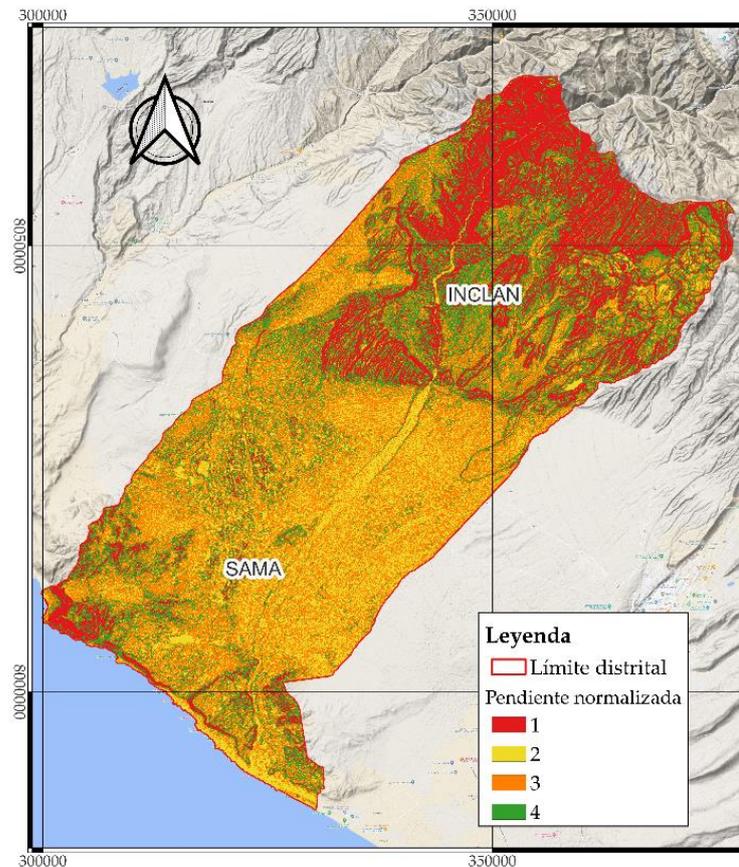


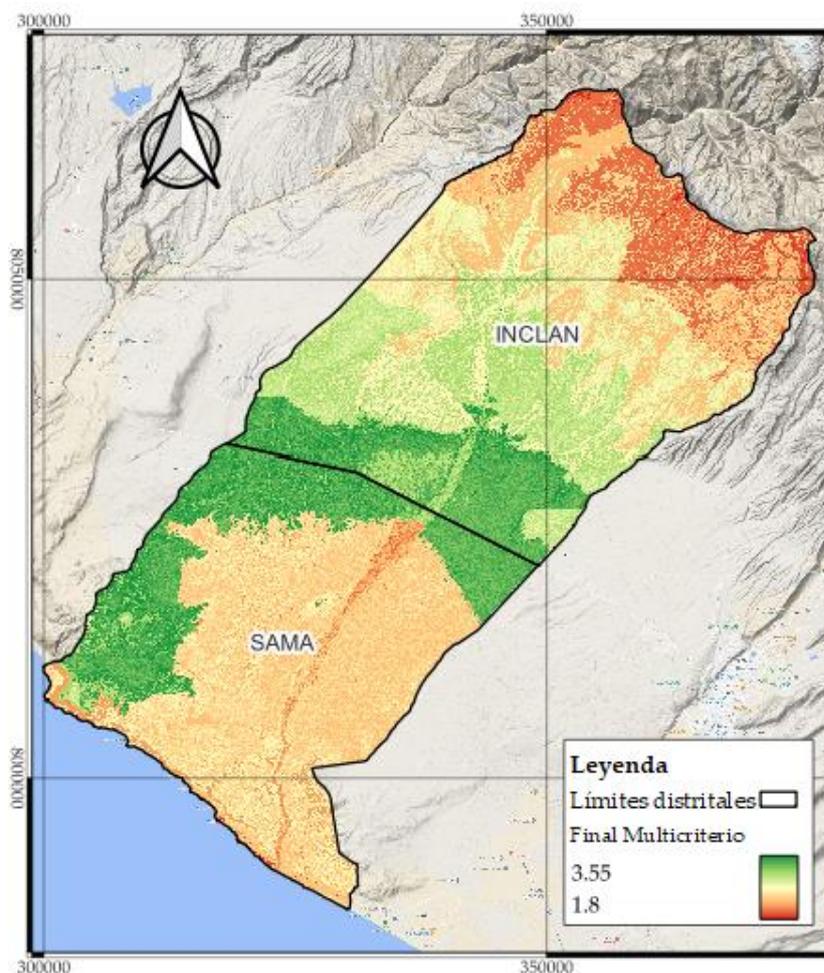
Figura 32
Pendiente normalizada



4.4. Zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas

La Figura 33 muestra el resultado final del análisis multicriterio, de acuerdo a la ponderación de factores de la Tabla 11. Para dicho cálculo se utilizó la calculadora de ráster del SIG, introduciendo la Ecuación 4. Dicha ecuación, refleja una técnica estadística que se utiliza para incrementar o disminuir la importancia de los diferentes criterios, donde las constantes son los factores de ponderación establecidos en la Tabla 11.

