

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y GEOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA



ANÁLISIS ESPACIAL DE LA RED METEOROLÓGICA NACIONAL: UN CASO DE
ESTUDIO EN EL CENTRO-SUR DE CHILE

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFO

Tesista: Juan Pablo Mardones Uribe

Profesor guía: Dr. Octavio Rojas Vilches

Concepción, Ciudad Universitaria, 2023

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	9
PROBLEMÁTICA	11
HIPÓTESIS	16
OBJETIVOS	16
4.1 Objetivo General	16
4.2 Objetivos Específicos	16
MARCO TEÓRICO.....	17
5.1 Gestión de los Recursos Hídricos y monitoreo	17
5.2 Evaluación de los Recursos Hídricos.....	18
5.2.1 Concentración de datos hidrológicos e hidrometeorológicos	20
5.3 Tipos de estaciones y redes	22
5.3.1 Tipos de estaciones	22
5.3.2 Redes de observación	24
5.3.3 Red hidrométrica y Red meteorológica.....	30
5.4 Servicios Hidrológicos y/o Meteorológicos	30
5.4.1 En el mundo.....	30
5.4.2 Latinoamérica	31
5.4.3 Chile.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS	35
6.1 Área de estudio	35
6.1.1 Localización	35
6.1.2 Geomorfología	36
6.1.3 Clima.....	38
6.2 Metodología	41
6.2.1 Diagnóstico espacial de la red	41
6.2.2 Caracterización de la percepción de los actores sobre la red.....	44
6.2.3 Propuesta de localización de estaciones meteorológicas	53
RESULTADOS.....	60

7.1 Resultados	60
7.1.1. Diagnóstico espacial de la red	60
7.1.2. Caracterización de la percepción de los actores sobre la red.....	67
7.1.3. Propuesta de criterios de localización de estaciones meteorológicas ..	97
7.2. Análisis.....	102
DISCUSIÓN	117
CONCLUSIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un programa de evaluación básica de los recursos hídricos. 21	21
Figura 2. Escala horizontal (metros) y temporal (segundos) de los fenómenos meteorológicos.....	28
Figura 3. Área de estudio.....	36
Figura 4. Red meteorológica disponible por institución propietaria	40
Figura 5. Esquema metodológico de propuesta de localización óptima de estaciones meteorológicas.....	59
Figura 6. Base de datos construida por institución propietaria.....	61
Figura 7. Mapa de densidad de estaciones meteorológicas por unidad geomorfológica.....	65
Figura 8. Mapa de densidad de estaciones meteorológicas por cuenca.....	66
Figura 9. Resultado general de la pregunta: ¿En qué área(s) geográfica(s) cree usted que es necesario aumentar el monitoreo meteorológico?	68
Figura 10. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: ¿En qué área(s) geográfica(s) cree usted que es necesario aumentar el monitoreo meteorológico?	69
Figura 11. Resultado general de la pregunta: Seleccione la escala espacial que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad	71

Figura 12. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: Seleccione la escala espacial que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad
72

Figura 13. Resultado general de la pregunta: Seleccione la resolución temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad. 73

Figura 14. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: Seleccione la resolución temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad
74

Figura 15. Resultado general de la pregunta: ¿En qué área(s) geográfica(s) le interesa a su institución/actividad/empresa contar con información meteorológica de calidad? 76

Figura 16. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: ¿En qué área(s) geográfica(s) le interesa a su institución/actividad/empresa contar con información meteorológica de calidad?. 77

Figura 17. Resultado general de la pregunta: Seleccione la cobertura temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad 78

Figura 18. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: Seleccione la cobertura temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad
79

Figura 19. Resultado general de la pregunta: ¿Su organización/empresa/actividad utiliza de forma directa alguna de las siguientes redes o servicios a la hora de solicitar información meteorológica? 81

Figura 20. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: ¿Su organización/empresa/actividad utiliza de forma directa alguna de las siguientes redes o servicios a la hora de solicitar información meteorológica? 82

Figura 21. Resultado general de la pregunta: ¿A través de cuál(es) de los siguientes medios su empresa/actividad/organización accede a la red de datos meteorológicos para su área de interés? 84

Figura 22. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: ¿A través de cuál(es) de los siguientes medios su empresa/actividad/organización accede a la red de datos meteorológicos para su área de interés? 85

Figura 23.Resultado general de la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad de acceso a la red de datos meteorológicos?	86
Figura 24.Resultados por sector económico de la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad de acceso a la red de datos meteorológicos?.....	87
Figura 25.Resultados por categoría de uso de la información meteorológica de la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad de acceso a la red de datos meteorológicos?87	
Figura 26.Resultado general de la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad del servicio meteorológico para el área de interés de su institución/actividad/empresa?	88
Figura 27.Respuestas por sector económico a la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad del servicio meteorológico para el área de interés de su institución/actividad/empresa?	89
Figura 28.Respuestas por categoría de uso de la información meteorológica a la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad del servicio meteorológico para el área de interés de su institución/actividad/empresa?.....	89
Figura 29.Respuesta general a la pregunta: ¿Considera como solución a la problemática el integrar las redes estudiadas en una sola entidad como, por ejemplo, un SHMN?	91
Figura 30.Respuestas por sector económico a la pregunta: ¿Considera como solución a la problemática el integrar las redes estudiadas en una sola entidad como, por ejemplo, un SHMN?	91
Figura 31.Respuestas por categoría de uso de la información meteorológica a la pregunta: ¿Considera como solución a la problemática el integrar las redes estudiadas en una sola entidad como, por ejemplo, un SHMN?.....	92
Figura 32.Respuesta general a la pregunta: ¿Qué tan de acuerdo está con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio?	
93	
Figura 33.Respuestas por sector económico a la pregunta: ¿Qué tan de acuerdo está con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio?	93
Figura 34.Respuestas por categoría de uso de la información meteorológica a la pregunta: ¿Qué tan de acuerdo está con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio?.....	94
Figura 35.Resultado general de la pregunta: ¿Qué tan factible de realizar considera la medida anterior?.....	95
Figura 36.Respuestas por sector económico a la pregunta: ¿Qué tan factible de realizar considera la medida anterior?	95

Figura 37.Respuestas por categoría de uso de la información meteorológica a la pregunta: ¿Qué tan factible de realizar considera la medida anterior?	96
Figura 38.Criterios y sus ráster reclasificados	100
Figura 39.Propuesta de localización de estaciones meteorológicas	101
Figura 40.Densidad de monitoreo respecto de los valores mínimos recomendados por la OMM y comunas afectadas.....	106
Figura 41.Estaciones propuestas y densidad de monitoreo en la cordillera de la costa	107
Figura 42.Actores críticos versus actores positivos: ¿En qué área(s) geográfica(s) cree usted que es necesario aumentar el monitoreo meteorológico?	109
Figura 43.Actores críticos versus actores positivos: ¿En qué área(s) geográfica(s) le interesa a su institución/actividad/empresa contar con información meteorológica de calidad?	110
Figura 44.Actores críticos versus actores positivos: Seleccione el tipo de información meteorológica que más se adecúa a las necesidades de su organización/empresa/actividad	111
Figura 45.Actores críticos versus actores positivos: Seleccione la escala espacial que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad	112
Figura 46.Actores críticos versus actores positivos: Seleccione la resolución temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad	112
Figura 47.Actores críticos versus actores positivos: ¿Su organización/empresa/actividad utiliza de forma directa alguna de las siguientes redes o servicios a la hora de solicitar información meteorológica?.....	113
Figura 48.Actores críticos versus actores positivos: ¿A través de cuál(es) de los siguientes medios su empresa/actividad/organización accede a la red de datos meteorológicos para su área de interés?	114
Figura 49.Actores críticos versus actores positivos: ¿Cómo evalúa la calidad de acceso a la red de datos meteorológicos?	114
Figura 50.Actores críticos versus actores positivos: ¿Considera como una solución integrar las redes estudiadas bajo una misma entidad como por ejemplo un Servicio Hidrológico y Meteorológico Nacional?	115
Figura 51.Actores críticos versus actores positivos: ¿Qué tan de acuerdo está con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio?	116

Figura 52. Actores críticos versus actores positivos: ¿Qué tan factible de realizar considera la medida anterior? 116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de estaciones según fin	23
Tabla 2. Escalas meteorológicas horizontales	27
Tabla 3. Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie en km ² por estación).....	29
Tabla 4. Catastros encontrados y sus fuentes.....	42
Tabla 5. Ítems de identificación del actor y de su relación con la información meteorológica.....	45
Tabla 6. Preguntas relativas al acceso, disponibilidad y fiabilidad de los datos demandados por los actores.	46
Tabla 7. Actores encuestados	49
Tabla 8. Fundamentación de criterios de localización de estaciones recopilados	53
Tabla 9. Espacialización de los criterios de localización de estaciones meteorológicas.....	56
Tabla 10. Valores y descripción de los píxeles de entrada al análisis multicriterio	57
Tabla 11. Número de estaciones por gestor en la base de datos construida	61
Tabla 12. Clasificación de estaciones por gestor.....	62
Tabla 13. Resultados de la ponderación de criterios de localización óptima de estaciones meteorológicas.....	97
Tabla 14. Valores mínimos de densidad recomendados por OMM expresados en número de estaciones por KM ²	105
Tabla 15. Área por debajo de los valores mínimos de densidad de monitoreo recomendados por la OMM para las macrounidades geomorfológicas estudiadas	105

RESUMEN

La recolección de datos hidrométricos es una tarea básica y fundamental para la Gestión de los Recursos Hídricos en cualquier parte del mundo. Dentro de ellos se encuentran los datos hidrometeorológicos, cuya obtención en Chile se realiza mediante distintas instituciones sin coordinación entre ellas, generando incertidumbre en la calidad de los datos y un déficit de integración de información.

Para vislumbrar los posibles efectos de esta fragmentación de roles en la planificación de la red, se trabajó con la red nacional de estaciones meteorológicas y se analizó su distribución. Para ello, mediante el software ArcGIS 10.8.2 se elaboró un mapa de densidad de la red, el cual fue sometido a un análisis en conjunto con actores relevantes. Como complemento se caracterizó la demanda de datos de los actores y su percepción ante la problemática institucional del monitoreo meteorológico en el país. Finalmente, los actores definieron criterios más idóneos a la hora de localizar una estación.

Los principales resultados indicaron que existe una disparidad territorial en el monitoreo meteorológico expresada en falta de cobertura de estaciones en la Cordillera de la Costa, Precordillera y Cordillera de los Andes. Los sectores económicos más afectados correspondieron a Agricultura/Regantes y Turismo, mientras que los usos más afectados son Investigación & Docencia y Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos. Finalmente, los actores señalaron que una integración de las redes podría significar una solución a este problema.

Se concluye que la centralización de la gestión hídrica estaría relacionada con una red poco eficiente y que, al no haber coordinación, las redes institucionales evolucionan de manera individual en el territorio, provocando deficiencias en la obtención de datos.

Palabras clave: Estación meteorológica, Red meteorológica, Planificación de la red, SIG.



TESIS FINANCIADA MEDIANTE PROYECTO FONDECYT N° 1212032
“ESCENARIOS DE INUNDACIONES FLUVIALES EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO Y DE USO DE SUELO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL CENTRO-SUR DE CHILE: APORTES PARA UNA PLANIFICACIÓN URBANA SOSTENIBLE”

INVESTIGADOR RESPONSABLE DR. OCTAVIO ROJAS VILCHES

INTRODUCCIÓN

Dentro de los temas que el informe de la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA), celebrada en Dublín en 1992 señala como una de las tareas que deben llevar a cabo los servicios hidrológicos en la consecución de las metas vinculadas al desarrollo sostenible es la Evaluación de los Recursos Hídricos (ERH). La Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1998, la señaló como el primer paso a llevar a cabo por los administradores de los recursos hídricos para cumplir con el objetivo de afrontar adecuadamente las necesidades hídricas presentes y futuras. Esto implica, en parte, asegurar uno de los pasos básicos para una Evaluación de los Recursos Hídricos fiable, el cual es el de la recolección de datos base.

Euscátegui (2014), resalta la importancia a los datos hidrometeorológicos para la generación de productos a nivel ambiental y en lo asociado a la gestión del riesgo de desastre. El conocimiento del tiempo, el clima y su variabilidad, los escenarios de cambio climático y la predicción meteorológica son de enorme importancia para la planificación y gestión de diversas actividades, a saber: energía, agricultura, ganadería, minería, industria, construcción, turismo, sanidad, protección civil, aeronáutica, navegación, planificación urbana, etc., (Dirección de Planeamiento DIRPLAN, 2006; López, 2014).

En torno a ello Domínguez *et al.*, (2006), señalan que la estructuración y materialización de los sistemas de monitoreo en nodos físicos de observación, en la mayoría de los países, carecen de una debida etapa inicial de diseño y posterior proyección. Según los autores, esto se debe a, primero, la presión coyuntural de las premisas del paradigma socioeconómico hegemónico de las potencias de aquel

entonces (EE. UU., URSS, Europa) y, segundo, a la repentina expansión agrícola e hidroenergética latinoamericana en el periodo 1950-1973. Esto provocó una sectorialización en la concepción de las redes (militar, aeronáutico, agroindustrial, energético, etc.), las cuales, para su desarrollo, no tomaron en cuenta la naturaleza íntegra de las variables hidrometeorológicas siendo analizadas de forma independiente. Esto dio lugar al surgimiento de redes aisladas, las cuales, en un posterior esfuerzo de optimización fueron fusionadas, presentando defectos de traslape y discontinuidades espaciotemporales de muestreo.

En Chile, el Banco Mundial (2013) identifica un deterioro en la calidad y cantidad de datos hidrometeorológicos producto de una falta de coordinación de las instituciones involucradas en el proceso de obtención de la información lo que podría estar afectando la fiabilidad de los datos.

Las últimas tendencias en materia de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) indican que, para responder en el futuro a las necesidades de los gestores hídricos, será necesaria una mayor coordinación de las actividades de recopilación de estos datos (OMM, 2011a). Se suma a esto los actuales problemas de accesibilidad, compatibilidad y fiabilidad de los datos los cuales deben ser resueltos ante un panorama multidisciplinario de la GIRH.

Así las cosas, la presente investigación apunta a vislumbrar cómo esta fragmentación institucional ha repercutido en la planificación de la red hidrometeorológica nacional tomando como caso de estudio la red de Chile centro-sur.

PROBLEMÁTICA

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (2011b), el control de la calidad y la cantidad del agua de los sistemas naturales es imprescindible para averiguar en qué medida es posible mantener los actuales sistemas de vida.

En las últimas décadas, los cambios socioeconómicos y ambientales relacionados a un aumento de la demanda por los recursos naturales, degradación ambiental, desastres naturales y cambio climático (Banco Mundial, 2013; OMM, 2011b; MMA, 2014) han resultado en un mayor interés por fortalecer y complementar la capacidad de gestión del recurso hídrico y han colocado nuevamente en la palestra la importancia de una GIRH (Dourojeanni *et al.*, 2002).

Para ello, la evaluación de los recursos hídricos se constituye como un requisito previo (DIRPLAN, 2006; OMM, 2011b). Disponer de la información necesaria (fuentes, extensión, fiabilidad y calidad), es el punto de partida para evaluar la posibilidad de utilización y control del agua (UNESCO/OMM, 1997, citado en OMM, 2011b).

La tarea de monitorear las variables hidrológicas se debe llevar a cabo por los Servicios Hidrológicos y/o Meteorológicos Nacionales (OMM, 2011b). Con el propósito de brindar información a los encargados de la toma de decisiones en torno al agua, deben instalar, con una cierta y definida racionalidad, una red de estaciones de observación en su territorio (DIRPLAN, 2006). De la adecuada disposición de estas redes y con ello, de la calidad de los datos disponibles, dependerá la apropiada asignación de los recursos y la distribución de los beneficios relativos a los recursos hídricos (OMM, 2011a). Es importante indicar que el diseño y planificación de redes, obedece tanto a necesidades nacionales como locales, recursos disponibles y técnicas utilizadas (OMM, 2011a y 1972; WMO, 1994; Gandin, 1970).

En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica pueden facilitar muchas de las tareas de aplicación de los criterios utilizados en el diseño y planificación de una red. La fácil recopilación e interpretación de los datos necesarios y la posibilidad de cartografiarlos y representarlos rápidamente permite una integración más efectiva de la información (OMM, 2011a).

La OMM destaca la importancia de un marco general de datos geospaciales que aporte información contextual y de referencia respecto de un país o región. Al respecto señala que *“esta información consistirá en datos de alineación, por ejemplo, de control geodésico; datos sobre accidentes del terreno, por ejemplo, fisiográficos; y datos conceptuales, por ejemplo, dependencias estatales”* (OMM, 2011a). Esta información es importante en tanto representa el territorio sobre el cual se planifica una red de monitoreo. Los diferentes aspectos técnicos necesarios para la planificación tales como la naturaleza de los diversos elementos hidrológicos; los principios y métodos de que se dispone; las finalidades que se persiguen; los problemas particulares del medio ambiente local; y los instrumentos empleados para realizar las observaciones (OMM, 1972), necesitan de la variable territorial para ser definidos.

Particularmente, el territorio chileno está surcado por más de 200 ríos y esteros que drenan la Cordillera de los Andes hacia el océano Pacífico. Su geografía única provee una extraordinaria variedad de condiciones climáticas y geomorfológicas (Rojas *et al.*, 2014). La mitad norte del país, de condiciones áridas, posee una esorrentía media per cápita de 800 m³ año. Al otro lado, en la mitad sur, la disponibilidad media varía entre de 10.000m³ a más de 170.000m³ al año (IANAS, 2012, citado en Banco Mundial, 2013).

En términos de sectores, el mundo agrícola se inscribe como el principal usuario de agua con un 73% de las extracciones, le siguen la minería y los usos industriales con un 21% y finalmente el sector sanitario con el 6% restante. Por otra parte, la hidroelectricidad se constituye como el mayor uso no consuntivo (Banco Mundial, 2011).

En las últimas tres décadas ha aumentado la presión sobre los recursos existentes debido a las características de la estructura económica del país basada en actividades de gran requerimiento del recurso hídrico (cobre, fruticultura, vino, celulosa, salmonicultura), la megasequía (Garreaud *et al.*, 2020), y al incremento de la población, entre otros factores (Dourojeanni y Jouravlev, 1999, citado en Banco Mundial, 2013). La competencia por el recurso es particularmente aguda en la zona norte del país en donde desde mediados del siglo XX el agua superficial ha sido en su mayoría asignada (Peña, 2009).

Además, Chile cumple con lo señalado en la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUC¹) en su artículo 4, número 8, sobre países que se consideran especialmente vulnerables frente a los efectos del cambio climático (2ª Comunicación Nacional de Cambio Climático, 2011, citado en MMA, 2014). De acuerdo con el trabajo en torno al impacto climático en Chile realizado por la Universidad de Chile en 2012, la región ubicada entre la cuenca del Río Mataquito (35°S), y la cuenca del Río Biobío (38°S), se conforma como un territorio particularmente expuesto a los impactos del cambio climático. Según el estudio, se proyecta un aumento de entre 0,5°C y 1,5°C la temperatura para el periodo 2031-2050 en Chile central (32°S a 38°S). En cuanto a la precipitación, para el mismo periodo, se prevé una disminución de hasta un 20%, destacándose la zona ubicada entre los 35°S y 45°S por mostrar signos robustos para esta predicción, es decir,

existe coincidencia entre los resultados de varios modelos que proyectan esta disminución (MMA, 2014).

Si sumamos a esto las proyecciones de desarrollo del país (Banco Mundial, 2011); y el aumento de fenómenos como la disminución de la calidad de las fuentes de abastecimiento, el incremento en la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos más frecuentes (Borregaard *et al.* 2012), se pone en evidencia la urgente necesidad de fortalecer la capacidad de evaluar y monitorear las disponibilidades, extracciones y consumos de agua (Banco Mundial, 2013).

Por ende, el Banco Mundial (2013), apunta como necesario abordar la gestión de los recursos hídricos en Chile mediante una <<Mejora en la obtención de información, manejo de datos y generación del conocimiento de los recursos hídricos>>. Para esta acción identifica limitaciones e insuficiencias relativas a la obtención, gestión y generación de conocimiento hídrico. Asegura que se debe completar y mejorar la información además de hacerla más accesible y útil.

En relación al plano institucional el organismo señala una *“Inadecuada delimitación y coordinación de funciones entre los organismos que intervienen en la gestión de las aguas”* entre otras cuestiones. En esa misma línea, señala algunos casos relevantes de superposiciones, duplicidades o vacíos institucionales que afectan el desempeño de las funciones necesarias para la GRH. En particular, para la función <<Obtención y Difusión de Información Hidrológica y Meteorológica>> se señala que *“participan múltiples instituciones, todas generando distintas informaciones con poco nivel de intercambio o coordinación lo que genera incertidumbre sobre la calidad de la información y falta total de datos clave para la gestión.”*

Esta fragmentación de roles y responsabilidades impide actuar en el terreno (Banco Mundial, 2013), lo que podría afectar el desempeño de la función y, por lo tanto, su eficiencia.