$$\text{Potencialidad} = (0.45 \cdot \text{Fig. 25}) + (0.10 \cdot \text{Fig. 27}) + (0.30 \cdot \text{Fig. 29}) + (0.15 \cdot \text{Fig. 31}) \quad (4)$$

Figura 33*Análisis multicriterio*

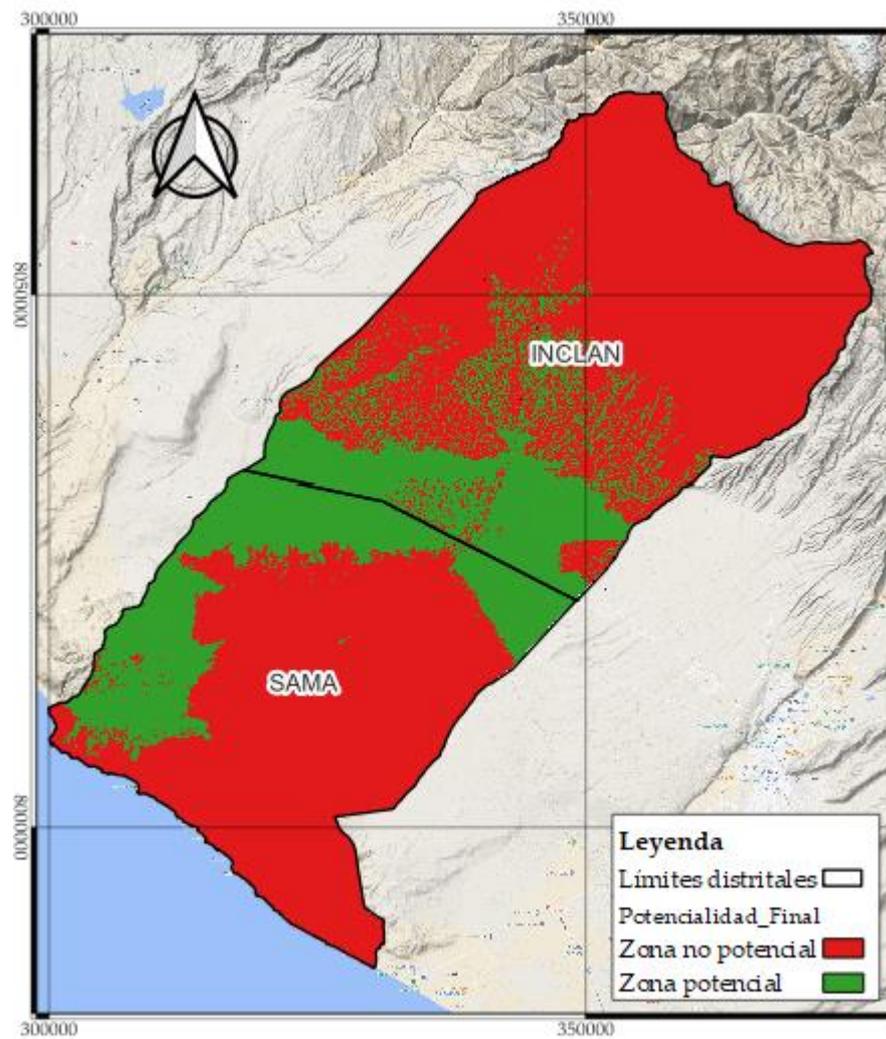
Los resultados de la Figura 33 también fueron reclasificados para una mejor discusión, para ellos se consideraron los criterios de la Tabla 12. La Figura 34 muestra las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama e Inclán.

Tabla 12*Criterios para la determinación de zonas óptimas*

Descripción	Rango
Zona no potencial	0 – 3
Zona potencial	3 – 4

Figura 34

Potencialidad de zonas para construcción de atrapanieblas



Nota. Las áreas de color verde indican alta potencialidad para la construcción de atrapanieblas en la zona de estudio.

CAPÍTULO V: DISCUSIONES

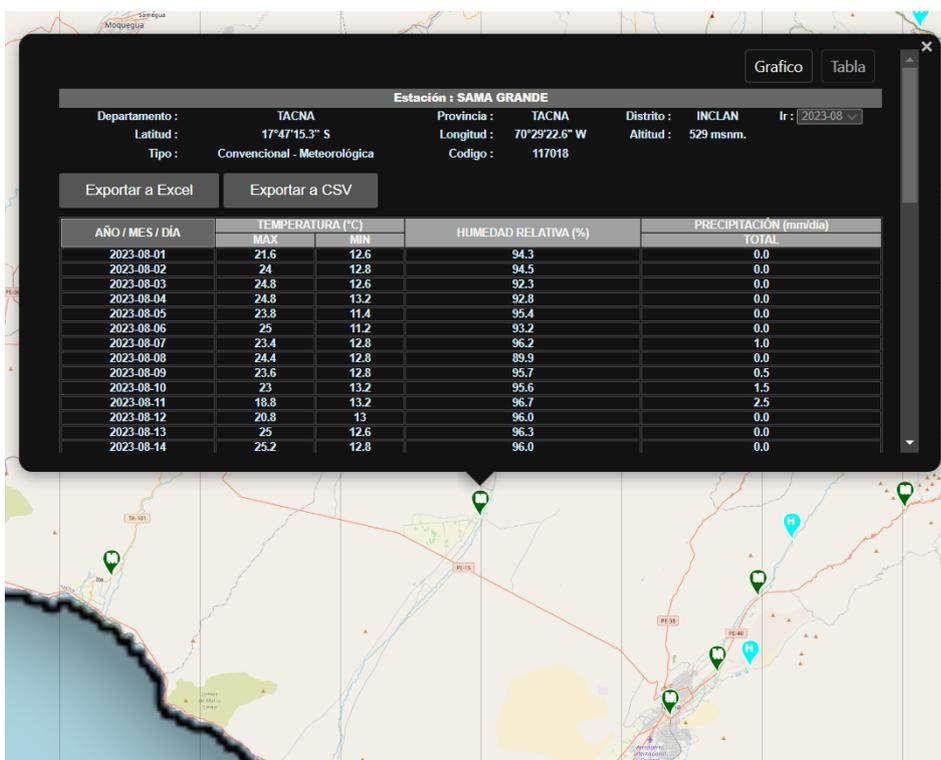
Los estudios enfocados en la recolección de niebla han aumentado considerablemente en las últimas dos décadas debido a que se considera a ésta como una fuente prometedora de agua dulce (Jiang et al., 2023). Entre todas las tecnologías disponibles, la más usada en nuestro medio son los atrapanieblas; sin embargo, están hechos de un material que no ha sido optimizado para la recolección de agua (B. Wang et al., 2021). Por esta razón, además de los materiales que influyen en el rendimiento de la recolección de agua, se debe prestar cada vez más atención a factores extrínsecos, como la temperatura, la altitud, el viento y la humedad, para la correcta toma de decisiones con respecto a su emplazamiento, y así asegurar la viabilidad y sostenibilidad de estos sistemas (B. Wang et al., 2021).

5.1. Distribución espacial de la humedad relativa

Analizando el mapa de distribución de la humedad relativa (Figura 25), se observa el contenido de humedad que nos permite identificar zonas viables y poco viables en el área de estudio. Considerando el criterio de la Tabla 7, la humedad relativa recomendada es aquella mayor al 90 %, y este no es alcanzado si se toma en cuenta la media de los meses de invierno. Sin embargo, si se revisan datos de la única estación meteorológica ubicada en la zona de estudio (Estación Sama Grande), se puede observar que muchos días del mes de agosto superaron el 90 % de humedad relativa, Por lo que, evaluados los resultados con los parámetros de la Tabla 7 se tiene que la humedad relativa de la zona de sama las Yaras e Inclán son viables (al encontrarse entre el 69 y 90 %) para la colocación de atrapanieblas. Entonces, acorde con la hipótesis específica correspondiente, analizar la humedad relativa nos permitió identificar áreas potenciales dentro de la zona de estudio.

Figura 35

Registros de Estación Meteorológica de Sama Grande - Agosto 2023



Nota. Se muestran los valores de humedad relativa mayor a 90 %.

5.2. Extensión disponible en la zona de estudio

Como se puede apreciar en la Figura 28, la mayor parte de la zona de estudio corresponde a suelo desnudo o de muy poca vegetación. Esta disponibilidad de territorio posiciona a los distritos de Sama e Inclán como zonas potenciales para la cosecha de agua atmosférica en forma de niebla.

Por otro lado, también se ha considerado la posibilidad de poder instalar atrapanieblas en zonas aledañas a zonas agrícolas, zonas con pastizales o zonas forestales; ya que se busca tener fuentes de agua que puedan promover el desarrollo de vegetación.

Respecto a la segunda hipótesis específica, se identificaron zonas disponibles como se puede apreciar en la Figura 28, debido a que la mayor parte de la zona de estudio corresponde a suelo desnudo o de escasa vegetación.

Hay que tener en cuenta que en la presente tesis se han priorizado las zonas en las que no se realiza ninguna actividad humana, ya que como muestran las encuestas realizadas por Lopez Nuñez (2021) a especialistas en el tema, la construcción de atrapanieblas es propicia para la creación de pisos ecológicos en zonas desérticas. Sin

embargo, si el agua captada se quisiera utilizar para riego, ya sea de biohuertos o áreas verdes, será necesario construir los atrapanieblas en zonas aledañas a centros poblados, lo que requerirá de una coordinación eficiente con propietarios y asociaciones de la zona (Lopez Nuñez, 2021). Por lo tanto, considerando la experiencia de los especialistas, se debe tomar en cuenta la instalación de atrapanieblas en las cercanías de zonas agrícolas, zonas con pastizales o zonas forestales, más no sobre estas.

5.3. Altitud de terreno suficiente

La Tabla 9 muestra los criterios referenciados para categorizar la importancia de la altitud en la toma de decisiones de instalación de atrapanieblas. La Tabla 9 resalta una altitud recomendada mayor a los 400 msnm antes del cordón montañoso; dicho cordón puede visualizarse en el mapa de elevaciones, en el Distrito de Inclán (Figura 30). Por lo tanto, respecto a la tercera hipótesis, se tienen identificadas las zonas con altitud apropiada para la instalación de atrapanieblas, como lo muestra el mapa de elevaciones (Figura 30).