HIPÓTESIS

La centralización de la gestión del recurso hídrico en Chile estaría relacionada con una red hidrometeorológica mal distribuida o planificada de manera poco eficiente, que se expresaría en una baja cobertura de estaciones en áreas geográficas menos pobladas.

OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Analizar la distribución espacial de la red meteorológica nacional en una región de la zona centro-sur de Chile.

4.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar espacialmente la red hidrometeorológica en una región del centro sur de Chile.
2. Caracterizar la percepción de los actores clave entorno a distribución y planificación de la red hidrometeorológica.
3. Proponer criterios espaciales para distribución y localización óptima de estaciones.

MARCO TEÓRICO

5.1 Gestión de los Recursos Hídricos y monitoreo

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos es el modelo de manejo y gestión aceptado actual e internacionalmente para el desarrollo y gestión eficiente, equitativo y sostenible del recurso (Manejo y gestión de cuencas hidrográficas, 2016).

La Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership – GWP) define la gestión integrada del agua como *“un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”*.

Por su parte, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), señala que la gestión integrada del agua implica *“tomar decisiones y manejar los recursos hídricos para varios usos de forma tal que se consideren las necesidades y deseos de diferentes usuarios y partes interesadas”* (OMM, 2011b, p. 42). Según el mismo organismo, la GIRH comprende la gestión del agua superficial y subterránea en un sentido cualitativo, cuantitativo ecológico y desde una perspectiva multidisciplinaria (Dourojeanni *et al.*, 2002).

De acuerdo a estas y otras definiciones, Dourojeanni *et al.*, (2002) concluye que la GIRH integra: los intereses de los diversos usos y usuarios de agua y la sociedad en su conjunto; todos los aspectos del agua que tengan influencia en sus usos y usuarios (cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia), y de la gestión de la oferta con la gestión de la demanda; las diferentes fases del ciclo hidrológico; la gestión de la tierra y otros

recursos naturales y ecosistemas relacionados; y la gestión del agua en el desarrollo económico, social y ambiental.

5.2 Evaluación de los Recursos Hídricos

De acuerdo con OMM (2011a) la evaluación de los recursos hídricos constituye el requisito previo para su gestión. Por lo tanto, las actividades nacionales deberán concentrarse en disponer de la información que haga posible esta evaluación (DIRPLAN, 2006). El Glosario Internacional de Hidrología define la Estimación de Recursos Hídricos como la *“determinación de las fuentes, extensión, fiabilidad y calidad de los recursos hídricos para su utilización y control”*. Por otra parte, define a los recursos hídricos como *“Recursos disponibles o potencialmente disponibles en cantidad y calidad suficientes, en un lugar y en un período de tiempo apropiados para satisfacer una demanda identificable”* (UNESCO/WMO, 1992, citado en OMM/UNESCO, 1998, p. 12).

En relación con ello, la OMM (2011b) señala que la creación de una base de datos adecuada es un prerrequisito fundamental para evaluar y gestionar los recursos hídricos. Esto posibilita el adecuado desarrollo de un amplio rango de actividades tales como el abastecimiento de agua potable a la población; proyectos de riego, mineros, hidroeléctricos e industriales; el control de los impactos de las crecidas; la realización de planes de descontaminación y de preservación de los ecosistemas acuáticos; y muchos otros (DIRPLAN, 2006).

La OMM en conjunto con la UNESCO (OMM/UNESCO, 1998), definen tres fases en la evaluación de los recursos hídricos. La primera de ellas consiste en una Evaluación Básica de los Recursos Hídricos (EBRH). La segunda *en “la ampliación de las redes e investigaciones más detalladas, para cumplir con los requerimientos del desarrollo*

de proyectos de recursos hídricos”. Y la tercera en “la provisión de datos e informaciones requeridos para la administración integrada de recursos hídricos.” (datos medioambientales, sociales, culturales, etc.).

La EBRH se define como *“el inventario de los recursos hídricos disponibles para distintos usos incluida su variación espacio temporal en cantidad y calidad”* (OMM/UNESCO, 1998, p. 11). Según el organismo este inventario lo integran tres componentes:

a) Concentración de datos hidrológicos e hidrometeorológicos, es decir, *“datos históricos sobre los componentes del ciclo del agua en determinados puntos distribuidos en la zona en que se realiza la Evaluación de los Recursos Hídricos”* (OMM/UNESCO, 1998; OMM, 2009).

b) Concentración de datos fisiográficos, es decir, *“datos sobre las características naturales del terreno que determinan las variaciones zonales y temporales de los componentes del ciclo del agua, tales como la topografía, los suelos, la geología de superficie y los lechos rocosos, la utilización de la tierra y la capa vegetal”*. Estos datos se consideran auxiliares y se utilizan para interpolar datos de redes en cualquier punto de la zona que se examina (OMM/UNESCO, 1998; OMM, 2009 & 2011a).

c) Técnicas de evaluación zonal de los recursos hídricos, es decir, *“técnicas de transformación de los datos e información y de vinculación de los datos hidrológicos con los fisiográficos, con el objeto de obtener una estimación de las características de los recursos hídricos en cada punto de la zona considerada”* (OMM/UNESCO, 1998).

5.2.1 Concentración de datos hidrológicos e hidrometeorológicos

De acuerdo con la OMM y la UNESCO (1998), para la EBRH se necesitan “*datos sobre la variación temporal y espacial de los flujos y de las características físicas, químicas y biológicas del agua presente en los distintos elementos del ciclo hidrológico*”. Estos datos se pueden clasificar en hidrométricos, climatológicos y datos de aguas subterráneas (OMM, 2006, citado en OMM, 2009).

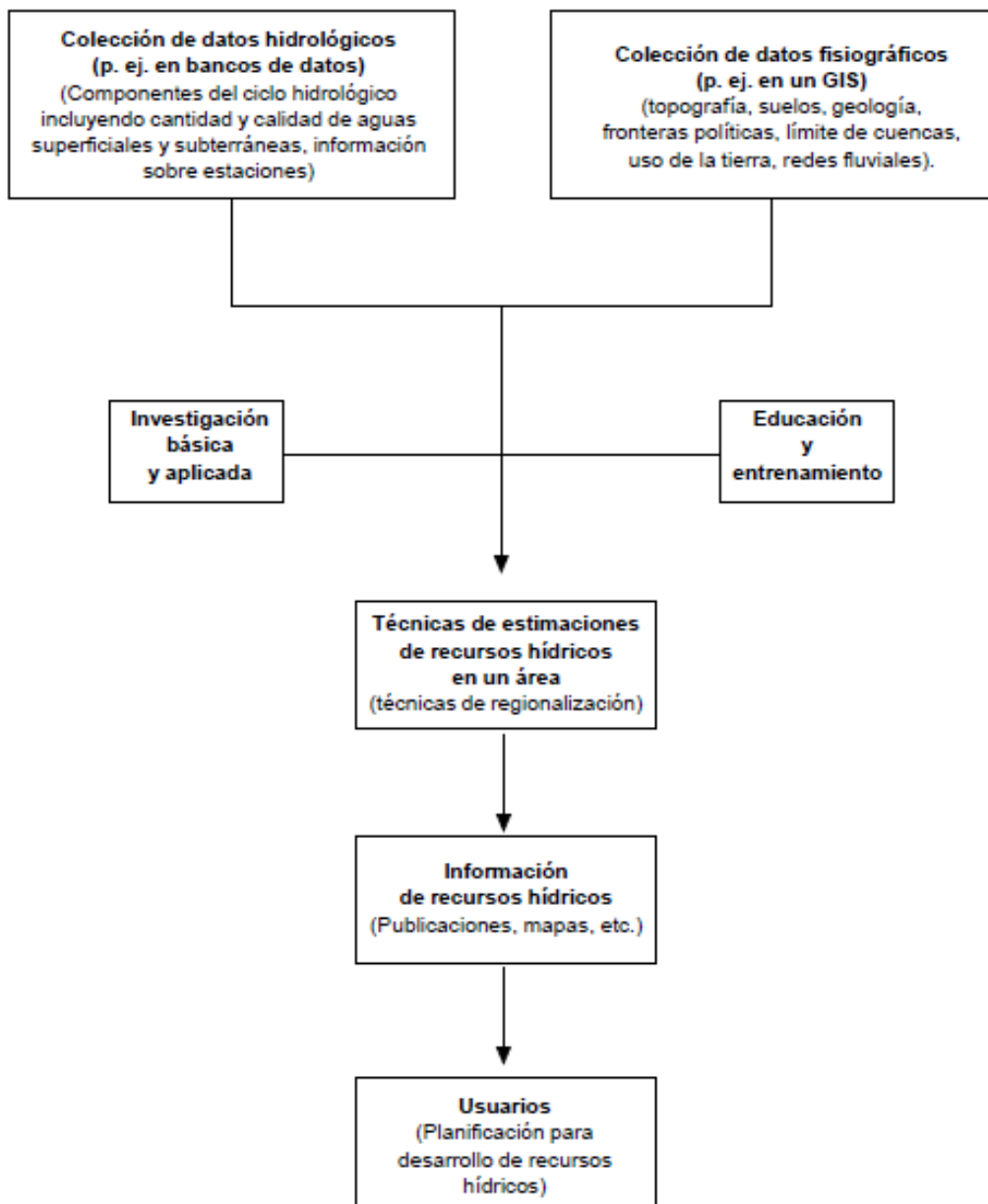
- **Datos hidrométricos**

Los datos hidrométricos incluyen medición de flujo y altura fluvial; altura de lagos y embalses; caudal de sedimentos y sedimentación; calidad del agua; temperatura del agua; capa de hielo sobre ríos y lagos (OMM, 2011a); y características del cauce de los ríos (OMM, 2009).

- **Datos meteorológicos para fines hidrológicos**

Estos datos incluyen medidas de precipitación, evapotranspiración y sondeos nivométricos (OMM, 2009 y 2011a), además de datos auxiliares como temperatura del aire, radiación, viento, humedad, presión barométrica y datos sinópticos (OMM, 2009).

Figura 1. Componentes de un programa de evaluación básica de los recursos hídricos.



Fuente: OMM/UNESCO, 1998

5.3 Tipos de estaciones y redes

5.3.1 Tipos de estaciones

En primer lugar, es necesario mencionar que las observaciones meteorológicas se realizan por diversas razones. Se utilizan para la preparación en tiempo real de análisis meteorológicos, predicciones y avisos de tiempo violento, para el estudio del clima, para las operaciones locales sensibles a las condiciones meteorológicas, para la hidrología y la meteorología agrícola, y con fines de investigación meteorológica y climatológica, entre otros (OMM, 2014).

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, define como estación meteorológica *“el lugar donde se hacen las observaciones y mediciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos, usando instrumentos apropiados, con el fin de establecer el comportamiento atmosférico de las zonas de un territorio”* (IDEAM, 2005, citado en López, 2014, p. 2). Sin embargo, deja afuera las mediciones móviles de los diferentes parámetros. En ese sentido, la definición de DGA (1977) es más amplia, definiéndola como la instalación física donde se mide por lo menos un parámetro meteorológico.

5.3.1.1 Clasificación según fin

Las estaciones meteorológicas son clasificadas de acuerdo con las normas técnicas de la OMM, teniendo en cuenta los fines para las que son instaladas (IDEAM, 2005, citado en López Jiménez, 2014) (ver Tabla 1), el Anexo 1 describe las principales clasificaciones.

Tabla 1. Clasificación de estaciones según fin

A. Estación agrometeorológica	A1. Principal A2. Ordinaria A3. Auxiliar A4. Fines específicos
B. Estación climatológica	B1. Principal B2. Ordinaria B3. De referencia B4. Fines específicos
C. Pluviográfica	-
D. Pluviométrica	-
E. Estación sinóptica	E1. Principal E2. Secundaria
F. Estaciones destinadas a fines operativos	-
G. Otras de carácter específico	G1. Estación radiométrica <ul style="list-style-type: none"> • Principal • Ordinaria G2. Estación de detección de parásitos atmosféricos G3. Estación de observación de la capa límite planetaria G4. Estación meteorológica aeronáutica G5. Estación ozonométrica G6. Estación costera G7. Estación de la Red de Observación en Superficie del SMOG (ROSS) G8. Estación especial <ul style="list-style-type: none"> • Otras estaciones perfiladoras por teledetección • Estaciones de localización de rayos • Estaciones a bordo de aeronaves de reconocimiento meteorológico • Estaciones de Vigilancia de la Atmósfera Global

Fuente: Elaboración propia a partir de OMM 2010.

5.3.1.2 Tecnología de la estación

De acuerdo con su tecnología se clasifican en (IDEAM, 2019):

A) Convencional: Estación donde la toma del dato la efectúa un observador y la registra en una libreta para luego enviarla a los técnicos para que se capture y procesen estos datos.

B) Automática con telemetría: Estación que obtiene los datos de manera automática mediante sensores de diferente tipo y que tiene la capacidad de enviarlos de manera

automática al centro de recepción por diferentes medios de transmisión (satelital, radiofrecuencia, GPRS, etc.).

C) Automática sin telemetría: Estación que obtiene los datos de manera automática mediante sensores de diferente tipo y que tiene la capacidad de almacenarlos en un dispositivo dentro de la misma estación. No puede enviar los datos de manera automática. Los datos deben ser obtenidos por una persona que se conecta al sitio donde la estación almacena los datos.

5.3.2 Redes de observación

En relación con la eficacia de los programas de adquisición de datos hidrológicos, la OMM señala algunos puntos:

1. Depende de la cantidad de información útil que estos programas facilitan en relación con el esfuerzo desplegado (OMM, 1972; WMO, 1994).
2. También puede lograrse mediante la transferencia de información, según la cual: a) una estación facilita información para otros lugares y horas, con margen de error previamente determinado, y b) cada red de datos puede facilitar información sobre los elementos medidos por la otra (OMM, 1972; WMO, 1994).
3. Como corolario del punto anterior, una estación puede formar parte de más de una red. Alternativamente, una única red puede constar de varios tipos de estaciones o dispositivos de medición si todos ellos aportan información al objetivo de la red (OMM, 2011a).
4. Debido a que en general una red de datos brinda información a intereses con diversos objetivos y a que no hay certeza de los datos que se necesitarán en el futuro (WMO, 1994), los Servicios Hidrológicos y/o Meteorológicos

Nacionales deben propender al desarrollo de un cuerpo de datos versátil o “de fines múltiples” (OMM, 2011a).

Por otro lado, el reglamento técnico No-49 “Normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas” de la OMM (2019), señala lo siguiente en relación a sus miembros:

1. Deberían establecer y explotar sus subsistemas de superficie como un único sistema mixto de estaciones y plataformas de observación.
2. Deberían adoptar un enfoque de red mixta con observaciones procedentes de diversas fuentes, en particular de los SMHN y otros organismos gubernamentales, instituciones académicas y de investigación, el sector comercial y el público en general.

En lo relativo al diseño de redes de observación, la Guía del Sistema Mundial de Observación OMM-Nº 488 (2010), señala que en toda red se deben aplicar los siguientes criterios:

1. El emplazamiento de cada estación debe ser representativo de las condiciones existentes tanto en el espacio como en el tiempo;
2. La separación de las estaciones y los intervalos entre las observaciones deben corresponder con la resolución espacial y temporal deseada de las variables meteorológicas que han de medirse u observarse; y
3. El número total de estaciones debe, por razones de economía, ser tan pequeño como sea posible, pero tan grande como se precise para satisfacer las distintas necesidades.

5.3.2.1 La red básica

Si la saturación de puntos de monitoreo en el territorio fuese económicamente factible, los mecanismos de transferencia de información y el análisis de red no serían necesarios. Sin embargo, en la práctica esto no es así, por lo que se hace necesario el análisis de red. Este análisis tiene que ver con decisiones en torno a la ubicación de la estación, tipo de datos a recoger, frecuencia de recopilación y longitud de registros, lo cual debe realizarse en contextos socioeconómicos y tecnológicos dinámicos (WMO, 1994).

Debido a la incertidumbre ante las necesidades de datos hidrológicos futuros, la OMM (2011a), señala que sus miembros deberán disponer de una “red básica” la cual debería excluir la posibilidad de graves errores en las decisiones sobre los recursos hídricos nacionales. Esta red debe cumplir tres criterios (OMM, 2011a y 1970; Gandín, 1970):

- A) Debe poseer un mecanismo de transferencia de información en zonas sin monitoreo en el área por ella abarcada
- B) Se debe disponer de un medio para estimar el volumen de información en cualquiera de los emplazamientos
- C) Entre las decisiones adoptadas deberá figurar la posibilidad de recopilar un mayor número de datos antes de adoptar la decisión final.

5.3.2.2 La red mínima

La OMM (1967), muestra que la primera etapa en la creación de una red básica eficiente es el establecimiento de una red mínima. Ésta debería estar integrada por el número mínimo de estaciones que, en base a la experiencia conjunta de los organismos hidrológicos de numerosos países, se revelen necesarias para iniciar la planificación del desarrollo económico de los recursos hídricos nacionales (OMM,

2011a; López, 2014). A partir de esta red se debería poder estimar las condiciones hidrológicas generales y en particular la precipitación y la escorrentía en cualquier punto del área por ella abarcada (Ortiz *et al.* 2005).

5.3.2.3 Ampliación de la base de información

Con el tiempo la red mínima deberá ser sometida a ajustes con el objetivo de obtener el volumen de información apropiada a los requerimientos locales. En la mayoría de los casos este ajuste incrementa la densidad de la red. Sin embargo, esto no necesariamente siempre es así, ya que la calidad del modelo es fundamental para definir la densidad de la red (OMM, 2011a).

5.3.2.4 Representatividad

La representatividad de una observación es el grado de exactitud con el que describe el valor de una variable necesaria para una finalidad específica (OMM, 2014). La resolución espacial y temporal de una observación es relativa a una aplicación específica (OMM, 2014 y 2010). Para ello, la configuración de la red de observación para un determinado fin debe definir los valores de densidad y la frecuencia de sus mediciones (OMM, 2014).

5.3.2.5 Densidad

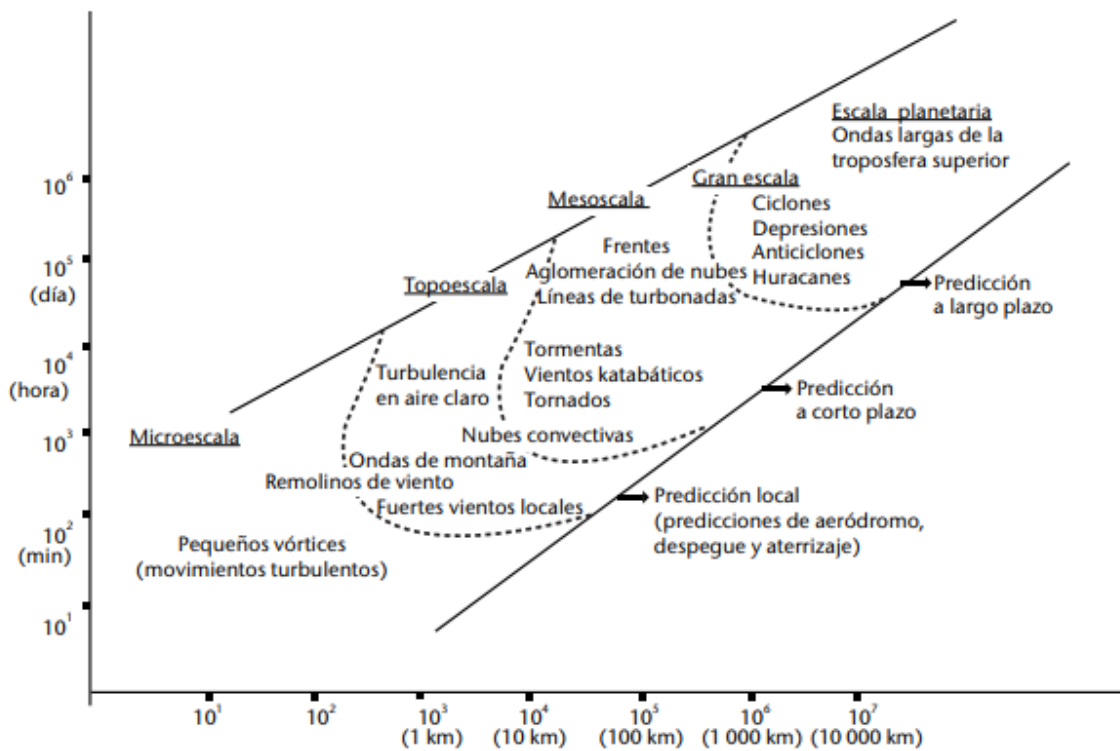
De esta manera, la densidad de una red de observación está ligada en gran medida a la escala espacial y temporal de los fenómenos que han de medirse (OMM, 1996, 1997 y 2010; Gandín, 1970; López, 2014). La OMM (2014), cita a diversos autores (OMM, 2001 y 2010e; Orlanski, 1975), en su clasificación de escalas meteorológicas horizontales:

Tabla 2. Escalas meteorológicas horizontales

Nombre escala	Amplitud	Fenómeno
Microescala	<100m	p. ej.: meteorología agrícola; evaporación
Topoescala	100m - 3km	p. ej.: contaminación del aire; tornados
Mesoescala	3km - 100km	p. ej.: tormentas y brisa de mar y de montaña
Gran escala	100km - 3000km	p. ej.: frentes, diversos ciclones y formaciones de nubes
Escala planetaria	>3000km	p. ej.: ondas largas en la troposfera superior

Fuente: elaboración propia a partir de OMM 2014.