De acuerdo a Cereceda et al. (2014), las pendientes moderadamente escarpadas son más favorables para la instalación de atrapanieblas, y en base a ello se elaboró la Tabla 10. Finalmente, la Figura 32 muestra que se cuentan con dichas pendientes en la zona de estudio.

5.4. Zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas

Al igual que en la investigación de Calderon Villavicencio (2019), en el presente estudio se utilizó un Sistema de Información Geográfica, específicamente QGIS, para analizar bajo diferentes criterios, cuáles son las áreas de los distritos de Sama e Inclán que tienen alto potencial para la construcción de atrapanieblas.

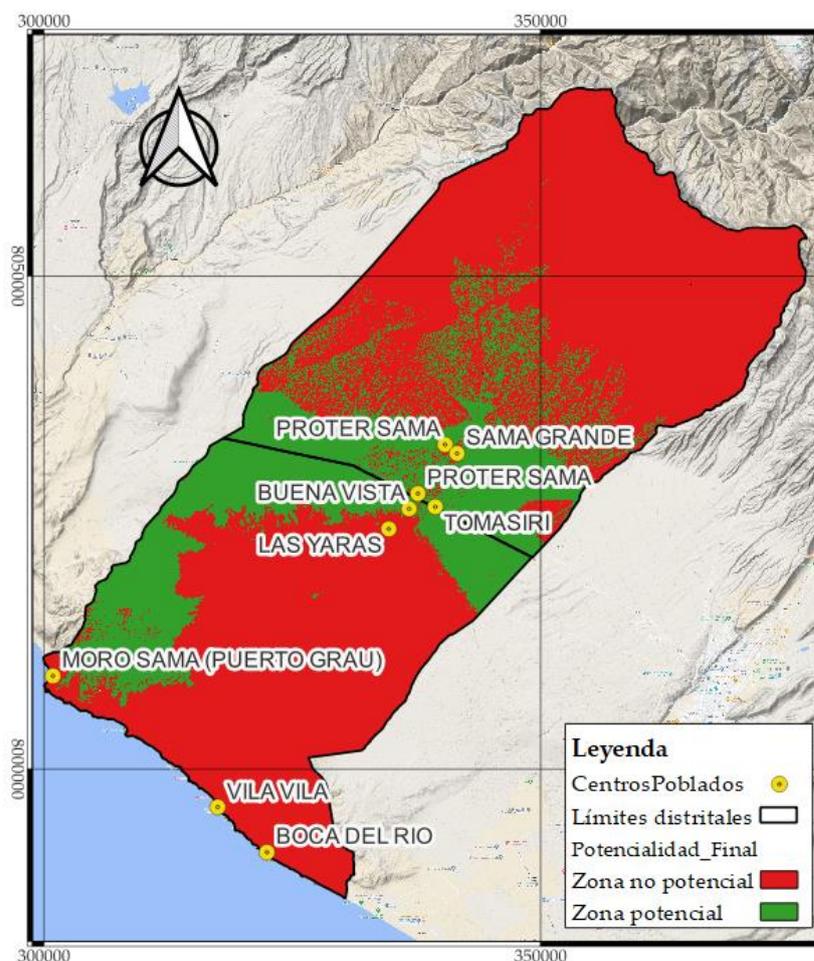
Acorde a la hipótesis general, mediante el uso del análisis multicriterio se identificaron las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas (Figura 36). Se determinó que las áreas potenciales para la construcción de atrapanieblas en la zona de estudio, según el análisis multicriterio, abarcan un área de 805.86 Km², lo cual representa, aproximadamente, un 31 % del área de estudio que comprende los distritos de Sama e Inclán.

Algunas de las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas se encuentran aledañas a centros poblados importantes de los distritos estudiados (Figura 36). Se puede apreciar que la construcción de atrapanieblas en las zonas altas del Proter, Distrito de Inclán, mejoraría las condiciones de vida de la población asentada en

la zona, proveyendo de agua para huertos familiares o para la implementación de jardines y áreas verdes que mejoren el ornato de la zona. Similarmente, en los Centros Poblados de Buenas Vista (Distrito de Sama) y Tomasiri (Distrito de Inclán), la construcción de atrapanieblas en zonas aledañas podría ser usado para el riego de parques y jardines.

Figura 36

Centros Poblados de interés de los Distritos de Sama e Inclán

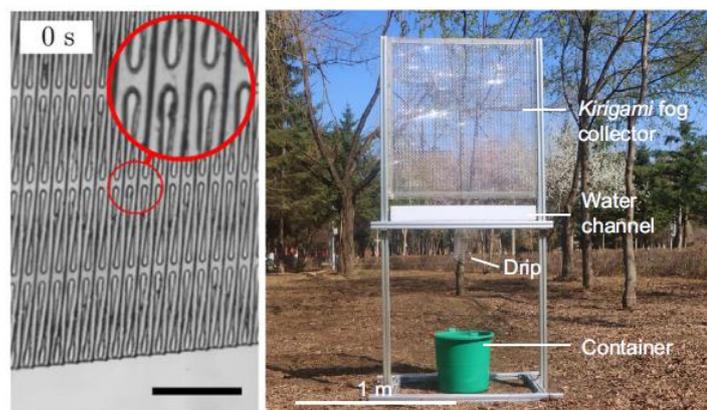


También, es importante considerar que para que la cosecha de agua atmosférica en forma de niebla sea adecuadamente eficiente, el transporte rápido y frecuente del agua en los atrapanieblas es esencial para mitigar los problemas de obstrucción (Jiang et al., 2023). Por lo tanto, no es suficiente con estudiar las zonas en dónde construir los atrapanieblas, sino también el material de los mismos, considerando criterios de recolección y transporte del agua atmosférica que sean de bajo costo operativo.