Figura 2. Escala horizontal (metros) y temporal (segundos) de los fenómenos meteorológicos.



Fuente: OMM 2011

5.3.2.6 Valores mínimos

Como se señaló anteriormente se debe comprender que la densidad de una red dependerá de factores como las condiciones y necesidades socioeconómicas y ambientales locales, los modelos y tecnologías utilizados y el objetivo de la red (OMM, 2011a; López, 2014).

En la Tabla 3 se recomiendan ciertos valores de densidad mínima respecto del monitoreo de la precipitación y la evaporación, para zonas climáticas y geográficas diferentes. Tales recomendaciones pretenden servir de guía cuando se carezca de directrices en la planificación de redes. Los valores están basados en la experiencia internacional en relación con la evaluación de redes básicas (OMM, 1992, citado en OMM, 2011a).

Tabla 3. Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie en km² por estación)

Unidad fisiográfica	Precipitación		Evaporación
	<i>No registradoras</i>	<i>Registradoras</i>	
Costa	900	9 000	50 000
Montaña	250	2 500	50 000
Planicie interior	575	5 750	5 000
Montes	575	5 750	50 000
Islas pequeñas	25	250	50 000
Áreas urbanas	-	19 a 20	-
Polos/tierras áridas	10 000	100 000	100 000

Fuente: OMM 2011a.

5.3.3 Red hidrométrica y Red meteorológica

La OMM (1996), define una red meteorológica como “*el conjunto de estaciones, convenientemente distribuidas, en las que se observan, miden y/o registran las diferentes variables, fenómenos y elementos atmosféricos que son necesarios en el conocimiento y la determinación del estado del tiempo y el clima de una región, para su posterior aplicación a diversos usos y objetivos*”.

En tanto, se define a una red hidrométrica como “*un conjunto de actividades de recopilación de datos diseñadas y utilizadas para cumplir un único objetivo o un conjunto de objetivos compatibles*” (OMM, 2011a).

Una red meteorológica puede ser parte de una red hidrométrica si la información meteorológica es utilizada con fines hidrológicos y viceversa. Por lo tanto, el tipo de red queda definido por los objetivos del monitoreo más que por su estructura material.

5.4 Servicios Hidrológicos y/o Meteorológicos

5.4.1 En el mundo

- Estados Unidos: *National Weather Service*. Cuenta con el *National Weather Service*, una de las agencias del NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Esta entidad brinda información relativa al clima, meteorología e hidrología a diversos sectores de la sociedad estadounidense. Cuenta con diversos centros de predicción ambiental (climática, hidrometeorológica, océano, clima del espacio, tormentas, tropical), aeronáutica, modelamiento ambiental, desarrollo hidrológico, meteorología espacial, etc.¹

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration <https://www.ncdc.noaa.gov/about>

- Suecia: Instituto Meteorológico e Hidrológico. El Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco (SMHI por sus siglas en inglés), funciona bajo dependencia del Ministerio de Medio Ambiente y utiliza su conocimiento en meteorología, hidrología, oceanografía y clima para prestar servicios a los diferentes sectores de la sociedad sueca. Estos servicios se relacionan con predicción, investigación, estadísticas, ciencias aplicadas y medioambiente en general.²
- España: Dirección General de Aguas y Agencia Meteorológica Estatal. En España la gestión de los recursos hídricos al igual que la gestión de la información meteorológica está a cargo del Ministerio para la transición ecológica. En el caso del agua es la Dirección General de Aguas la encargada de la gestión hídrica y en particular de la administración del sistema de información de los recursos hídricos. Cuenta con el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), el cual concentra toda la información relativa al agua de la nación (Legislación y Política de Aguas en España [PHN], 2014). Por otra parte, la Agencia Meteorológica Estatal (AEMET) es la entidad encargada de la administración de la red de estaciones climatológicas de la nación. La información acerca de la red de observación en superficie y sus productos se encuentran integrados en el SAIH y en el geoportal de la nación.

5.4.2 Latinoamérica

- Argentina: Servicio Meteorológico Nacional. Cuenta con el Servicio Meteorológico Nacional, entidad adscrita al Ministerio de Defensa de la

² Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco <https://www.smhi.se/en/>

nación. Cuenta con el Centro de Información Meteorológica (CIM), entidad cuya tarea es asesorar, suministrar y concentrar toda la información meteorológica nacional. La entidad presta servicios a los sectores: Agropecuario; Aeronáutico; Marino; Energía y Recursos Hídricos y al VAG (Global Atmosphere Watch Programme).³ Por otro lado, Argentina no cuenta con una autoridad nacional en materia hídrica, distribuyéndose su gobernanza entre ministerios, organismos públicos y niveles de gobierno (provincias), (Organización Económica para la Cooperación y el Desarrollo, 2020).

- México: Servicio Meteorológico Nacional. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), dependiente de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, es el órgano superior encargado de la gestión hídrica nacional. A su cargo tiene al Servicio Meteorológico Nacional. En relación con la información meteorológica y climatológica, sus funciones giran en torno a mantener informado al Sistema Nacional de Protección civil y al público en general; a la realización de estudios (labor compartida con el Instituto de Tecnología del Agua); y a mantener el Banco Nacional de Datos Climatológicos.⁴
- Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Cuenta con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), entidad dependiente del Ministerio del Medio Ambiente. Tiene como misión generar y proveer información y conocimiento meteorológico, hidrológico y climático para la sociedad peruana. Cuenta con cuatro direcciones: Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental

³ Servicio Meteorológico Nacional de Argentina <https://www.smn.gob.ar/>

⁴ Servicio Meteorológico Nacional de México <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

Atmosférica; Dirección de Hidrología; Dirección de Agrometeorología; y la Dirección de Redes de Observación y Datos.⁵

5.4.3 Chile

Chile cuenta con las siguientes instituciones a cargo de labores meteorológicas de interés público, a saber:

- Dirección General de Aguas. En Chile, de acuerdo con lo establecido en el Código de Aguas de 1981, la Dirección General de Aguas -en adelante DGA-, es el órgano único del Estado encargado del control y de establecer las directrices de los recursos hídricos nacionales. Entre sus funciones, se le otorga el deber de investigar y medir el recurso, para lo cual deberá mantener y operar el Servicio Hidrométrico Nacional además de encomendar los estudios e informes técnicos que para ello estime convenientes, así como proyectos de construcción, implementación y operación de obras de medición. También se señala el rol de coordinador de investigación relativa al mismo tema lo cual recae sobre entidades públicas y también privadas con financiamiento público (DGA, 2014).

Al Servicio Hidrométrico Nacional lo componen las siguientes redes: meteorológica; medición de nieves y glaciares; fluviométrica; sedimentométrica; piezométrica; y calidad de aguas (DIRPLAN, 2006).

- Dirección Meteorológica de Chile. La Dirección Meteorológica de Chile -en adelante DMC-, dependiente de la Dirección General de Aeronáutica Civil y esta, a su vez, del Ministerio de Defensa, es el organismo encargado del quehacer

⁵ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología <https://www.gob.pe/senamhi>

meteorológico en el país, cuyo propósito es satisfacer las necesidades de información y previsión meteorológica de todas las actividades nacionales. También cumple funciones ligadas a la investigación meteorológica y climatológica, a la vez que administra el Banco Nacional de Datos Meteorológicos.

- Servicio Meteorológico de la Armada de Chile -en adelante SERVIMET-: su misión es satisfacer oportunamente las necesidades de información meteorológica de la Dirección de Territorio Marítimo y Marina Mercante (en adelante DIRECTEMAR), y de los usuarios marítimos en general, a fin de contribuir al planeamiento y ejecución de las operaciones navales, y de la seguridad y operaciones marítimas (Servicio Meteorológico de la Armada de Chile, s.f.).

- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria: En líneas generales el Instituto de Investigaciones Agropecuarias -en adelante INIA-, es la institución de investigación, desarrollo e innovación vinculada al Ministerio de Agricultura cuya misión es contribuir a la sostenibilidad del sector agroalimentario a nivel global por medio de la investigación y desarrollo, la innovación, extensión y la transferencia tecnológica (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, s.f.). Para cumplir con sus funciones tiene a su cargo la Red Agrometeorológica INIA. De acuerdo con la página web de la red (<https://agrometeorologia.cl/>), esta integra estaciones de la propia institución más estaciones de la DMC, del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (en adelante CEAZA), de la Fundación para el Desarrollo Frutícola (en adelante FDF), entre otras. Además, integra la Red Agroclimática Nacional (RAN-Agromet), una asociación entre redes de estaciones INIA, FDF; la Asociación de Exportadores de Frutas de Chile A.G., el Centro Cooperativo para el Desarrollo Vitivinícola S.A.; Asociación Vinos de Chile A.G (en adelante Meteovid); y CEAZA (Red Agroclimática Nacional, s.f.).

MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

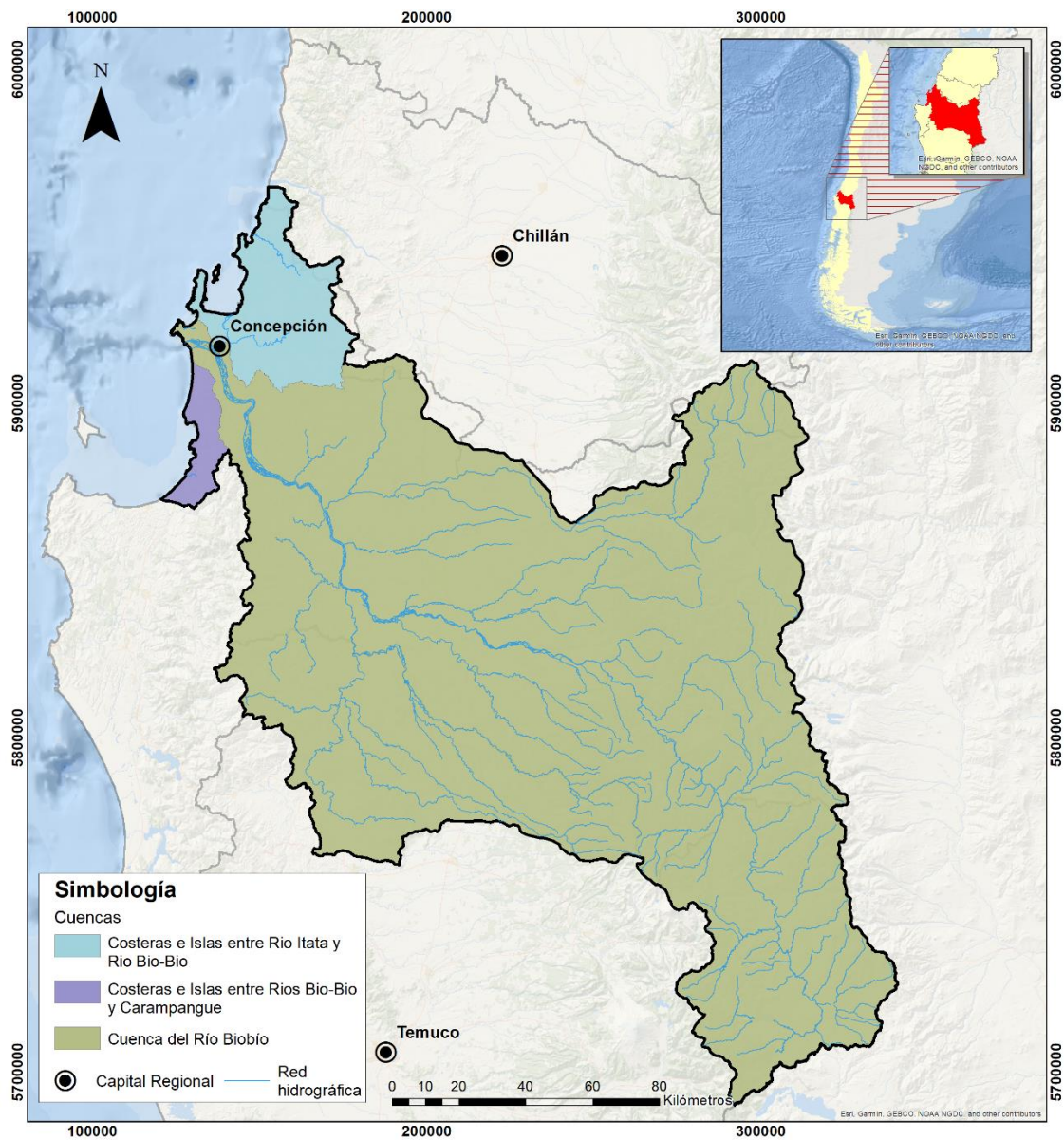
6.1.1 Localización

El área de estudio abarca la zona comprendida por la cuenca del Río Biobío y las cuencas costeras entre los ríos Itata y Carampangue (ver Figura 3). Está comprendida entre los paralelos 36°26'37" - 37°13'53" S y los meridianos 70°59'03" - 73°17'54" O, delimitando con la línea de costa por el oeste y el límite internacional con Argentina por el este. La superficie abarcada es de aproximadamente 23.079 Km², de los cuales 21.217 km² pertenecen a la cuenca del río Biobío y 1.862 Km² al grupo de cuencas costeras entre los ríos Itata y Carampangue. Dentro de las cuencas costeras destacan, de norte a sur, las de los ríos Pingueral o Rafael (282 Km²) y Andalién (780 Km²).

La cuenca del Biobío es de régimen hidrológico mixto mientras que las cuencas costeras son de régimen pluvial. Tanto estas últimas como la cuenca del río Biobío son cuencas de tipo exorreicas.

Administrativamente, la zona comprende parte de la región del Biobío y parte de la región de la Araucanía.

Figura 3. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Geomorfología

Las características geomorfológicas de la cuenca del río Biobío son similares a las de las hoyas andinas de la zona central chilena; un sector andino, una depresión central y un sector costero en el cual se incluye la presencia de la Cordillera de la Costa. Por su parte, las hoyas costeras, se caracterizan por un sector de montaña

correspondiente a la Cordillera de la Costa y una pequeña terraza costera (DGA, 1977, 1985b y 2004a). Esta condición general, determina el patrón de variación ombroclimática de la zona en estudio: las precipitaciones tienden a ser mayores al oeste de ambas cordilleras, pues ellas ejercen un efecto de barrera para los frentes húmedos que se aproximan al continente desde el Océano Pacífico, diferenciándose sectores de ombroclima húmedo y subhúmedo (DGA, 1985b y 2014).

La Cordillera de la Costa, luego de perder altura más al norte, experimenta un nuevo vigor en esta región, particularmente en el desarrollo de la denominada Cordillera de Nahuelbuta, que se levanta como un macizo imponente que, en este sector, sobrepasa los 1000 m.s.n.m, limitando por el oriente con el río Vergara y por el este con una faja de planicies litorales cuyo mayor desarrollo se alcanza en la ciudad de Concepción y en las localidades de San Pedro de la Paz y Escuadrón (Inzunza, s.f.; DGA, 2012 y 1985b). En esta faja la influencia oceánica produce bajas amplitudes térmicas en los ciclos anuales y diarios. Las precipitaciones son más altas que en el valle central debido en parte a la dirección NW de los vientos dominantes durante los períodos lluviosos de invierno que producen una sombra pluviométrica a sotavento de la Cordillera de la Costa (Inzunza, s.f.; DGA, 2014 y 1985b).

La segunda faja está constituida por la depresión central, donde, además del efecto de la sombra pluviométrica ya comentado, se evidencia un aumento de la precipitación a medida que nos acercamos a la zona andina (DGA, 1985a y 1985b). Las temperaturas presentan oscilaciones mayores que en la faja costera por la lejanía del océano, el efecto pantalla de la Cordillera de la Costa (Inzunza, s.f.; DGA, 1985b), y las menores velocidades medias del viento (DGA, 1985b).

La faja cordillerana es la menos homogénea de todas. En general, la Cordillera de los Andes es un cordón macizo y abrupto en su vertiente occidental, lo que favorece la acumulación de nieve y la formación de glaciares en las partes más altas (DGA, 1985b). Los valles intercordilleranos se orientan en diversas direcciones, por lo que presentan una gran variabilidad en cuanto a acumulación de precipitación, cobertura nevosa, vientos catabáticos y radiación solar (DGA, 1985b). En la sección norte de la cuenca del río Biobío se aprecia un cordón preandino con una altitud media en torno a los 500 metros, pero con cumbres que alcanzan hasta los 1500 msnm. Este rasgo favorece la posibilidad de construcción de embalses en la zona (DGA, 1985b).

6.1.3 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger la mayor parte del territorio central (32 ° 30'S hasta los 39 ° 32'S) presenta climas templados, específicamente el mediterráneo (Csb y Csc), con sus variaciones isotérmicas (Csb') y de altura (Csb (h)), (Inzunza, s.f.; Sarricolea *et al.*, 2016).

El clima mediterráneo con verano cálido (Csb), se mantiene por todo el valle central y el sector oriental de la cordillera de la costa. Este varía a un clima mediterráneo de verano cálido con influencia oceánica (Csb') a occidente de la cordillera de la costa. El sector precordillerano se caracteriza por un clima mediterráneo de verano cálido con influencia de montaña (Csb (h)) que varía a un clima mediterráneo de verano suave (Csc) a medida que aumenta la altitud. Al sur de la Laguna del Laja, encontramos un clima templado lluvioso cálido con influencia mediterránea (Cfb (s)), marcando el inicio de la transición hacia los climas predominantes más al sur. Por su parte, el clima de tundra con verano seco (ET (s)) solo se distingue en los sectores más altos de la cordillera de los Andes (DGA, 2004a, 2004b y 2004c; Inzunza, s.f.; Sarricolea *et al.*, 2016).

6.1.4 Red disponible

Para el área en estudio se identificaron un total de cinco redes meteorológicas nacionales. Estas son la Red hidrometeorológica y de calidad de aguas de la DGA^{6 7}; la Red meteorológica de la DMC⁸; Servicio Meteorológico de la Armada⁹; la Red Agrometeorológica del INIA¹⁰; y la Red Agroclimática Nacional¹¹.

Dentro de estas redes se identificaron seis instituciones propietarias de estaciones meteorológicas. Cuatro de estas instituciones son de carácter público (DMC, DGA, Directemar e INIA), y dos de carácter privado (FDF y Vinos de Chile). En la Figura 4 se pueden observar las estaciones meteorológicas por institución gestora - incluye estaciones vigentes y no vigentes -.

⁶ Sistema hidrométrico en línea: <https://snia.mop.gob.cl/sat/site/informes/mapas/mapas.xhtml>

⁷ Observatorio georreferenciado: <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/>

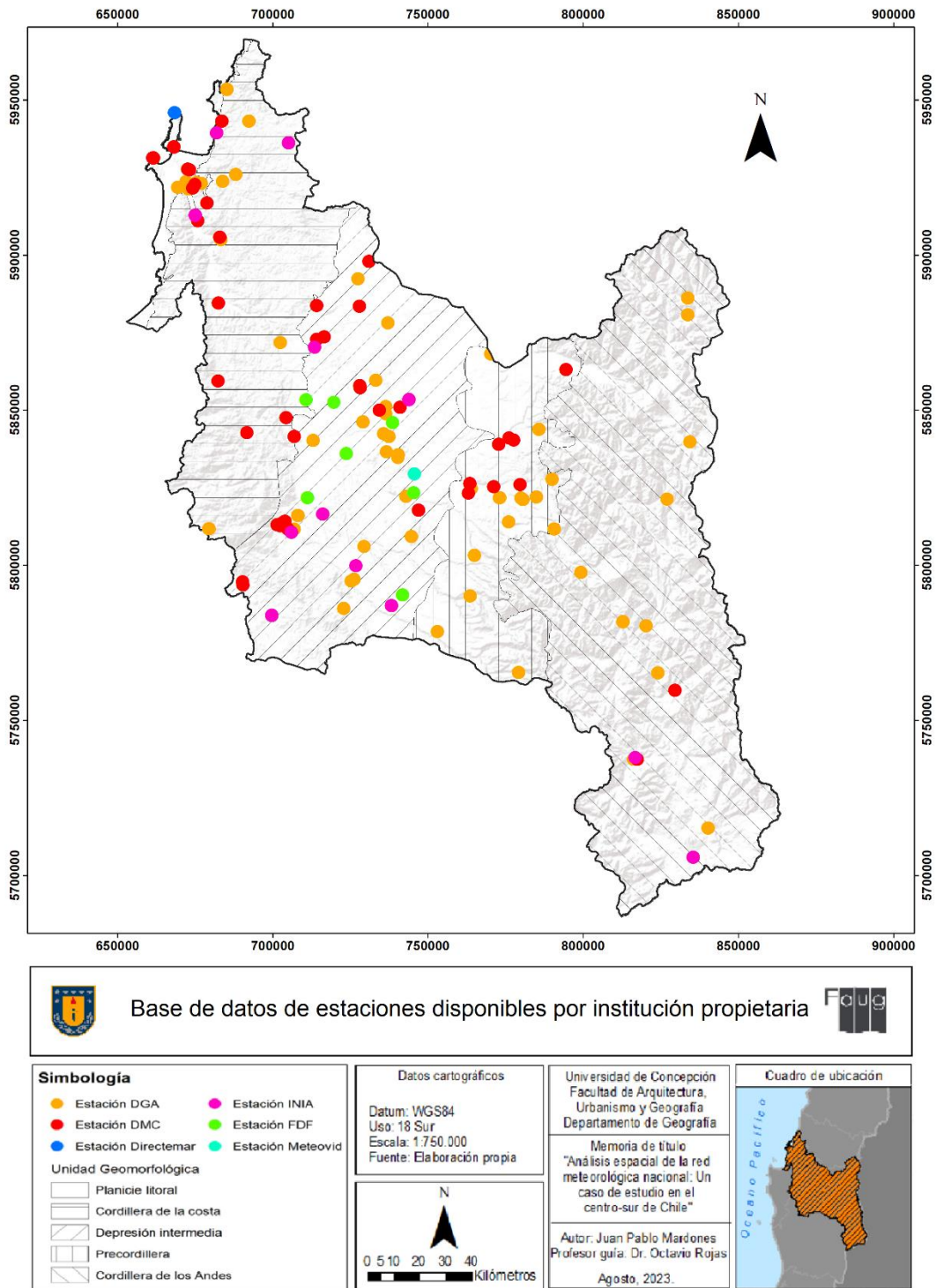
⁸ <http://www.meteochile.gob.cl/>

⁹ <https://meteoarmada.directemar.cl/>

¹⁰ <https://agrometeorologia.cl/>

¹¹ <https://www.agromet.cl/>

Figura 4. Red meteorológica disponible por institución propietaria



Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos disponible

6.2 Metodología

A continuación, se describen las actividades llevadas a cabo para cumplir con el objetivo general de la presente investigación. Para ello, en primer lugar, se describen las actividades involucradas en el diagnóstico espacial de la red (primer objetivo específico). En segundo lugar, se describen las actividades involucradas en la caracterización de la percepción de los actores sobre la red (segundo objetivo específico). En tercer lugar, se describen las actividades involucradas en la propuesta de criterios de localización de estaciones meteorológicas (tercer objetivo específico).

6.2.1 Diagnóstico espacial de la red

Para cumplir el primer objetivo específico se realizaron las siguientes actividades: Identificación de los actores relevantes de la red meteorológica nacional en la región estudiada; realización de un catastro de las estaciones; y la determinación de la distribución espacial de la red.

A) Identificación de los actores relevantes de la red

Esta tarea se realizó a través de una revisión bibliográfica y consistió en la identificación de los principales gestores y usuarios relevantes de la red. Para la identificación de los gestores se revisó el catastro de estaciones del Banco Nacional de Datos Meteorológicos a cargo de la Dirección Meteorológica de Chile.

La identificación de los usuarios se realizó bajo la supervisión de un experto y fue orientada por documentos estadísticos; declaración de usuarios, clientes y/o afiliados de los gestores; y la declaración de objetivos de cada gestor. Con todo lo anterior se elaboró un listado de usuarios y de posibles usuarios de información meteorológica en el área de estudio.

B) Catastro de estaciones

Se recopiló un total de siete catastros. Estos se encontraron repartidos entre un total de 5 fuentes. En la Tabla 4 se resumen las fuentes y los catastros encontrados en ellas. Dentro de los catastros se identifican las instituciones propietarias, componentes del catastro y su número de estaciones.

Tabla 4. Catastros encontrados y sus fuentes

Fuente de información	Catastro [Institución(es) propietaria(s) y número de estaciones por institución]	Total de estaciones
Plataforma web de infraestructura de datos geoespaciales de Chile 'IDE-Chile'	Catastro 1: DGA (49)	49
	Catastro 2: DMC (12)	12
	Catastro 3: INIA (6); Meteovid (Vinos de Chile) (1)	7
Banco Nacional de Datos Meteorológicos de la DMC	Catastro 4: DGA (25); DMC (43); DIRECTEMAR (2); INIA (9); FDF (7)	86
Sistema Nacional de Información del Agua (SNIA)	Catastro 5: DGA (25)	25
Ley 20.285 'Ley de Transparencia de la Función Pública y de Acceso a la Información de la Administración del Estado'	Catastro 6: DGA (38)	38
	Catastro 7: INIA (10)	10

Fuente: Elaboración propia

C) Sistematización de datos y clasificación de estaciones

Los catastros recopilados de un mismo propietario no coinciden entre sí y, por el contrario, estaciones de catastros de distintos propietarios coinciden entre sí, habiendo estaciones con más de un gestor como propietario, catastros de un mismo gestor pero con distintas estaciones y, además, estaciones no vigentes. Por ello fue necesario filtrar estos datos para trabajar con una base sistematizada.

En el caso de los gestores con más de un catastro, se buscó identificar los catastros más actualizados. Para los cuatro catastros de la DGA, se consideró como el catastro más actualizado al obtenido a través de la Ley de transparencia. Lo mismo sucedió con los tres catastros del INIA. En el caso de la DMC, los dos catastros recopilados tenían las mismas estaciones, sin embargo, el catastro del Banco Nacional de Datos Meteorológicos integraba también las estaciones no vigentes por lo que se decidió dejar el catastro de la plataforma de Infraestructura de Datos Espaciales de Chile 'IDE Chile'.

Luego, se eliminaron las estaciones 'no vigentes' según la información brindada por los mismos catastros. Finalmente, las estaciones repetidas, es decir, compartidas entre dos gestores, fueron asignadas arbitrariamente a uno de los dos, eliminando la repetición.

El siguiente paso fue clasificar las estaciones en función de su fin. Para ello fue utilizada la información sobre las variables monitoreadas por cada estación brindada por los propios catastros además de las definiciones dispuestas en el punto 5.2.1.1 de clasificación según fin del marco teórico. Cabe recordar que estas últimas se basaron en las definiciones del catálogo nacional de estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM de Colombia (IDEAM, 2019),

y las del Manual del Sistema Mundial de Observación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2015).

D) Determinación de la distribución de las estaciones

Luego de lo anterior, los catastros seleccionados fueron fundidos bajo una sola capa mediante el geoprocesamiento 'MERGE'. Posterior a esto se les realizó un análisis de densidad mediante la herramienta de análisis espacial '*Kernel Density*' disponible en ArcGIS 10.8 (ESRI, 2020).

El resultado de la aplicación de esta herramienta fue la creación de dos mapas de densidad de la red de estaciones en la región en estudio. El primer mapa fue expresado en según macrounidades geomorfológicas y el segundo en cuencas -o grupo de cuencas para el caso de las cuencas costeras-.

Se debe mencionar que para la generación de estos mapas de densidad se utilizaron las estaciones contenidas dentro del área en estudio, así como las externas más cercanas. Esto, por el hecho de que las estaciones externas próximas también podrían tener algún grado de pertinencia meteorológica dentro del territorio en estudio.

6.2.2 Caracterización de la percepción de los actores sobre la red

Para cumplir el segundo objetivo específico se aplicó una encuesta a los actores clave identificados en el objetivo 1. El instrumento se tituló "Encuesta sobre percepción de la red de estaciones meteorológicas de la cuenca andina del río Biobío y las cuencas costeras entre los ríos Itata y Carampangue" y buscó caracterizar la percepción de los actores sobre la de red de estaciones meteorológicas a través de preguntas que relacionen la distribución de la red en el territorio y la calidad de sus servicios. Para ello se llevaron a cabo las siguientes actividades:

A) Elaboración de encuesta.

La construcción del instrumento se basó en una revisión bibliográfica que integró reporte y libros de casos, manuales técnicos, reglamentos y guías de hidrología y meteorología de la Organización Meteorológica Mundial; aplicaciones y páginas webs de gestores y otros servicios meteorológicos nacionales e internacionales; encuestas tipo; entre otros, logrando desarrollar un panorama general de la demanda y disposición de datos e información meteorológica.

En líneas generales esta encuesta buscó caracterizar el estado de la red de monitoreo meteorológico en base a la percepción de sus usuarios.

Para el presente objetivo, el instrumento fue dividido en cuatro secciones.

La primera sección del instrumento recopila información que busca identificar al actor, además de dilucidar su relación con la información meteorológica (ver Tabla 5).

Tabla 5. Ítems de identificación del actor y de su relación con la información meteorológica.

Identificación del actor	Relación con información meteorológica
1. Género	7. Uso de la información meteorológica
2. Edad	8. Grado de conocimiento respecto del monitoreo meteorológico
3. Institución	9. Importancia de contar con información meteorológica de calidad para su institución/empresa/organización
4. Años de antigüedad	-
5. Cargo	-
6. Sector económico	-

Fuente: Elaboración propia

En la segunda sección se les presentó los mapas de densidad elaborado en el objetivo 1 con el fin de que los actores emitieran su parecer respecto de la distribución de la red en el territorio. Para ello se les preguntó:

“Según los mapas anteriores y desde la perspectiva de la actividad de su institución/empresa/organización ¿En qué área(s) geográfica(s) cree usted que es necesario aumentar el monitoreo meteorológico?”

Luego, en la tercera sección se elaboraron preguntas que buscaron dilucidar qué tipo de datos en específico demandan los actores; dónde los necesitan; y dónde y cómo los obtienen. Para ello se definieron tres atributos de la información meteorológica a los cuales se les asociaron las diferentes preguntas (ver Tabla 6).

Tabla 6. Preguntas relativas al acceso, disponibilidad y fiabilidad de los datos demandados por los actores.

<p>Accesibilidad: acceso rápido, fácil y oportuno a la información.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>“¿Su organización/empresa/actividad utiliza de forma directa alguna de las siguientes redes o servicios a la hora de solicitar información meteorológica?”</i> • <i>“¿A través de cuál(es) de los siguientes medios su empresa/actividad/organización accede a la red de datos meteorológicos para su área de interés?”</i> • <i>“Considerando un buen ACCESO a la red de datos como un acceso fácil, rápido y oportuno ¿Cómo evalúa la calidad de acceso a la red de datos meteorológicos?”</i>
<p>Disponibilidad: cobertura territorial y en el tiempo de la información.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>“¿En qué área(s) geográfica(s) le interesa a su institución/actividad/empresa contar con información meteorológica de calidad?”</i> • <i>“Seleccione la cobertura temporal de la información meteorológica que más se adecúa a las necesidades de su organización/empresa/actividad.”</i>
<p>Fiabilidad: resolución espacial y temporal adecuadas; información certera.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>“Seleccione la(s) escala(s) de los fenómenos que a su organización/empresa/actividad le interesa monitorear.”</i> • <i>“Seleccione la resolución temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad.”</i>

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, los actores realizaron una ponderación de la calidad del servicio meteorológico.

- *“¿Cómo evalúa la calidad del servicio meteorológico para el área de interés de su institución/actividad/empresa?”*

Finalmente, en una cuarta sección, los actores revelaron su percepción acerca de la problemática del monitoreo hidrometeorológico planteada en esta investigación:

- *“Teniendo en cuenta la dispersión institucional, la falta de coordinación y la diversidad de intereses en torno a la obtención de información meteorológica ¿Considera como una solución integrar las redes estudiadas (DGA, DMC, INIA, DIRECTEMAR, FDF y Vinos de Chile), bajo una misma entidad como por ejemplo un Servicio Hidrológico y Meteorológico Nacional?”*
- *“¿Cree que esta medida puede optimizar los recursos económicos y mejorar la distribución de las estaciones en el territorio?”*
- *“¿Qué tan factible de realizar considera esta medida?”*

B) Aplicación de encuesta.

Como primer paso los actores identificados en el objetivo 1 fueron contactados a través de diferentes medios (contacto telefónico, Ley de Transparencia, plataforma OIRS, correo electrónico, etc.), con el objetivo de confirmar la utilización de información meteorológica para el desarrollo de sus actividades, presentar la investigación, evaluar la posibilidad de contestar la encuesta, e identificar y generar el contacto con la persona indicada para dicho fin.

Confirmados los actores y los contactos, se les envió un correo electrónico presentando formalmente la investigación, el enlace de la encuesta y el

consentimiento informado. En total, 49 de los 52 actores contactados respondieron la encuesta (ver Tabla 7).

Se debe mencionar que entre el primer contacto y el último actor en contestar la encuesta transcurrieron aproximadamente tres meses.

Tabla 7. Actores encuestados

N° de encuestados	Sigla	Nombre	Sector económico	Uso de la información meteorológica
1	DGA	Dirección General de Aguas	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos; Diseño y/o construcción de obras & Procesos industriales (sector productivo); Gestión sanitaria y/o ambiental; Operación de embalses y/o canales & Operación de sistema eléctrico
1	CIREN	Centro de Información de Recursos Naturales	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos
1	-	Dirección de Vialidad	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Diseño y/o construcción de obras & Procesos industriales (sector productivo)
1	DOH	Dirección de Obras Hidráulicas	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Diseño y/o construcción de obras & Procesos industriales (sector productivo)
1	-	Dirección de Planeamiento	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos
1	ONEMI	Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Monitoreo de desastres naturales & Labores de emergencia y rescate
1	SERNATUR	Servicio Nacional de Turismo	Turismo & otros servicios	Gestión sanitaria y/o ambiental
1	SAG	Servicio Agrícola Ganadero	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Cultivo y/o riego & otras en el área agrícola
1	CONAF	Corporación Nacional Forestal	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Monitoreo de desastres naturales &

N° de encuestados	Sigla	Nombre	Sector económico	Uso de la información meteorológica
				Labores de emergencia y rescate
1	CEN	Coordinador Eléctrico Nacional	Energía/Minería	Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos; Operación de embalses y/o canales & Operación de sistema eléctrico
1	-	Colbún	Otros	Diseño y/o construcción de obras & Procesos industriales (sector productivo)
1	INH	Instituto Nacional de Hidráulica	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Investigación & Docencia
2	Servimet	Servicio Meteorológico de la Armada de Chile	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil
1	ASOVELA	Asociación de vela del Biobío	Otros	Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil
1	-	Salmones Blumar S.A.	Pesquero/Naviero/Aeronáutico	Gestión sanitaria y/o ambiental
1	FEREPA	Federación Regional de Pescadores Artesanales	Pesquero/Naviero/Aeronáutico	Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil
1	-	Naviera Costa Grande	Pesquero/Naviero/Aeronáutico	Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil
1	DMC	Dirección Meteorológica de Chile	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil
1	DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil	Pesquero/Naviero/Aeronáutico	Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil
3	FACH	Fuerza Aérea de Chile	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Navegación marítima y/o

N° de encuestados	Sigla	Nombre	Sector económico	Uso de la información meteorológica
				aérea & Servicio meteorológico civil
1	-	Escuela de Montaña del Ejército de Chile	Educación/Investigación	Investigación & Docencia
1	ESSBIO	Empresa de Servicios Sanitarios del Biobío	Otros	Gestión sanitaria y/o ambiental
1	-	Bomberos de Chile	Otros	Monitoreo de desastres naturales & Labores de emergencia y rescate
1	-	Cuerpo de Socorro Andino	Turismo & otros servicios	Monitoreo de desastres naturales & Labores de emergencia y rescate
1	-	Heligraphics Technologic Airborne Services	Pesquero/Naviero/Aeronáutico	Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil
2	-	Kaitek Consultores en Ciencias Ambientales	Energía/Minería	Diseño y/o construcción de obras & Procesos industriales (sector productivo)
1	-	Turismo Stella Maris	Turismo & otros servicios	Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil
1	-	Turismo Chome Aventura	Turismo & otros servicios	Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil
1	-	Departamento de Gestión Integral del Riesgo – Ilustre Municipalidad de Talcahuano	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Monitoreo de desastres naturales & Labores de emergencia y rescate
1	-	Ilustre Municipalidad	Instituciones del sector público/Fuerzas armadas	Monitoreo de desastres naturales &

N° de encuestados	Sigla	Nombre	Sector económico	Uso de la información meteorológica
		de San Pedro de la Paz		Labores de emergencia y rescate
1	INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria	Educación/Investigación	Investigación & Docencia
1	INDAP	Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario	Agricultura/Regantes	Cultivo y/o riego & otras en el área agrícola
1	JVBB	Junta de Vigilancia Río Biobío	Otros	Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos
1	Meteovid	Vinos de Chile	Agricultura/Regantes	Cultivo y/o riego & otras en el área agrícola
1	FDF	Fundación para el Desarrollo Frutícola	Agricultura/Regantes	Cultivo y/o riego & otras en el área agrícola
3	-	Académico - Universidad de Concepción	Educación/Investigación	Investigación & Docencia
2	-	Académico - Universidad Católica de la Santísima Concepción	Educación/Investigación	Investigación & Docencia
2	-	Profesor titular - Universidad de Concepción	Educación/Investigación	Investigación & Docencia
1	-	Profesor asistente - Universidad de Concepción	Educación/Investigación	Investigación & Docencia
1	-	Estudiante de postgrado - Universidad de Concepción	Educación/Investigación	Investigación & Docencia
1	-	Gerente - Universidad de Concepción	Agricultura/Regantes	Investigación & Docencia

Nota: Solo tres de los actores identificados en el objetivo 1 no respondieron la encuesta. Estos fueron Club Aéreo Universidad de Concepción, Asociación de Industriales Pesqueros del Biobío e Instituto de Investigación Pesquera Octava Región.

Fuente: Elaboración propia

6.2.3 Propuesta de localización de estaciones meteorológicas

Para cumplir el tercer objetivo específico se realizaron las siguientes actividades: Recopilación de criterios de localización y distribución de estaciones; ponderación de estos criterios por los actores clave; y análisis y procesamiento de las ponderaciones con la finalidad de proponer criterios de localización y distribución de estaciones meteorológicas en el territorio.

A) Recopilación y ponderación de criterios

Se realizó una revisión bibliográfica en la búsqueda de criterios que podrían tener incidencia en la localización y distribución de estaciones meteorológicas en el territorio. Se revisaron fuentes diversas de tipo institucional a nivel local, nacional e internacional, y de autores particulares (ver Tabla 8). Posteriormente, los criterios fueron sometidos a la ponderación de los actores de la red quienes, a través del instrumento descrito en el objetivo 2 y en una nueva sección, calificaron en niveles de importancia Baja, Media, Alta o Muy alta cada criterio:

- *A continuación, se presentan una serie de criterios de localización de estaciones meteorológicas. Califíquelos de acuerdo con la importancia (Baja, Media, Alta o Muy alta), que usted le otorgaría a cada uno de ellos a la hora de definir dónde instalar una estación.*

Tabla 8. Fundamentación de criterios de localización de estaciones recopilados

Criterio	Fundamentación
Accesibilidad todo el año	En consideración de la logística necesaria para la instalación y para el mantenimiento periódico de los equipos, el lugar debe ser accesible y a no más de 300 metros del camino más cercano (OMM, 2010; Universidad Tecnológica de Panamá, 2006; Xunta de Galicia, n. d.).