En la actualidad existen muchas mallas para captura de niebla; sin embargo, varias de ellas no son duraderas o son costosas, además de tener bajos rendimientos durante periodos breves o eventos de niebla de baja intensidad. Bintein et al. (2023) y Li et al. (2021) realizaron una comparación de las eficiencias dinámicas de varias mallas para captura de nieblas, concluyendo que la malla denominada Kirigami (Figura 37) y la malla textil 3D (Figura 38) recolectan un mayor volumen de agua por unidad de área neta expuesta.

Figura 37

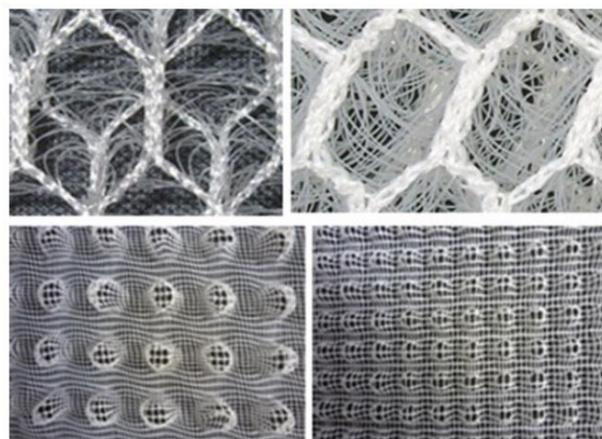
Malla Kirigami



Nota. Tomada de Li et al. (2021).

Figura 38

Mallas textiles 3D



Nota. Tomada de Sarsour et al. (2017)

Por otro lado, una vez determinado el lugar exacto y el tipo de malla que se utilizará para construir los atrapanieblas, se debe realizar un análisis meteorológico más

detallado, en especial de la dirección del viento para determinar el sentido de instalación de los atrapanieblas, así como la posible cantidad de agua a recolectar. Adicionalmente, se debería realizar un estudio de impacto económico de la implementación y uso del agua de los atrapanieblas de acuerdo a la actividad para la que se utilizará el agua en cada lugar donde se instalen. En la presente tesis se ha determinado que el costo inversión para la construcción de un atrapanieblas de 4 m x 4 m es de S/ 1,457.86 Soles (Anexo 8, 9 y 10). El análisis costo-beneficio de la implementación de atrapanieblas para el caso de uso agrícola debe incluir el tipo de cultivo, el sistema de riego y su eficiencia, las técnicas de post cosecha, el mercado, procesos de industrialización, entre otros muchos (Cuellar Mayta, 2018); adicionalmente se deben considerar costos de operación, mantenimiento y depreciación del sistema de atrapanieblas. También, el agua atmosférica podría utilizarse para abastecer de agua al ganado, para piscigranjas, reforestación, huertos familiares o proyectos escolares. En cada caso, el análisis económico es diferente, así como la determinación del precio del agua atmosférica. La cantidad de atrapanieblas a instalar en un punto determinado también depende de la cantidad de agua que requiere la actividad para la que está destinada el agua.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se expusieron algunos criterios para determinar áreas adecuadas para la construcción de atrapanieblas, mediante la integración de mapas de humedad relativa, uso de suelos, altitud y pendiente. Determinándose que un 31 % de la zona de estudio tiene potencial para la construcción de atrapanieblas, lo cual equivale a un aproximado de 805.86 km². Dichas zonas potenciales se encuentran en las cercanías de las zonas altas del Proter en Inclán, también conocido como las Lomas de Sama; así como en el Centro Poblado de Tomasiri. En el distrito de Sama, las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas se encuentran en las cercanías del Centro Poblado Buena Vista y en la zona noreste del Morro Sama. En ambos distritos, el agua recolectada podría ser usada para la implementación de huertos familiares y/o riego de áreas verdes públicas.

La distribución de la humedad relativa en los Distritos de Sama e Inclán se encuentra controlada por las masas de aire colmadas de humedad provenientes del océano y por la barrera que genera la cordillera occidental relativamente próxima a la costa. Asimismo, se determinó que la cantidad humedad relativa presente algunas áreas de la zona de estudio durante los meses fríos, asegura una eficiente recolección de agua atmosférica.

La disponibilidad de áreas en los Distritos de Sama e Inclán es suficiente para la construcción de atrapanieblas, pues al tratarse de una zona árida, las áreas de cultivo y/o diferentes actividades productivas no se han expandido. Asimismo, por ser una zona rural, la densidad poblacional es baja.