Presencia de observadores	A menos que sean automatizadas, es casi imposible instalar y operar satisfactoriamente varias estaciones en regiones escasamente pobladas. Por lo general, las zonas con escasa densidad de población suelen coincidir con diversos extremos climáticos, como es el caso de las regiones áridas, de las regiones polares o de los bosques tropicales. (OMM, 2011a). Por ello, la cercanía a un centro poblado puede ser de importancia a la hora de definir una ubicación adecuada.
Seguridad	Un lugar estable para una estadística longeva (anexo 1), implica el resguardo del sitio de medición ante las perturbaciones del terreno provocadas por: <ul style="list-style-type: none"> A. Incendios forestales (OMM, 2011a) B. Inundaciones C. Remoción en masa D. Amenaza volcánica, etc.
Terreno fiscal	Los terrenos de propiedad gubernamental deben ser considerados como la primera elección posible, ya que ofrecen menos riesgos de verse obligados a desplazar la estación y además se reduciría al mínimo la posibilidad de intrusión en otros terrenos (OMM, 2010).
Cobertura de comunicación y disponibilidad de energía eléctrica	Esta información permitirá analizar cuáles son los posibles medios de comunicación que se pueden emplear para acceder de forma remota a la estación. De la misma forma, la información sobre la disponibilidad de corriente eléctrica permitirá evaluar las diferentes posibilidades para proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos y estimar la necesidad de instalación de placas solares (Xunta de Galicia, n. d.).
Masas de agua	La presencia de cuerpos de agua significativos puede inducir la presencia de fenómenos meteorológicos poco representativos de las características generales de la región en estudio. (Xunta de Galicia, n.d.) <ul style="list-style-type: none"> A. Ríos: Bastaría con distanciar la estación en torno a 100 metros. B. Lagos: Con una separación de unos 800 a 2000 metros, dependiendo del tamaño del mismo, se evitarían fenómenos locales inducidos por su presencia.
Topografía	Se recomienda una pequeña pendiente que no sobrepase el 0,5% con el objetivo de drenar el agua lluvia hacia uno de los costados del límite del jardín meteorológico. No debe haber laderas empinadas en las proximidades y el emplazamiento no debe encontrarse en una hondonada. Si no se cumplen estas condiciones, las observaciones pueden presentar características de importancia únicamente local (IDEAM, 2021).
Comportamiento espacio temporal de variables o	La densidad de una red de observación está ligada en gran medida a la escala espacial y temporal de los fenómenos que han de medirse (OMM,

fenómenos meteorológicos a monitorear	1996, 1997 y 2010; Gandín, 1970; López, 2014). Debido a que la red nacional tiene como objetivo alimentar intereses diversos y de distintos actores, se deben tener en cuenta la mayor cantidad de fenómenos, escalas y resoluciones a la hora de planificarla. Luego, y debido a que la variabilidad horizontal de un gran número de fenómenos medidos en estaciones climatológicas y en observatorios es muy pequeña en comparación con la variabilidad espacial de la precipitación, además de que sus efectos están implícitamente representados en la altura de lluvia (Collado & Toledo, 1997), se utilizó esta variable como la más representativa y decisiva para representar este criterio.
Cobertura o área de influencia de la red meteorológica actual	Dependiendo del tipo, las estaciones o grupo de estaciones representan cierta área de condiciones climáticas específicas. En este caso se utilizarán los valores mínimos de densidad de monitoreo pluviométrico recomendados por la OMM como criterio para definir áreas con y sin la cobertura mínima. Se utilizó esta variable debido a su gran variabilidad horizontal respecto de fenómenos y otras variables de acuerdo con lo señalado por Collado & Toledo (1997) y DGA (1977).
Retroalimentación de usuarios / Demanda de información por territorios	Retroalimentación de usuarios / Demanda de información por territorios: para este criterio se tomó en cuenta el resultado del instrumento en el que los actores de la red definieron en qué zonas del área de estudio se debía mejorar el monitoreo meteorológico. Este criterio hace referencia a la dimensión socioeconómica del diseño de redes hidrológicas del cual se discute en el capítulo 2 de la Guía de prácticas hidrológicas de la OMM (OMM-N° 168, vol. I).

Fuente: Elaboración propia

B) Espacialización y sistematización de criterios

Luego, se recopilaron y sistematizaron las capas de información necesarias para representar espacialmente los criterios, siendo estas obtenidas desde distintas fuentes (ver Tabla 9).

Tabla 9. Espacialización de los criterios de localización de estaciones meteorológicas

Criterio	Capa utilizada	Fuente	Espacialidad
Accesibilidad todo el año	Red vial	IDE Chile	Distancia a vía; Materialidad de vía
Seguridad ante amenaza natural	(1) Inundación; (2) Incendio	(1) SRIIT Biobío; (2) Elaboración propia en base a Alegría, R., 2020.	Dentro del polígono
Terreno fiscal	Catastro propiedad fiscal	Bienes Nacionales	Dentro del polígono
Distancia a cuerpos de agua	(1) Masas lacustres; (2) Red hídrica	IDE Chile	(1) Radio 800 m; (2) Radio 100 m
Topografía	Imagen SRTMGL: Shuttle Radar Topography Mission Global	ASTER DGEM - NASA	Pendiente máx. 0,5%
Comportamiento espacio temporal de variables o fenómenos meteorológicos a monitorear	Isoyetas	IDE Chile	Concentración de isolíneas
Cobertura o área de influencia de la red meteorológica actual	Base de datos de red de estaciones construida	Diversas fuentes	Densidad mínima recomendada por OMM
Retroalimentación de usuarios / Demanda de información por territorios	Macrounidades geomorfológicas indicadas por actores	EULA Chile	Dentro del polígono

Fuente: Elaboración propia

C) Análisis multicriterio y generación de propuesta

El proceso de análisis y generación de la propuesta fue llevado a cabo a través del software ArcGIS 10.8 (ESRI, 2020), y se resume en la Figura 5. Mediante las distintas herramientas brindadas por el software se rasterizaron los distintos criterios con un tamaño de píxel de 30 metros. Luego, los píxeles de cada imagen ráster generada fueron reclasificados en función de la espacialidad asignada a cada criterio (ver Tabla 9). Como se aprecia en la Tabla 10, los píxeles fueron clasificados entre a 1 a 4 niveles de idoneidad, siendo los valores 1 los más idóneos. Una vez concretado este paso, se utilizó la herramienta de análisis multicriterio 'Weighted Overlay' (superposición

ponderada), para estimar las áreas de localización óptima para una estación (ver Figura 5). Los pesos de cada criterio fueron asignados proporcionalmente de acuerdo con la importancia otorgada por los actores a cada uno de ellos.

Un punto para mencionar es que en algunos casos y, en particular en los criterios altamente importantes para los actores, se restringieron los píxeles menos idóneos. Esto quiere decir que fueron anulados, independientemente del valor asignado a ellos por los otros criterios.

Finalmente, se realizó una propuesta de localización de estaciones en las áreas óptimas resultantes. Para ello se escogió una de las macrounidades con mayor déficit de monitoreo con el objetivo de alcanzar en ella el valor de densidad de monitoreo mínimo recomendado por la OMM.

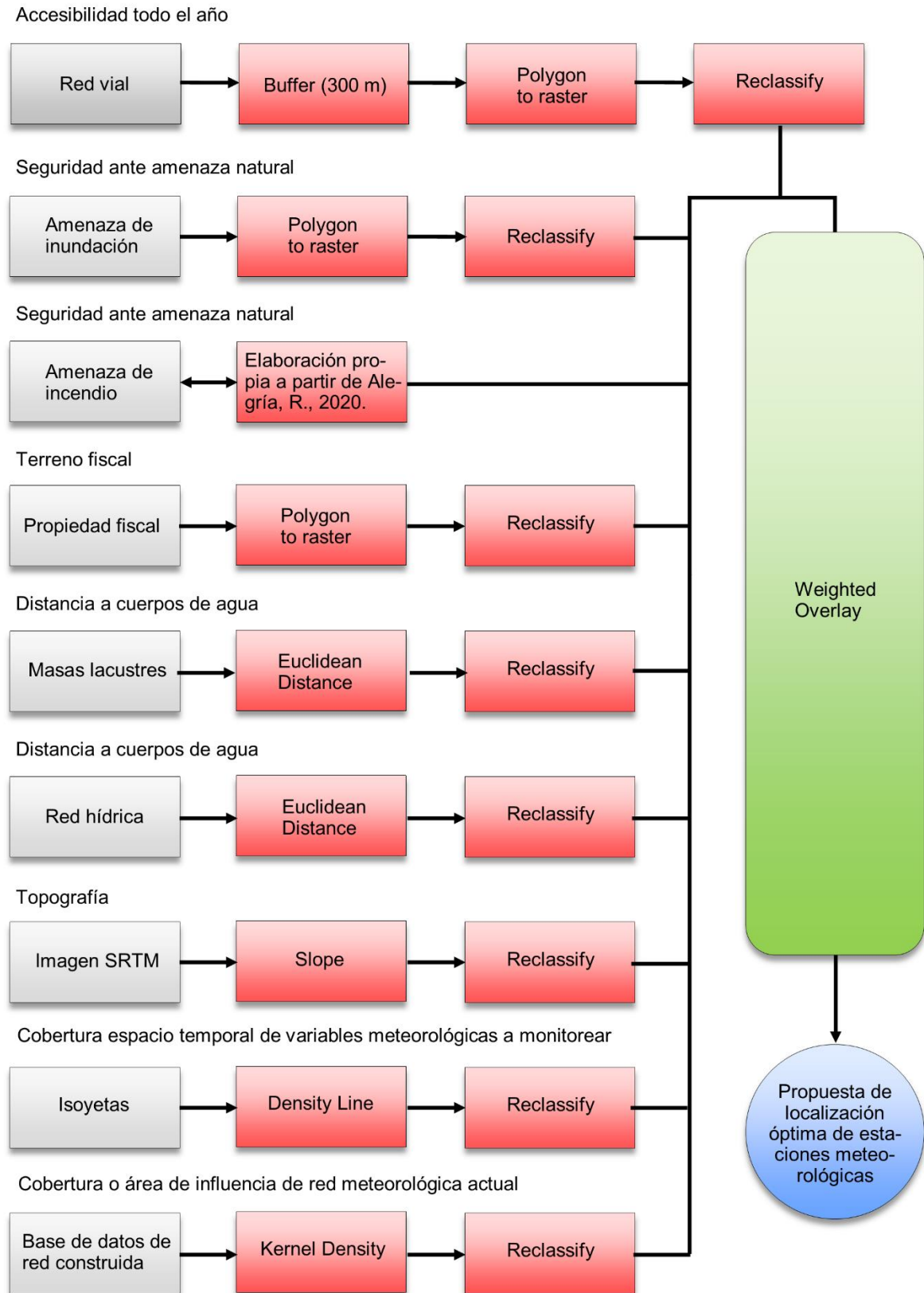
Tabla 10. Valores y descripción de los píxeles de entrada al análisis multicriterio

Criterio	Valor de píxel	Descripción
Accesibilidad todo el año	1	Píxeles dentro del radio de 300 metros en torno a vías pavimentadas
	2	Píxeles dentro del radio de 300 metros en torno a vías de ripio
	3	Píxeles dentro del radio de 300 metros en torno a vías de tierra y suelo desnudo
	4	Píxeles fuera del radio de 300 metros de cualquier camino (Restringido)
Amenaza de inundación	1	Píxeles fuera del polígono de inundación
	2	Píxeles dentro del polígono de inundación (Restringido)
Amenaza de incendio	1	Píxeles dentro del área de baja amenaza de incendio
	2	Píxeles dentro del área de media amenaza de incendio
	3	Píxeles dentro del área de alta amenaza de incendio (Restringido)
Terreno fiscal	1	Píxeles dentro del polígono
	2	Píxeles fuera del polígono
Distancia a lagos	1	Píxeles fuera del radio de 800 metros en torno a masas lacustres

	2	Píxeles dentro del radio de 800 metros en torno a masas lacustres
Distancia a río	1	Píxeles fuera del radio de 100 metros en torno a red hídrica
	2	Píxeles dentro del radio de 100 metros en torno a red hídrica
Topografía	1	Píxeles con valores de pendiente entre 0 y 0,5%
	2	Píxeles con valores de pendiente >0,5%
Cobertura espacio temporal de variables o fenómenos meteorológicos a monitorear	1	Píxeles con valores entre 0 y 0,11 isolíneas por Km ² .
	2	Píxeles con valores entre 0,11 y 0,23 isolíneas por Km ² .
	3	Píxeles con valores superiores a 0,23 isolíneas por Km ² .
Cobertura o área de influencia de red la meteorológica actual	1	Píxeles con valores de concentración de estaciones por debajo del mínimo recomendado por la OMM
	2	Píxeles con valores de concentración de estaciones por encima del mínimo recomendado por la OMM (Restringido)

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Esquema metodológico de propuesta de localización óptima de estaciones meteorológicas



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

7.1 Resultados

A continuación, se presentan los resultados por objetivo específico. En primer lugar, se exponen los resultados del diagnóstico espacial de la red de monitoreo meteorológico; en segundo lugar, se exponen los resultados de la encuesta que buscó caracterizar la percepción de los actores en torno a la red de monitoreo y; en tercer lugar, se exponen los resultados de la propuesta de localización de estaciones meteorológica en el área estudiada.

7.1.1. Diagnóstico espacial de la red

7.1.2.1 Base de datos construida

Respecto de la base de datos construida, de un total de 82 estaciones, la DGA es la institución con mayor presencia en el área de estudio con 51 estaciones de monitoreo. Le sigue la DMC con 13 estaciones, el INIA con 9, FDF con 7, Directemar con 1 y Vinos de Chile con 1 (ver Tabla 11).

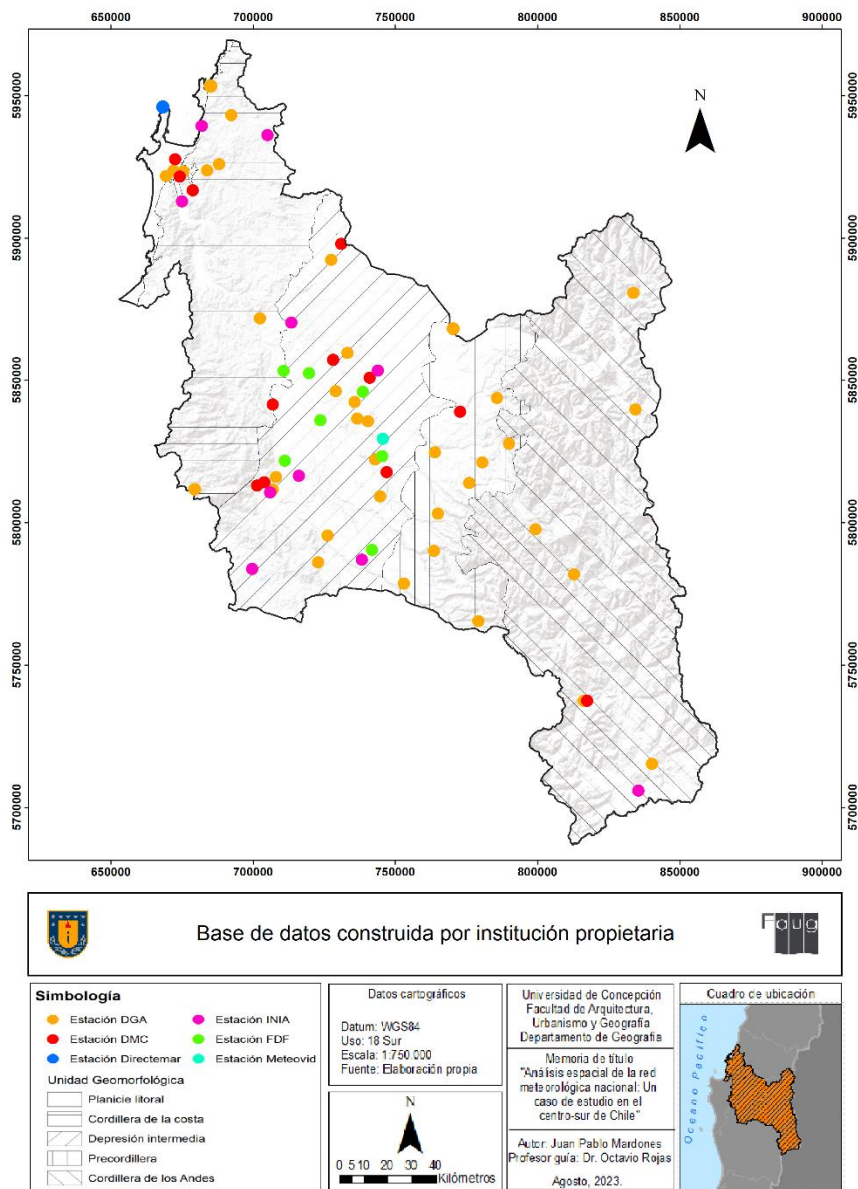
En la Figura 5 se puede observar la base de datos depurada. En ella se puede apreciar la distribución en el territorio de las estaciones por institución propietaria. Las estaciones DGA se distribuyen en todo el territorio en estudio siempre ligadas a ríos, esteros y arroyos. Por su parte, las estaciones DMC también se distribuyen en toda el área, pero de forma más dispersa que las estaciones de la DGA, ausentándose en la Cordillera de la Costa y la Precordillera. La estación propiedad de Directemar se ubica en la planicie litoral. Las estaciones INIA se distribuyen entre la planicie litoral, la depresión intermedia y la Cordillera de los Andes. Finalmente, las estaciones FDF y Meteovid se concentran en la depresión intermedia.

Tabla 11. Número de estaciones por gestor en la base de datos construida

Gestor	N° estaciones
DGA	51
DMC	13
DIRECTEMAR	1
INIA	9
FDF	7
Meteovid	1
Total	80

Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Base de datos construida por institución propietaria



Fuente: Elaboración propia

5.1.2.2 Clasificación de estaciones

Respecto de la clasificación de las estaciones, se tiene que el tipo de estación más numerosa es la pluviométrica con 40 estaciones, seguida por la climatológica ordinaria con 13 estaciones y la climatológica con fines agrícolas con 12 estaciones.

La clasificación de las estaciones, por su parte, queda resumida en la Tabla 10. En ella se observa el número y tipo de estación por gestor. De acuerdo con lo observado, la DGA concentra la mayor cantidad de estaciones de tipo climatológica ordinaria (CO), pluviométrica (PM), pluviográfica (PG). La DMC, por su parte, concentra las estaciones de tipo climatológica principal (CP) y sinóptica principal (SP). Las estaciones de tipo agrometeorológica (AM) y climatológica con fines agrícolas (Cfa) se concentran entre los gestores INIA, FDF y Meteovid.

Tabla 12. Clasificación de estaciones por gestor

Gestor	Tipo de estación								Total
	CP	CO	SP	SO	AM	Cfa	PM	PG	
DGA	1	13	0	2	0	0	34	1	51
DMC	3	0	4	0	0	0	6	0	13
Directemar	0	0	0	1	0	0	0	0	1
INIA	0	0	0	0	5	4	0	0	9
FDF	0	0	0	0	0	7	0	0	7
Meteovid	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Total	4	13	4	3	5	12	40	1	82

CP: Climatológica Principal CO: Climatológica Ordinaria SP: Sinóptica Principal SO: Sinóptica Ordinaria AM: Agrometeorológica Cfa: Climatológica con fines agrícolas PM: Pluviométrica PG: Pluviográfica

Fuente: Elaboración propia

5.1.2.3 Análisis de densidad de la red

Los resultados de la estimación de la densidad de la red se muestran en estaciones/Km². El análisis a continuación es una comparativa de las densidades

encontradas dentro del área de estudio, sin hacer referencias a estándares internacionales ni de otro tipo.

Ahora bien, la densidad relativa a la localización de las estaciones de la región en estudio muestra una distribución heterogénea. En la Costa se observa un núcleo de mayor densidad (0,0093 – 0,014 estaciones/Km²), en torno a la capital regional Concepción. Este núcleo de mayor densidad decrece hasta llegar a densidades del orden de 0,0015 estaciones/Km² en el extremo sur de la macrounidad, es decir, en las cuencas costeras entre los ríos Biobío y Carampangue. Estas menores densidades se alcanzan también en el sector cordillerano costero de las cuencas costeras entre los ríos Itata y Biobío (particularmente de la cuenca del río Andalién), y en menor medida en el sector norte de este grupo de cuencas (ver Figura 8).

En la Cordillera de la Costa se observa una menor concentración de estaciones (0,0015 estaciones/Km²), que ocupa toda su extensión este y sur (ver Figura 6). Esta zona de menor densidad representa la parte cordillerana costera del sector bajo de la cuenca del Río Biobío (ver Figura 8).

En la Depresión Intermedia se localiza otro núcleo de mayor densidad (0,0093 – 0,014 estaciones/Km²), esta vez en torno a la ciudad de Los Ángeles, además de otro núcleo de mayor densidad en torno a la ciudad de Angol (ver Figura 7). Esto permite que las densidades en esta macrounidad no bajen de 0,0016 – 0,0034 estaciones/Km² (ver Figura 7). Un punto para destacar es la importante presencia de estaciones agrometeorológicas y climatológicas con fines agrícolas, esto, en consonancia con la importancia de la actividad agrícola propia de esta unidad.

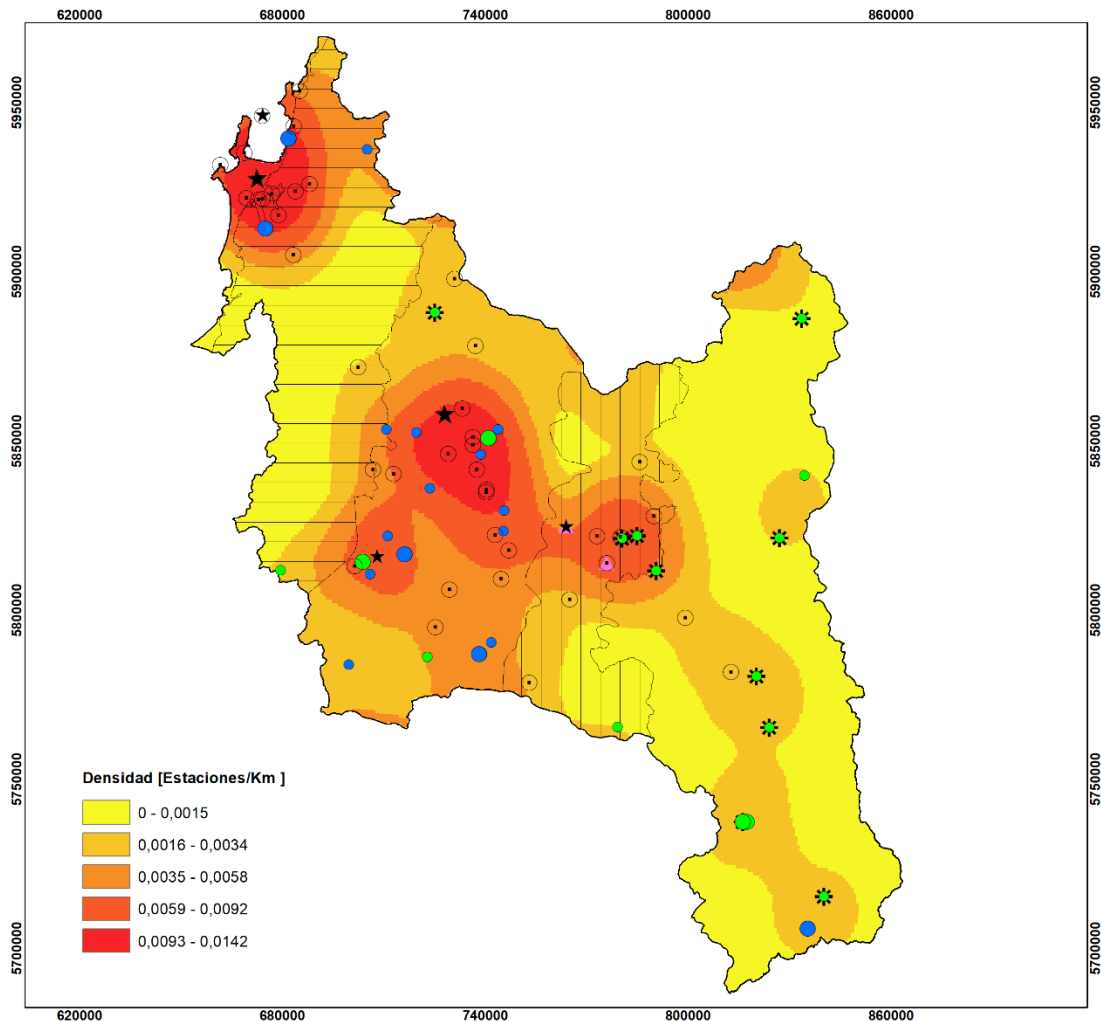
En la precordillera se observa una mayor concentración de estaciones -aunque menor a la observada en Concepción y Los Ángeles-, al este de Santa Bárbara (0,0059 –



0,0092 estaciones/Km²). Esto podría estar ligado a la confluencia del río Biobío y la presencia de represas hidroeléctricas (ver Figura 7 y 8). La presencia de estaciones pluviográficas en este punto podría estar explicada por la importancia del estudio de caudales en esta zona.







Por último, la Cordillera de los Andes presenta una menor densidad de estaciones generalizada (0 – 0,0015 estaciones/Km²), y que solo es interrumpida por una hilera de estaciones que bordea el recorrido del río Biobío -y la infraestructura vial paralela a este- en dirección a Lonquimay (ver Figuras 7 y 8). Esta distribución de estaciones genera una mancha en forma de carretera de no más de 20 Km de ancho de una densidad de entre 0,0016 – 0,0034 estaciones/Km². La presencia de estaciones de tipo climatológica ordinaria (CO) y de monitoreo termográfico en la Cordillera de los Andes tiene sentido debido a la importancia de esta macrounidad para el monitoreo hídrico.

En conclusión, si observamos el área cubierta por las manchas de mayor densidad de la costa y la depresión intermedia -sobre todo en los sectores cercanos a las ciudades antes mencionadas- versus lo observado en la Cordillera de la Costa, la Cordillera de los Andes y en algunos sectores de la Precordillera es notoria la menor densidad de estaciones en estas últimas macrounidades mencionadas.


Figura 7. Mapa de densidad de estaciones meteorológicas por unidad geomorfológica




 Densidad de la red meteorológica nacional en la cuenca del Río Biobío y las cuencas costeras entre los ríos Itata y Carampangue y estaciones clasificadas
 

Simbología	
● Climatológica Principal	Unidad Geomorfológica
● Climatológica Ordinaria	 Planicie litoral
★ Sinóptica Principal	 Cordillera de la costa
★ Sinóptica Ordinaria	 Depresión intermedia
● Agrometeorológica	 Precordillera
● Climatológica con fines agrícolas	 Cordillera de los Andes
 Pluviométrica	
▲ Pluviográfica	

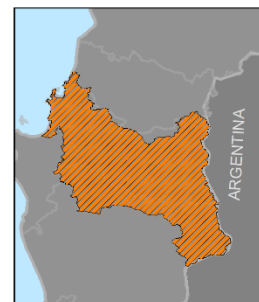
Autor: Juan Pablo Mardones Uribe
 Profesor guía: Dr. Octavio Rojas
 Agosto, 2023

N

 0 65 130 Km.

Universidad de Concepción
 Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía
 Departamento de Geografía

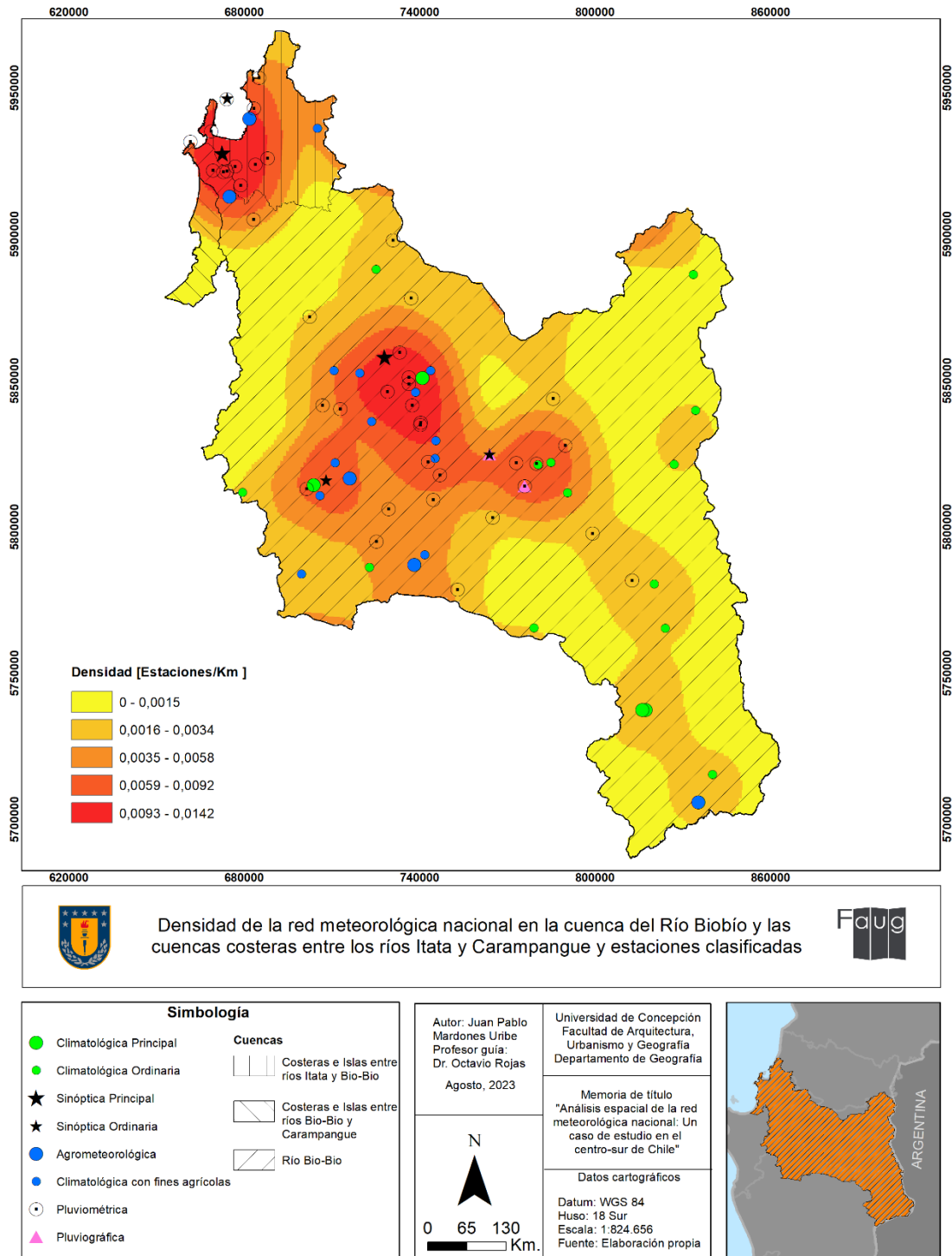
Memoria de título
 "Análisis espacial de la red meteorológica nacional: Un caso de estudio en el centro-sur de Chile"

Datos cartográficos
 Datum: WGS 84
 Huso: 18 Sur
 Escala: 1:824.656
 Fuente: Elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 8. Mapa de densidad de estaciones meteorológicas por cuenca



Fuente: elaboración propia

7.1.2. Caracterización de la percepción de los actores sobre la red

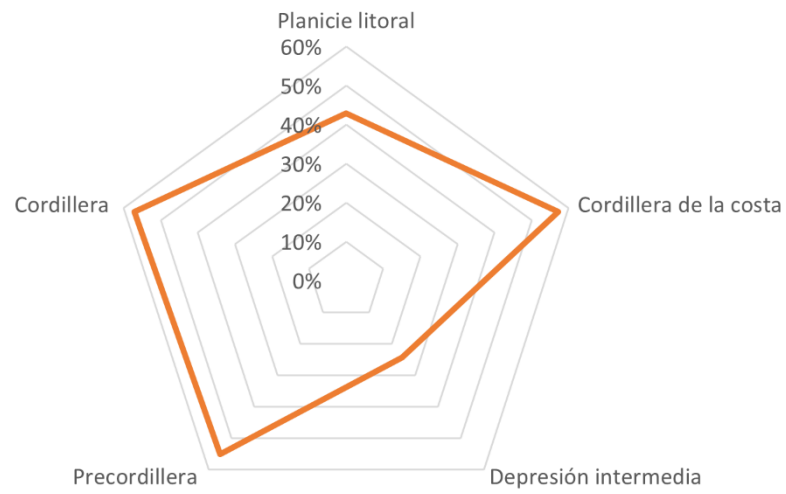
Los resultados de la encuesta se presentan por sector económico y por categoría de uso de la información, considerando: la zona en la que los actores creen que se debe mejorar el monitoreo meteorológico, los atributos de la información meteorológica demandada por los actores, la calidad del servicio y, finalmente, la opinión respecto de la problemática planteada en esta investigación.

7.1.2.1 Zona a mejorar

De acuerdo con lo observado en la Figura 9, las zonas donde se debe mejorar el monitoreo meteorológico, según los actores, corresponden a la 'Cordillera de la costa', la 'Precordillera' y la 'Cordillera de los Andes' con un 57%, 55% y 57% respectivamente.

Por otro lado, la Figura 10a muestra la información por sector económico, donde se diferencian de los demás los sectores 'Pesquero/Naviero/Aeronáutico' cuyos actores se inclina por la Planicie litoral (80%), y el sector 'Turismo & otros servicios' cuyos actores se inclinan por la Planicie litoral (50%) y la Precordillera (50%). Por otra parte, en los resultados por categoría de uso de la información meteorológica (Figura 10b), se diferencia de los demás el ámbito de la 'Navegación marítima y/o aérea & Servicio Meteorológico Civil' cuyos actores se inclinan por mejorar el monitoreo en la planicie litoral.

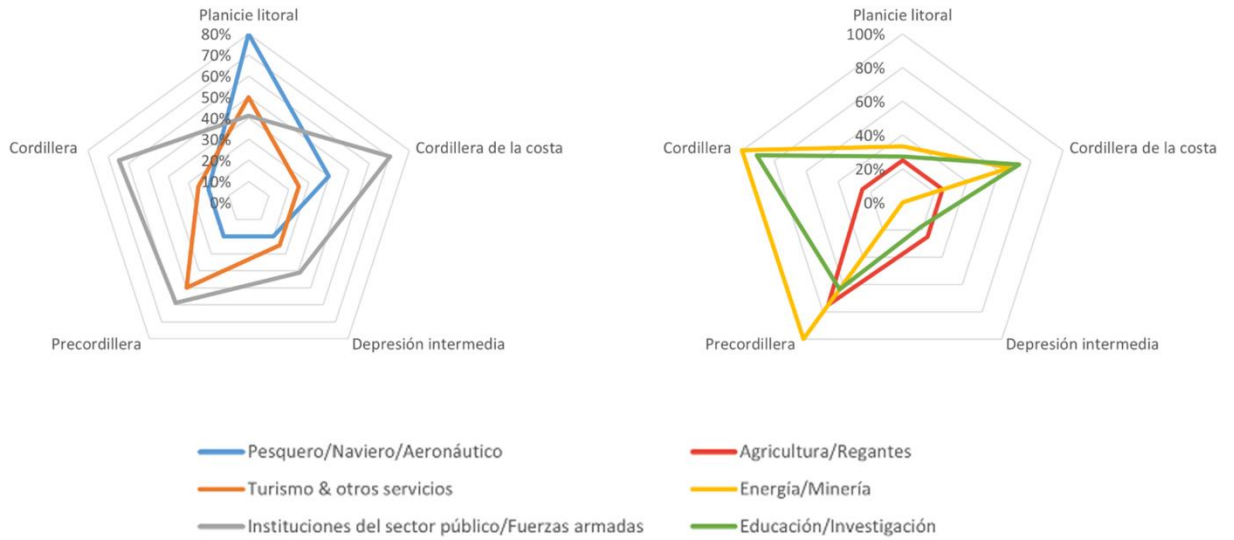
Figura 9. Resultado general de la pregunta: ¿En qué área(s) geográfica(s) cree usted que es necesario aumentar el monitoreo meteorológico?



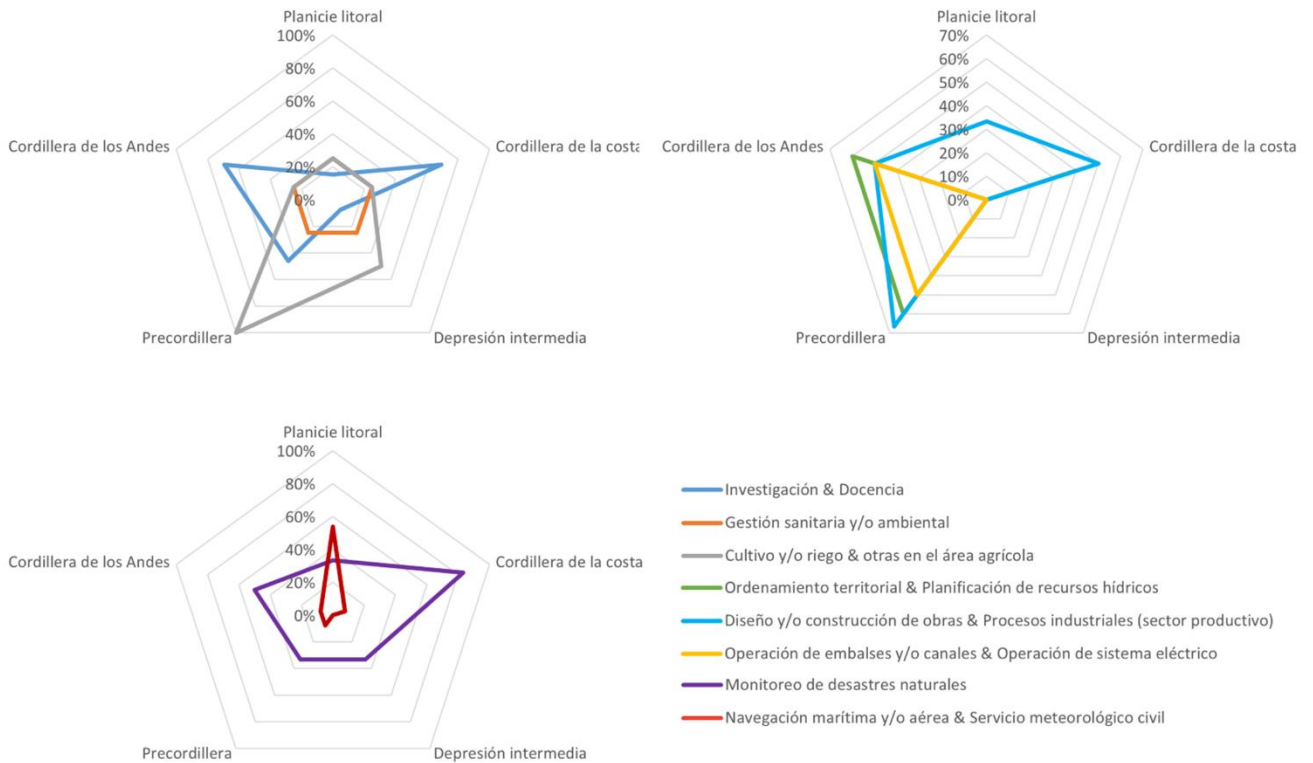
Fuente: elaboración propia

Figura 10. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: ¿En qué área(s) geográfica(s) cree usted que es necesario aumentar el monitoreo meteorológico?

a)



b)



Fuente: elaboración propia

5.1.3.2 Atributos

A) Fiabilidad

Primero, se debe entender que la escala de determinado fenómeno meteorológico se asocia a un determinado rango de resoluciones espaciales y temporales de monitoreo -las cuales dependen del objetivo de la toma de datos-. Estas resoluciones determinarán la densidad de la red de estaciones y la frecuencia de la toma de datos (ver sección 5.2.3.4 del Marco teórico).

Resolución espacial

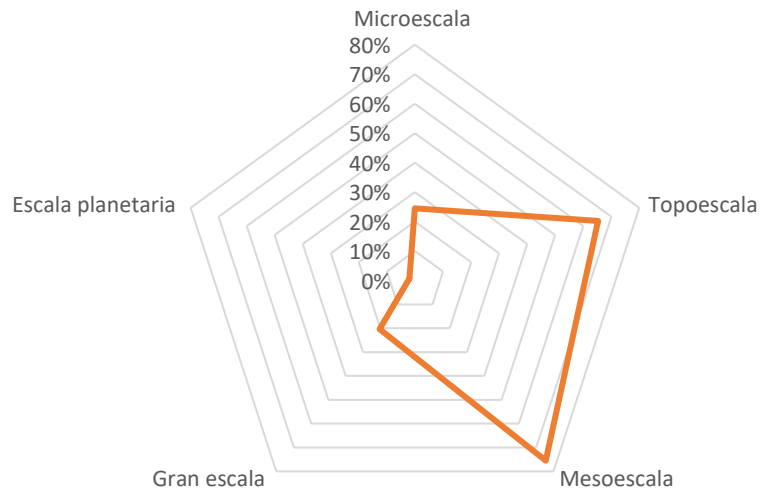
De acuerdo con lo observado en la Figura 11, las escalas de los fenómenos asociadas al trabajo desarrollado por la generalidad de los actores son la Topoescala (100 m – 3 Km), y de Mesoescala (3 Km – 100 Km) con un 65% y un 76% respectivamente.

Por sector económico (Figura 12a), se observa que sectores como 'Energía/Minería' y 'Educación/Investigación', además de requerir datos e información de fenómenos en las escalas demandadas por la generalidad de los actores, requieren también datos e información de fenómenos de Microescala (<100 m) -en ambos casos- y también en Gran escala (100 Km – 3000 Km) -en el caso de 'Energía/Minería'-.

En los resultados por categoría de uso de la información meteorológica (Figura 12b), se puede observar que los ámbitos de 'Investigación & Docencia', 'Diseño y/o construcción de obras & Procesos industriales (sector productivo)' y 'Cultivo y/o riego & otras en el área agrícola', además de requerir datos e información de fenómenos en las escalas demandadas por la generalidad de los actores, requieren también datos e información de fenómenos de Microescala (<100 m). Lo mismo ocurre con la categoría de uso 'Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil',

ámbito en el que un porcentaje importante de actores requieren datos e información en resoluciones asociadas a fenómenos de Gran escala (100 Km – 3000 Km).