El área de estudio cuenta con zonas que tienen elevaciones y pendientes que son propicias para la generación de niebla, es decir elevaciones entre los 400 y 1200 msnm y pendientes intermedias. Estas condiciones se cumplen mayormente antes de la zona de la cordillera occidental.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a futuros investigadores, refinar la zona potencial para la construcción de atrapanieblas adicionando el criterio de dirección y velocidad del viento a la variable climática de humedad relativa. También se debe realizar estudios a la calidad del agua recolectada, con especial atención a la microbiología y los residuos plásticos de los materiales de los atrapanieblas. Es decir, se debe monitorear las variables climáticas y analizar la calidad de agua a detalle por unos 15 días (Lopez Nuñez, 2021).

Se recomienda a los gobiernos locales estudiar la factibilidad de utilizar las zonas de uso de suelo con escasa o nula vegetación para la generación de proyectos productivos, educativos y/o ambientales que utilicen los atrapanieblas como fuente de agua para huertos o reforestación. Adicionalmente, se recomienda a futuros investigadores, refinar la zona potencial con un catastro y topografía más detallados.

Se recomienda a futuros investigadores, evaluar el uso de diferentes tipos de mallas para la captación de agua en las zonas determinadas como potenciales, y así poder determinar cuál de ellas se desempeña más eficientemente en el área de estudio.

Se recomienda a futuros investigadores, utilizar el análisis multicriterio para localizar otras fuentes alternativas de cosecha de agua en el área de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADIT (2016). WarkaWater: de rinoceros a agua potable en Etiopia. <https://www.studioseed.net/blog/software-blog/parametric-generative-design-blog/grasshopper/warkawater-de-rinoceros-a-agua-potable-en-etiofia/>
- Aeroterra. (S.f.). ¿Qué es el SIG? Aeroterra. <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion>
- Aquair Optimizer, S.f. COSECHA DE AGUA A PARTIR DE BRUMAS y NIEBLAS. Open Ms Tecnologías Necesarias. <https://www.openms.es/captura-de-agua-aquair-optimizer-tm>
- Abbott, P. F., & Tabony, R. C. (1985). The estimation of humidity parameters. *Meteorological Magazine*, 114, 49–56.
- Aranguiz Quintanilla, G., Morales Estruch, F., Nieto Aravena, J., & Silva Villarroel, G. (2009). Diseño generativo aplicación en sistemas de atrapanieblas en el norte de Chile. In *Universidad de Chile*.
- Arias Odon, F. G. (2012). El Proyecto De Investigación. In *El Proyecto De Investigación* (Issue May). <https://doi.org/10.29327/527957>
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). Plan de Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca Caplina - Locumba. In *Syria Studies*.
- Bautista Olivas, A. L., Mendoza Cariño, M., Cruz Bautista, F., Alvarez Chávez, C. R., & Duarte Tagles, H. F. (2018). *Potencial de captura de agua atmosférica en el Noroeste de México*.
- Bautista Olivas, A. L., Tovar Salinas, J. L., & Mancilla Villa, O. R. (2013). *¿Puede utilizarse el agua atmosferica para el consumo domestico y universal?* 15–20.
- Bhushan, B. (2020). *Design of water harvesting towers and projections for water collection from fog and condensation*.
- Bintein, P.-B., Cornu, A., Weyer, F., De Coster, N., Vandewalle, N., & Terwagne, D. (2023). Kirigami fog nets: how strips improve water collection. *Npj Clean Water*, 6(1), 54. <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00266-6>
- Boogaard, H., Schubert, J., De Wit, A., Lazebnik, J., Hutjes, R., & Van der Grijn, G. (2020). *Agrometeorological indicators from 1979 to present derived from reanalysis*.

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/10.24381/cds.6c68c9bb?tab=overview>

- Boreyko, J. B., Anderson, M., Tulkoff, J., Kennedy, B., & Shi, W. (2018). *Supporting Information : Fog Harvesting with Harps*. 2–7.
- Briones, E., & Mejia, C. (2017). "Eficiencia De Cuatro Tipos De Mallas En La Captación De Agua De Neblina En El Cáserio Casadencito, Distrito De Chetilla, Cajamarca. *Universidad Privada Del Norte*, 1–116.
- Calderon Villavicencio, P. R. (2019). *Identificación de zonas más adecuadas mediante la evaluación multicriterio para ubicar sistemas atrapaniebla que colecten agua para riego en la provincia del Azuay*. Universidad del Azuay.
- Cereceda, P., Hernández, P., Leiva, J., & Rivera, J. de D. (2014). Agua de niebla nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas aridas y semiaridas. In *Dirección general de aguas*. <http://www.cda.uc.cl/wp-content/uploads/2015/12/Libro-Agua-de-Niebla-1.pdf>
- Cieza León, L. R. (2019). "Volumen de agua aprovechable utilizando malla atrapanieblas en el centro poblado La Palma - Chota." Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cuellar Mayta, J. G. (2018). *Impacto económico de la implementación de mecanismos capturadores de agua atmosférica para uso agrícola* [Tesis de título profesional]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Dai, Z., Ding, Y., Meng, G., Chen, J., Zhang, J., & Ji, K. (2016). *Centrifugation-Assisted Fog-Collecting Abilities of Metal-Foam Structures with Different Surface Wettabilities*. <https://doi.org/10.1021/acsami.5b11586>
- Damak, M., & Varanasi, K. K. (2018). *Electrostatically driven fog collection using space charge injection Acceleration phase*. D, 1–8.
- Diez Torricelli, J. A. (2019). *Factores meteorológicos que influyen en la captación volumétrica de agua del Atrapanieblas ubicado en la zona del Puericultorio "Pérez Aranibar". Magdalena del Mar – Lima – 2017 -2018*". Universidad Alas Peruanas.
- Domínguez, C., Echeverría, P., Villacis, M., & Violette, S. (2019). *Capítulo III - Evaluación de la cosecha de neblina como una fuente potencial para el aprovechamiento de agua*.

- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*.
- Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2017). *Metodología de la investigación* (Mc Graw Hi).
- Fessehaye, M., Abdul-Wahab, S. A., Savage, M. J., Kohler, T., & Tesfay, S. (2022a). *The Potential for Scaling Up a Fog Collection System on the Eastern Escarpment of Eritrea*. *35*(4), 365–373.
- Fessehaye, M., Abdul-Wahab, S. A., Savage, M. J., Kohler, T., & Tesfay, S. (2022b). *The Potential for Scaling Up a Fog Collection System on the Eastern Escarpment of Eritrea*. *35*(4), 365–373.
- Gómez Garcia, A. J., & Quinteros Carabali, J. A. (2020). *Diseño e implementación de torres atrapanieblas (3d) y ecosistema informático de monitoreo con internet de las cosas y aprendizaje automático Trabajo*. Universidad Central del Ecuador.
- Harte, J. (2015). *Provisión de Agua a una Urbanización con Uso de Atrapanieblas en Tacna*. 116.
- Humphrey, J. H., Brown, J., Cumming, O., Evans, B., Howard, G., Kulabako, R. N., Lamontagne, J., Pickering, A. J., & Wang, E. N. (2020). The potential for atmospheric water harvesting to accelerate household access to safe water. *The Lancet Planetary Health*, *4*(3), e91–e92. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30034-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30034-6)
- Inzunza, J. C. (2019). *Meteorología descriptiva*. Universidad de Concepcion.
- 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>
- Jiang, Y., Machado, C., & Park, K. K. (2023). From capture to transport: A review of engineered surfaces for fog collection. *Droplet*, *2*(2). <https://doi.org/10.1002/dro2.55>
- Kashchenevsky. (2009). *El agua en la atmosfera* (pp. 1–11).
- Lawrence, M. G. (2005). The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *86*(2), 225–234. <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-2-225>

- Lazarow, N., Hopkins, R., Peña-arancibia, J., Chiew, F., Tapsuwan, S., Zheng, H., Penton, D., Rojas, R., Rocha, A. G., Albisetti, M., Piérola, D., Esquivés, V., Alferez, V. T., Torrejón, M., & Moscoso Diaz, O. (2018). *Desarrollo de un plan de gestión de sequeias para una cuenca arida altamente regulada con usuarios multisectoriales Caplina Locumba, Tacna, Peru. Figura 2.*
- León, T., Ocola, L., & Rojas, J. (2020). Ubicación de la mayor concentración de nieblas de advección en la Costa Central del Perú entre los años 2000 -2014, usando imágenes satelitales, como potenciales recursos de agua dulce. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 23(3), 54–60. <https://doi.org/10.15381/rif.v23i3.20314>
- Li, J., Ran, R., Wang, H., Wang, Y., Chen, Y., Niu, S., Arratia, P. E., & Yang, S. (2021). Aerodynamics-assisted, efficient and scalable kirigami fog collectors. *Nature Communications*, 12(1), 5484. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25764-4>
- Limache, E., Choque Apaza, V., & Piaggio Canivillo, M. A. (2021). *PROPUESTA DE PROGRAMA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ZONAS ARIDAS DE TACNA, PERÚ.* 6.
- Lopez Nuñez, V. T. (2021). Tecnologías de captación de agua de niebla para el desarrollo sostenible en la loma de Tacahuay, Tacna, 2021. In *Universidad Continental*. Universidad Continental.
- Lord, J., Thomas, A., Treat, N., Forkin, M., Bain, R., Dulac, P., Behroozi, C. H., Mamutov, T., Fongheiser, J., Kobilansky, N., Washburn, S., Truesdell, C., Lee, C., & Schmaelzle, P. H. (2021). Global potential for harvesting drinking water from air using solar energy. *Nature*, 598(7882), 611–617. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03900-w>
- Madariaga Olivares, I. P. (2017). *Evaluación del potencial de neblina mediante el sistema de atrapanieblas en las Lomas de Ancón durante el evento del niño, en el distrito de Ancón, provincia de Lima periodo 2015-2016*". Universidad Nacional de Moquegua.
- Molina, J. M., & Escobar, C. M. (2005). La neblina como fuente de agua: Evaluación de su colección en el sur de los Andes colombianos usando mallas de polipropileno. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 12, 33–41.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica.*
- Optimizer, A. (n.d.). *Cococha de agua apartir de brumas y nieblas.*

- Ordoñez Galvez, J. J. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico " LIMA -PERÚ 2011.*
- Rivera Ayala, O. A. (2017). *Implementacion de sistemas de captacion de agua de niebla, caso de estudio las Verapaces* (Vol. 13, Issue 3). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sandi Meza, V. (2014). La investigación aplicada y básica/pura en el Instituto Centroamericano de Administración Pública, ICAP: Un acercamiento para la discusión. In *Instituto Centro Americano de Administracion Publica.*
- Santiago, Juan G., Liu, K., Huang, Z., Hemmatifar, A., Oyarzun, D. I., & Zhou, J. (2018). *Self Cleaning Porous Surfaces for Dry Condensation.* 1–10.
- Sarsour, J., Stegmaier, T., & Gresser, G. (2017). 3D Textile Structures for Harvesting Water from Fog: Overview and Perspectives. In *Textile Finishing* (pp. 325–343). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119426790.ch9>
- SENAMHI. (2020). *Mapa de clasificacion Climática Nacional y Resumen Ejecutivo.*
- Suiney Cestti, H. A. (2020). Siembra y cosecha de agua con atrapanieblas para forestación como mecanismo del cuidado del medio ambiente produciendo materia prima y evitando desastres en el area de influencia en lomas del distrito de Villa María del Triunfo - Lima. In *Univesidad Ricardo Palma Facultad De Ingeniería Escuela Profesional De Ingeniería Civil* (Vol. 0).
- Tejeda Martinez, A., Mendez Perez, I., Rodriguez Norma, C., & Tejeda Zacarias, E. (2018). *La humedad en la atmósfera: Bases físicas, instrumentos y aplicaciones.*
- Thavalengal, M. S., Jamil, M. A., Mehroz, M., Xu, B. Bin, Yaqoob, H., Sultan, M., Imtiaz, N., & Shahzad, M. W. (2023a). Progress and Prospects of Air Water Harvesting System for Remote Areas: A Comprehensive Review. *Energies*, 16(6), 2686. <https://doi.org/10.3390/en16062686>
- Thavalengal, M. S., Jamil, M. A., Mehroz, M., Xu, B. Bin, Yaqoob, H., Sultan, M., Imtiaz, N., & Shahzad, M. W. (2023b). Progress and Prospects of Air Water Harvesting System for Remote Areas: A Comprehensive Review. *Energies*, 16(6), 2686. <https://doi.org/10.3390/en16062686>
- Wang, B., Zhou, X., Guo, Z., & Liu, W. (2021). *Recent advances in atmosphere water harvesting: Design principle, materials, devices, and applications.* 40.

- Wang, Y., Liang, X., Ma, K., Zhang, H., Wang, X., Xin, J. H., Zhang, Q., & Shiping, Z. (2019). *Nature-inspired windmill for water collection in complex windy environments*. 1–11.
- Zhang, M., Liu, R., & Yaxuan, L. (2022). *Diversifying Water Sources with Atmospheric Water Harvesting to Enhance Water Supply Resilience*.
- Zhou, X., Lu, H., Zhao, F., & Yu, G. (2020). Atmospheric Water Harvesting: A Review of Material and Structural Designs. *ACS Materials Letters*, 2(7), 671–684. <https://doi.org/10.1021/acsmaterialslett.0c00130>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Formulación del Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicador	Método	Estadística
<u>Problema General</u> ¿Cuáles son las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán usando un análisis multicriterio?	<u>Objetivo General</u> Determinar las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán usando un análisis multicriterio.	<u>Hipótesis General</u> La aplicación de un análisis multicriterio permite determinar las zonas potenciales para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán en 2023, considerando factores como humedad relativa, temperatura ambiente, extensión disponible y altitud de terreno suficiente; lo que contribuirá al aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos y a la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales.	<u>Variable 1</u> Humedad relativa, temperatura ambiente, extensión disponible, y altitud de terreno.	Humedad relativa, temperatura ambiente. Extensión disponible. Altitud y orientación de vientos	Medición de H.R., temperatura. Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo. Mapa de elevaciones y orientación.	Método del Análisis Multicriterio.
<u>Problema Específico</u> ¿Cuál es la distribución espacial de la humedad relativa, la temperatura	<u>Objetivo Específico</u> Analizar la distribución espacial de la humedad relativa, la temperatura	<u>Hipótesis Específicas</u> La distribución espacial de la	<u>Variable 2</u> Zonas potenciales para la		Mapa de criterios ponderados con zonas	

Matriz de consistencia (continuación)

ambiente en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán?	ambiente en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán.	humedad relativa, la temperatura ambiente en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán en 2023 permite determinar las zonas donde se tienen condiciones meteorológicas adecuadas para la construcción de atrapanieblas	construcción de atrapanieblas.	Ponderación de variables independientes.	potenciales para la construcción de atrapanieblas.	
¿Qué zonas cuentan con extensión disponible para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán?	Identificar las zonas que cuentan con extensión disponible para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán.	En las zonas con extensión disponible se puede realizar la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023.				
¿Qué zonas cuentan con la altitud necesaria para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán?	Identificar las zonas que cuentan con la altitud necesaria para la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán.	En las zonas con altitud de terreno suficiente se puede realizar la construcción de atrapanieblas en los distritos de Sama Las Yaras e Inclán, 2023.				