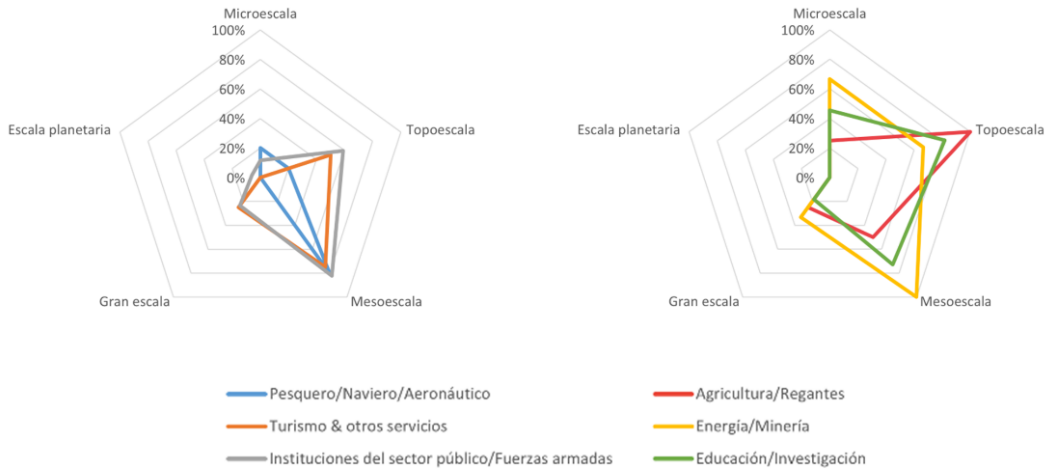
Figura 11. Resultado general de la pregunta: Seleccione la escala espacial que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad



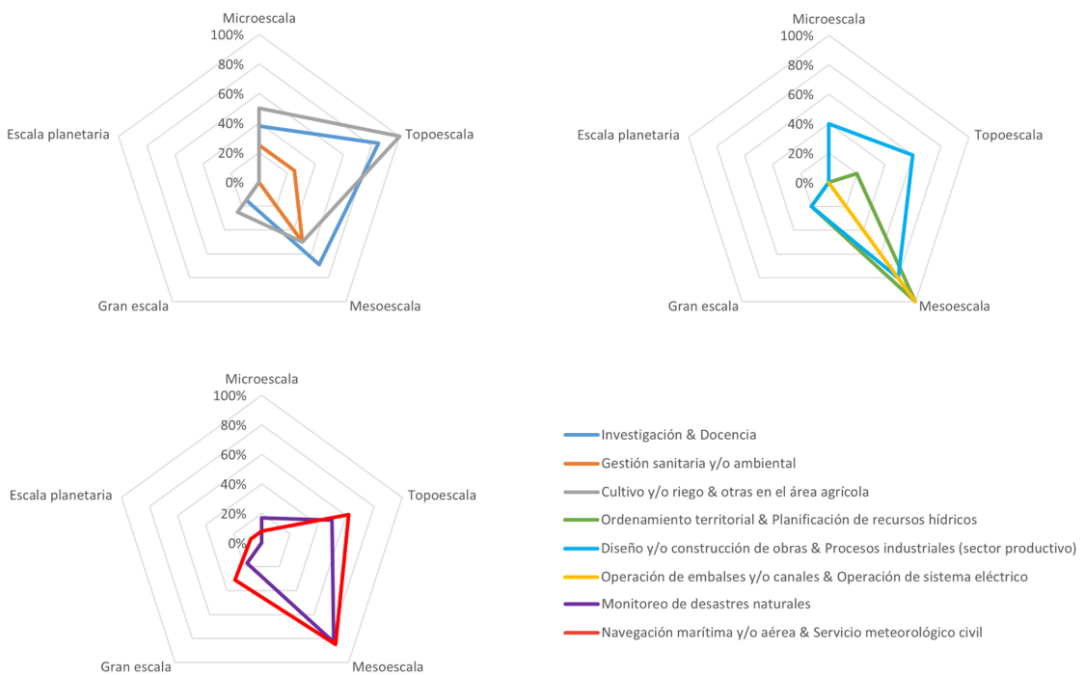
Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: Seleccione la escala espacial que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad

a)



b)



-Microescala: <100 m -Topoescala: 100 m – 3 Km -Mesoescala: 3 Km - 100 Km

-Gran escala: 100 Km – 3000 Km -Escala planetaria: >3000 Km

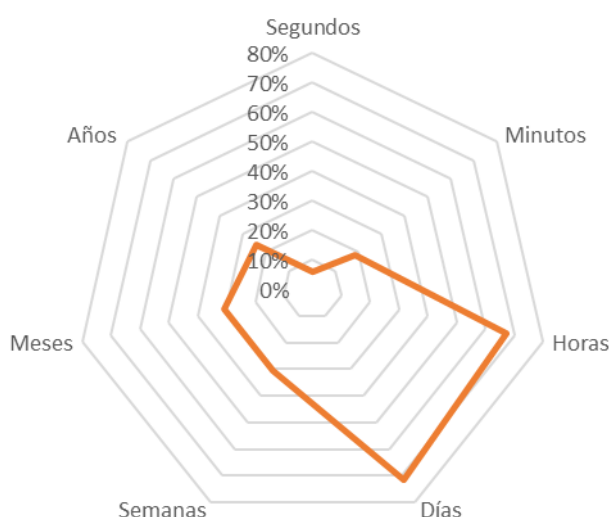
Fuente: Elaboración propia

Resolución temporal

De acuerdo con lo observado en la Figura 13, las resoluciones temporales más demandadas son Horas y Días, con un 67% y un 71% respectivamente, Es importante indicar que la resolución mínima indicada corresponde a minutos en un 20%.

Particularmente, en el caso del sector 'Energía/Minería', además de demandar datos en Horas y Días, demanda datos e información en Semanas, Meses y Años (Figura 14a). Los resultados por categoría de uso de la información meteorológica se pueden observar en la Figura 14b. De todos los ámbitos se puede diferenciar el de 'Diseño y/o Construcción de Obras & Procesos industriales (sector productivo)' cuyos actores, además de demandar datos en Horas y Días, demandan datos e información en Semanas, Meses y Años. Lo mismo sucede con 'Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos' cuyos actores, además, demandan datos en Meses.

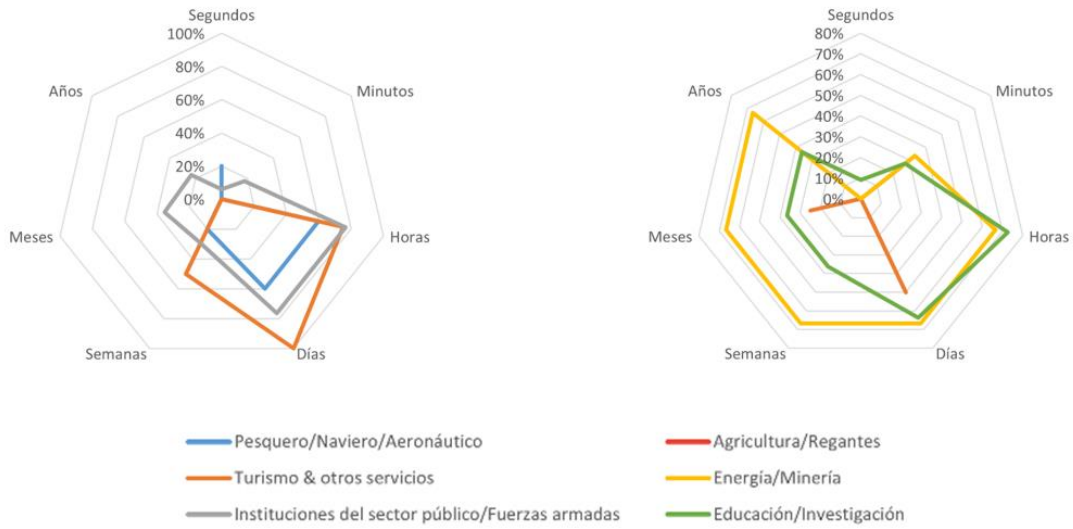
Figura 13. Resultado general de la pregunta: Seleccione la resolución temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad.



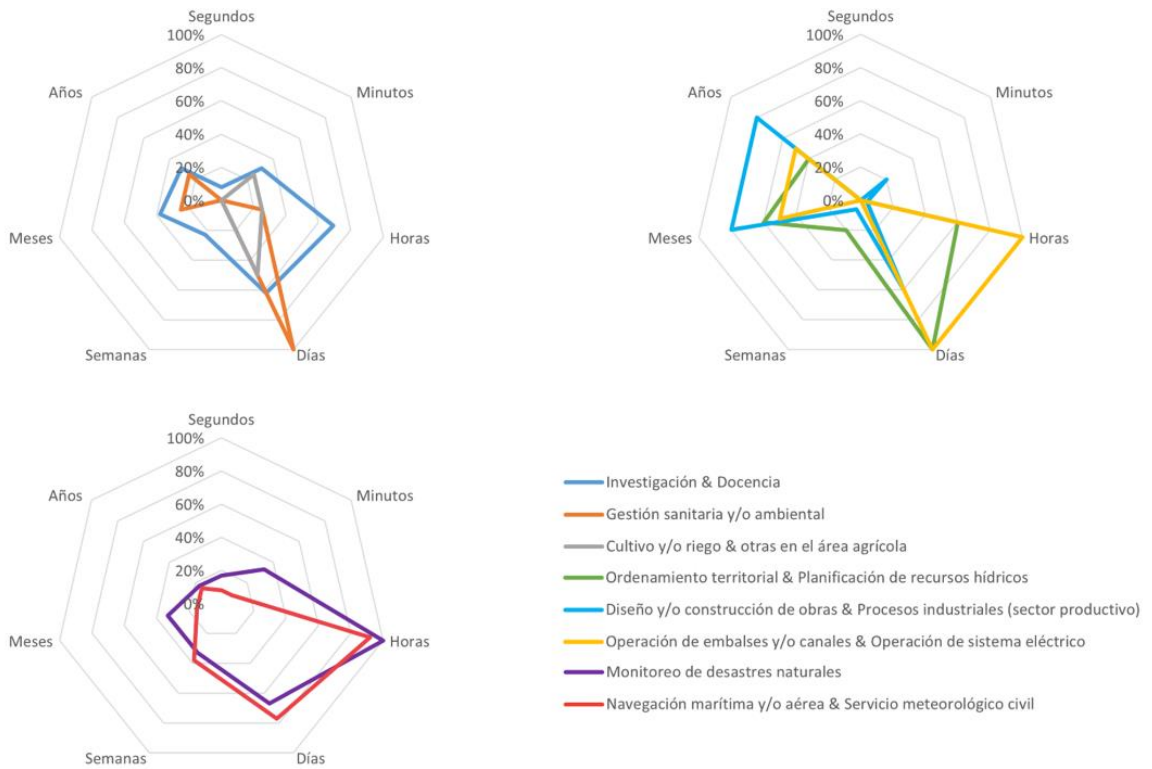
Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: Seleccione la resolución temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad

a)



b)



Fuente: Elaboración Propia

B) Disponibilidad

Cobertura espacial

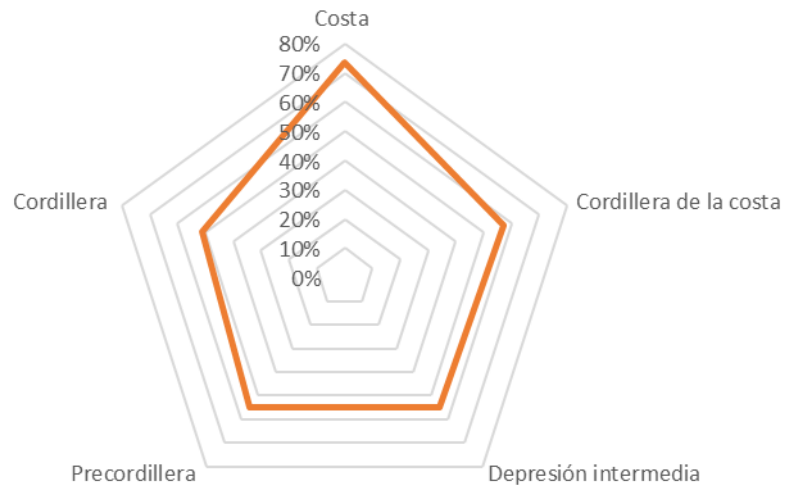
De acuerdo con lo observado en la Figura 15, que responde a la pregunta ¿En qué área(s) geográfica(s) le interesa a su institución/actividad/empresa contar con información meteorológica de calidad? la unidad geomorfológica con más menciones corresponde a la Planicie litoral con un 73% de las preferencias. Las demás macrounidades presentaron porcentajes similares entre ellas, esto es: Cordillera de la costa un 57%, la Depresión intermedia un 55%, la Precordillera un 55%, y la Cordillera de los Andes un 51%.

Los resultados por sector económico se pueden apreciar en la Figura 16a. En ella se pueden observar sectores que demandan datos e información en todas las macrounidades geomorfológicas ('Energía/Minería; Instituciones del sector público/Fuerzas armadas'; y 'Educación/Investigación'), y otros que son más específicos como, por ejemplo, 'Agricultura/Regantes', 'Pesquero/Naviero/Aeronáutico' y 'Turismo & otros servicios' cuyos actores demandan información en la Depresión intermedia en el caso del primero y en la Planicie litoral en el caso de los dos últimos.

De igual manera, en los resultados por categoría de uso de la información (Figura 16b), se observan ámbitos en los que los actores demandan datos e información en todas las macrounidades geomorfológicas (Investigación & Docencia; 'Diseño y/o Construcción de Obras & Procesos industriales (sector productivo)', y otros que son más específicos como, por ejemplo, 'Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil' y 'Cultivo y/o riego & otras en el área agrícola', cuyos actores

demandan información en la planicie litoral en el caso del primero y en la depresión intermedia en el caso del segundo.

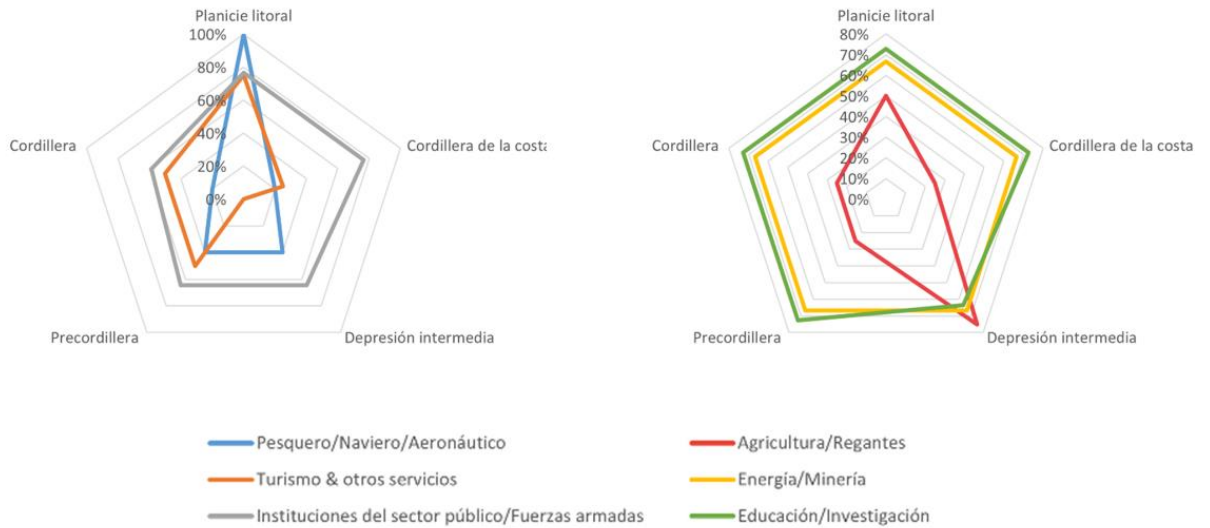
Figura 15. Resultado general de la pregunta: ¿En qué área(s) geográfica(s) le interesa a su institución/actividad/empresa contar con información meteorológica de calidad?



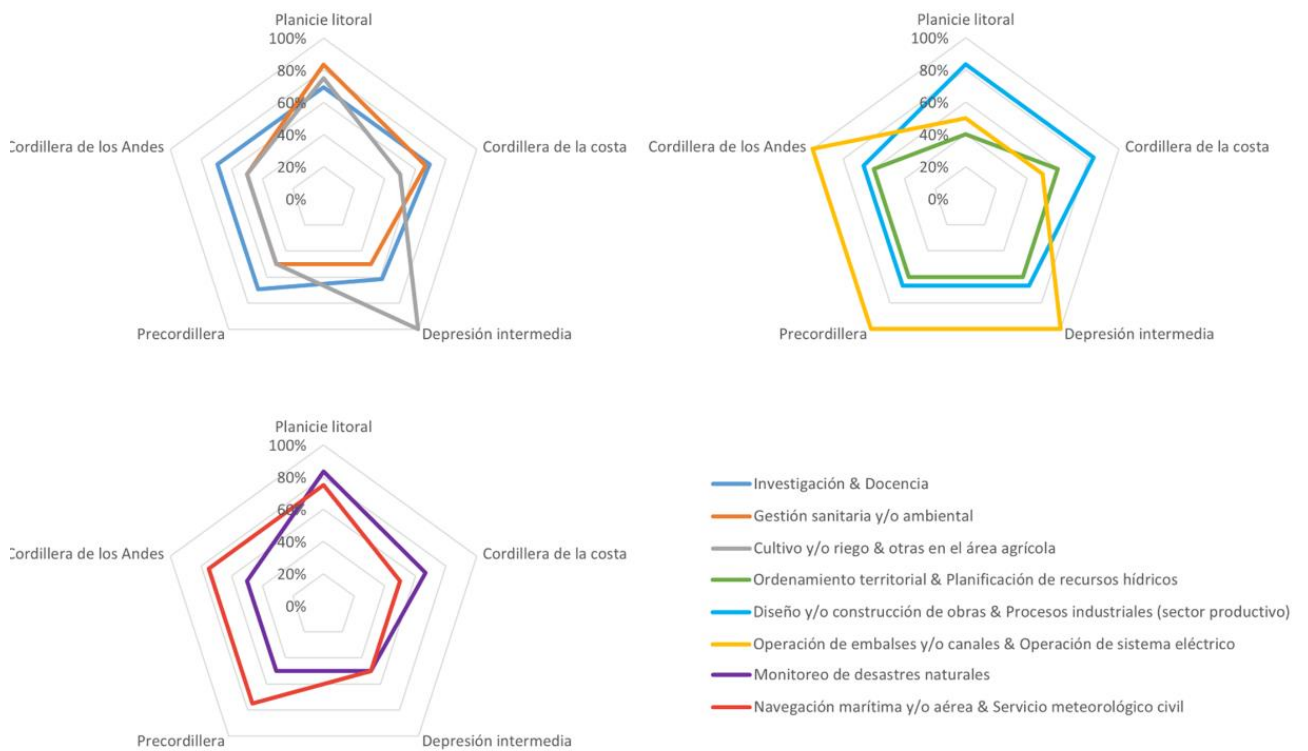
Fuente: elaboración propia

Figura 16. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: ¿En qué área(s) geográfica(s) le interesa a su institución/actividad/empresa contar con información meteorológica de calidad?

a)



b)



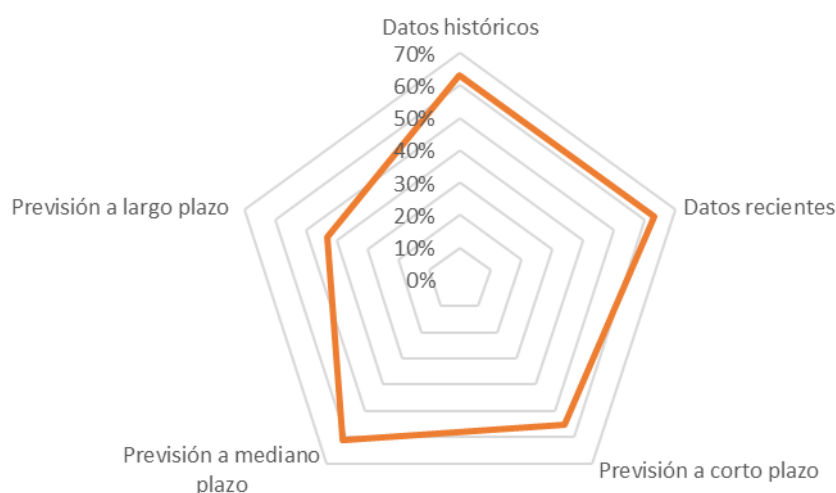
Fuente: elaboración propia

Cobertura temporal

De acuerdo con lo observado en la Figura 17, referida a la cobertura temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica, en general, se demanda información en todo el espectro temporal, siendo la temporalidad menos preferida la previsión a largo plazo (tendencias mensuales/estacionales) con un 43%.

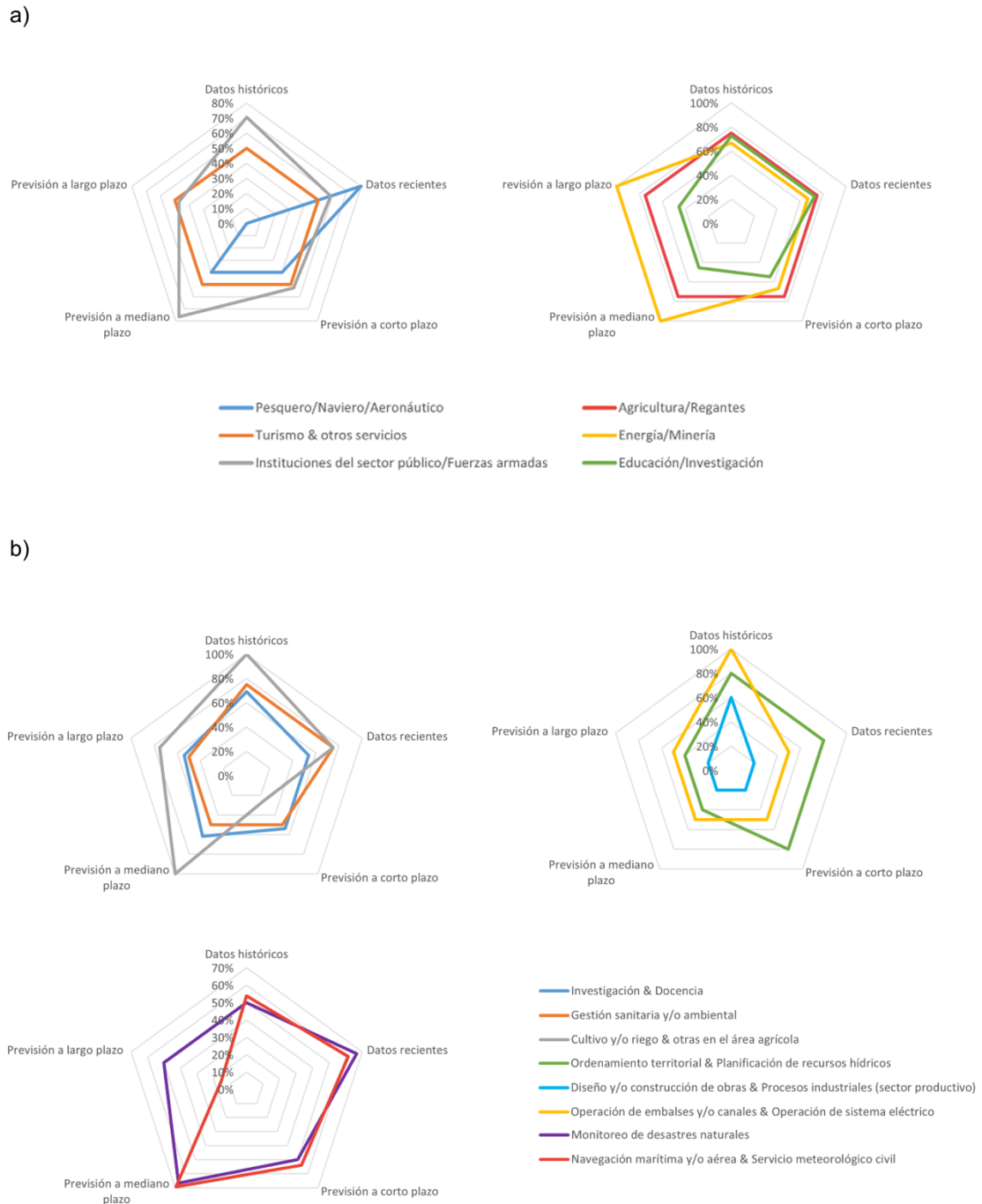
En los resultados por sector económico (Figura 18a), se observa que, con excepción del sector 'Pesquero/Naviero/Aeronáutico' cuyos actores concentran su demanda en los datos recientes, la mayor parte de los sectores demandan datos e información en todo el espectro temporal. En los resultados por categoría de uso de la información sucede lo mismo (Figura 18b), siendo los ámbitos de 'Diseño y/o Construcción de Obras & Procesos industriales (sector productivo)' y 'Operación de embalses y/o canales & Operación de sistema eléctrico' la excepción, ya que concentran su demanda en los datos históricos.

Figura 17. Resultado general de la pregunta: Seleccione la cobertura temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad



Fuente: elaboración propia

Figura 18. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: Seleccione la cobertura temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad



-Datos Históricos: Datos históricos -Datos recientes: minutos/horas previas al presente -Previsión a corto plazo: minutos/horas siguientes al presente -Previsión a mediano plazo: días/semanas siguientes al presente -Previsión a largo plazo: tendencias mensuales/estacionales

Fuente: elaboración propia

C) Accesibilidad

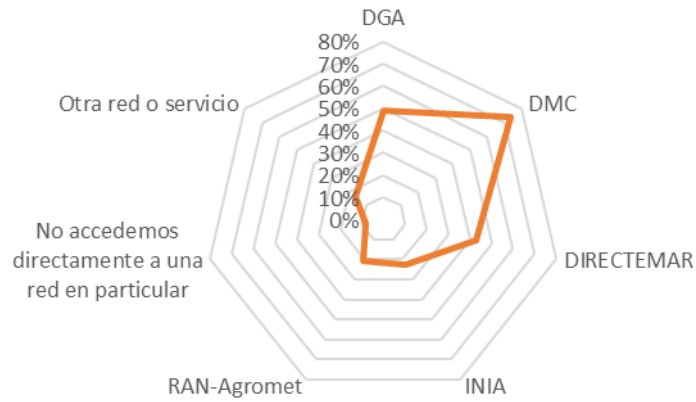
Red/Servicio de acceso a la información

De acuerdo con lo observado en la Figura 19, en respuesta a la pregunta ¿Su organización/empresa/actividad utiliza de forma directa alguna de las siguientes redes o servicios a la hora de solicitar información meteorológica?, en general, la red más utilizada para acceder a información meteorológica es la Red meteorológica de la DMC obteniendo un 73%. Le siguen la Red hidrometeorológica y de calidad de aguas de la DGA (49%) y Servimet de DIRECTEMAR (43%).

En los resultados por sector económico (Figura 20a), siendo la red de la DMC el denominador común, se tienen sectores que utilizan además la red de la DGA ('Agricultura/Regantes', 'Energía/Minería'), otros, el Servimet ('Pesquero/Naviero/Aeronáutico', 'Turismo & Otros servicios'), pero también otros que utilizan todas las redes ('Instituciones del sector público/Fuerzas Armadas', 'Educación/Investigación').

En los resultados por categoría de uso de la información meteorológica (Figura 20b), se identifican, de igual forma, ámbitos que además de la red de la DMC se inclinan notoriamente por la red de la DGA versus otros que se inclinan notoriamente por el Servimet. Sin desmedro de lo anterior, se identifican ámbitos que utilizan todas las redes versus otros que son más concretos y utilizan solo una o dos. O ámbitos, como es el caso de 'Monitoreo de desastres naturales & Labores de emergencia y rescate' en el cual gran parte de sus actores utilizan otras red o servicios.

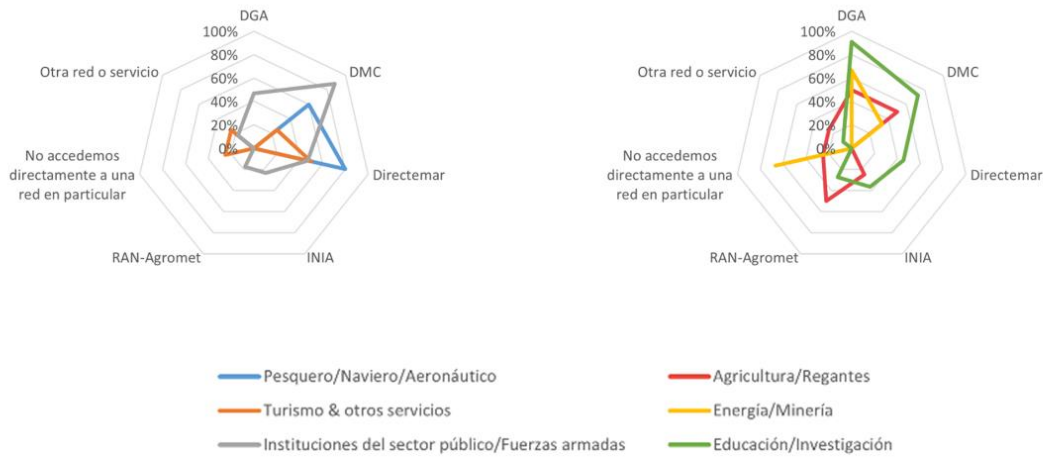
Figura 19. Resultado general de la pregunta: ¿Su organización/empresa/actividad utiliza de forma directa alguna de las siguientes redes o servicios a la hora de solicitar información meteorológica?



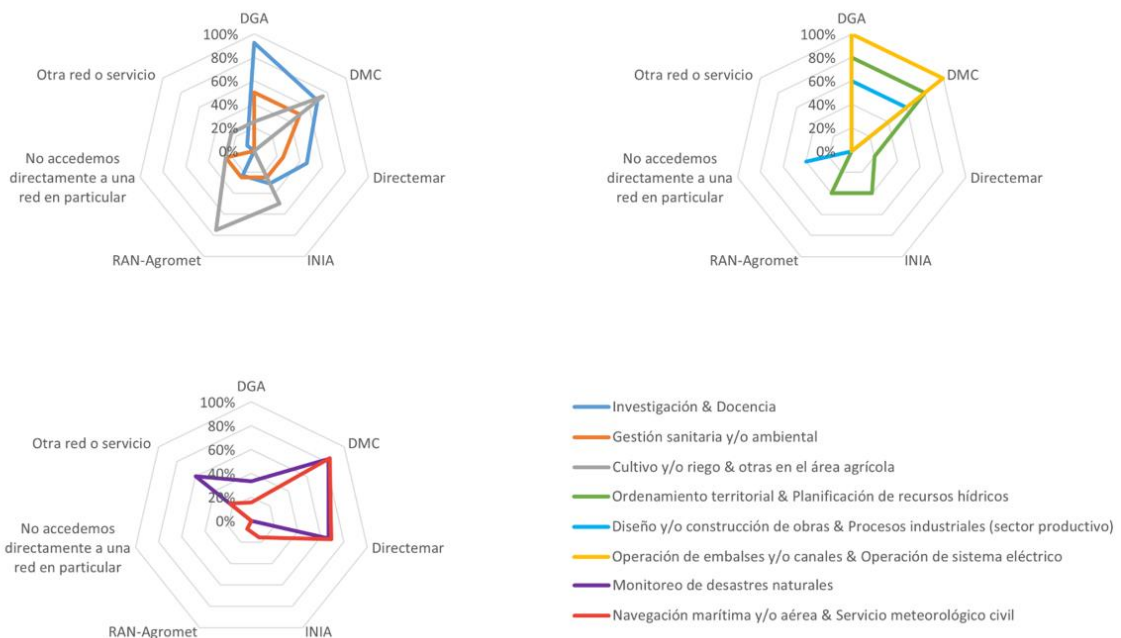
Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: ¿Su organización/empresa/actividad utiliza de forma directa alguna de las siguientes redes o servicios a la hora de solicitar información meteorológica?

a)



b)



-DGA: Red hidrometeorológica y de calidad de aguas -DMC: Dirección Meteorológica Meteochile
 -Directemar: Servicio Meteorológico de la Armada -INIA: Red Agrometeorológica Nacional -RAN-Agromet: Red Agroclimática Nacional

Fuente: elaboración propia

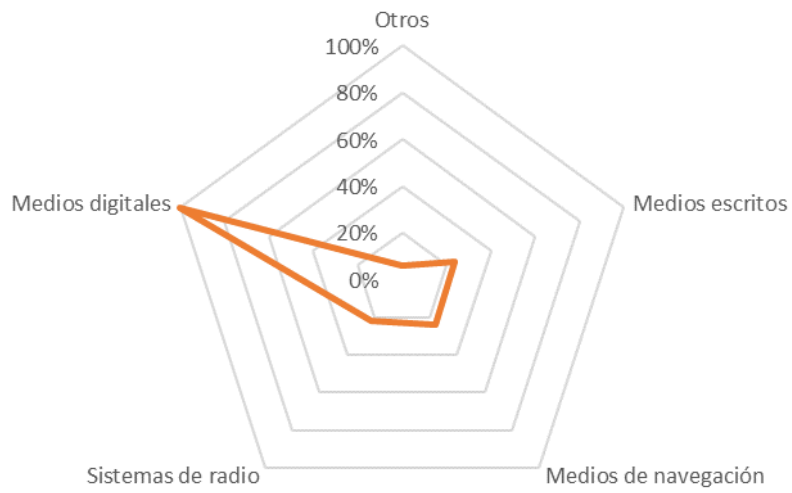
Medio de acceso a la información

De acuerdo con lo observado en la Figura 21, en respuesta a la pregunta ¿A través de cuál(es) de los siguientes medios su empresa/actividad/organización accede a la red de datos meteorológicos para su área de interés? en general los Medios digitales son utilizados por un 100%, esto es páginas web, correo electrónico, aplicaciones y redes sociales. Los demás medios obtuvieron menos del 24% cada uno.

A continuación, en la descripción de los resultados por sector económico y categoría de uso de la información se exceptuará la mención de los Medios Digitales entendiéndose que fue la forma de acceso preferida.

Los resultados por sector económico (Figura 22a), se pueden observar algunos sectores cuyos actores utilizan medios escritos ('Energía/Minería'; 'Turismo & otros servicios'), o medios de navegación y sistemas de radio ('Pesquero/Naviero/Aeronáutico'; 'Instituciones del sector público/Fuerzas armadas'). En los resultados por categoría de uso de la información meteorológica (Figura 22b), se pueden observar algunos ámbitos cuyos actores utilizan sistemas de radio ('Monitoreo de desastres naturales & Labores de emergencia y rescate'), sistemas de navegación ('Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil') y medios escritos ('Operación de embalses y/o canales & Operación de sistema eléctrico'; 'Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil').

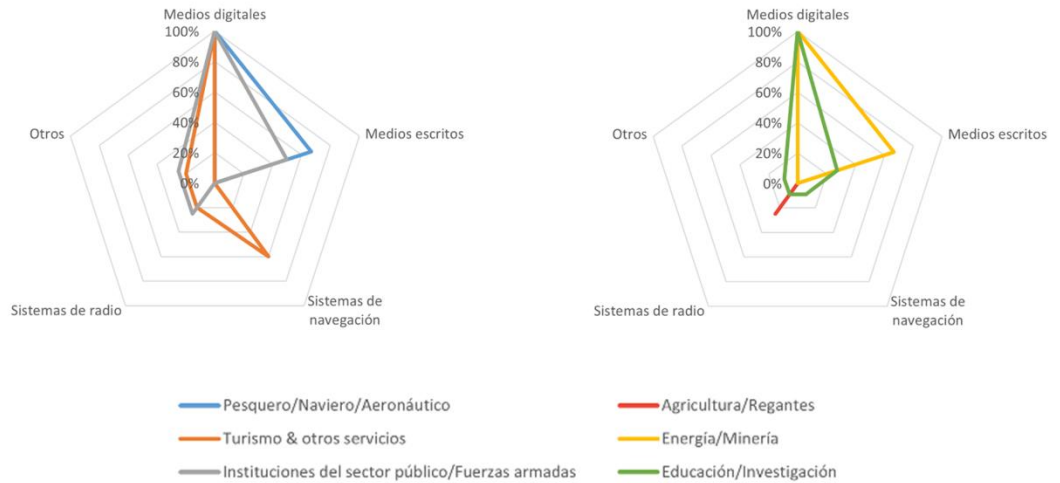
Figura 21. Resultado general de la pregunta: ¿A través de cuál(es) de los siguientes medios su empresa/actividad/organización accede a la red de datos meteorológicos para su área de interés?



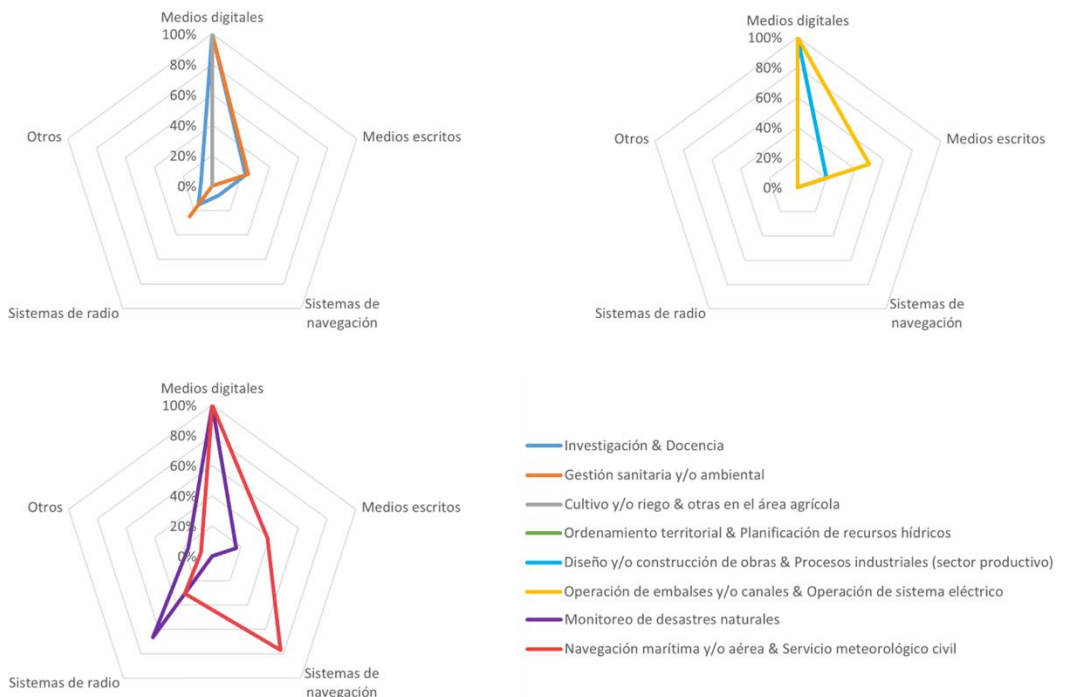
Fuente: elaboración propia

Figura 22. Resultados por sector económico (a) y categoría de uso de la información (b) de la pregunta: ¿A través de cuál(es) de los siguientes medios su empresa/actividad/organización accede a la red de datos meteorológicos para su área de interés?

a)



b)



-Medios digitales: Página web; Aplicación; Correo electrónico; Redes sociales. -Medios escritos: Reportes, boletines, anuarios y Otras publicaciones científicas. -Sistemas de navegación: Sistema IFIS; Sistema SafetyNet o similar; Sistema NavTex o similar -Sistemas de radio: Radio fax; Radio emisora; Radio satelital; Contacto telefónico. -Otros: Ley de transparencia; TV o periódico; Mesas técnicas, etc.

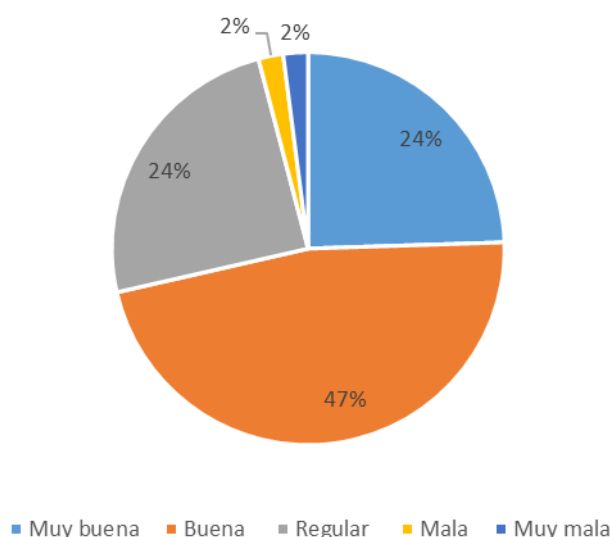
Fuente: elaboración propia

Calidad del acceso a la información

De acuerdo con lo observado en la Figura 23, relativo a la calidad del acceso a la red de datos meteorológicos, en general, se ponderó positivamente la calidad de esta. El 71% de los actores la ponderó como 'Buena' o 'Muy buena'.

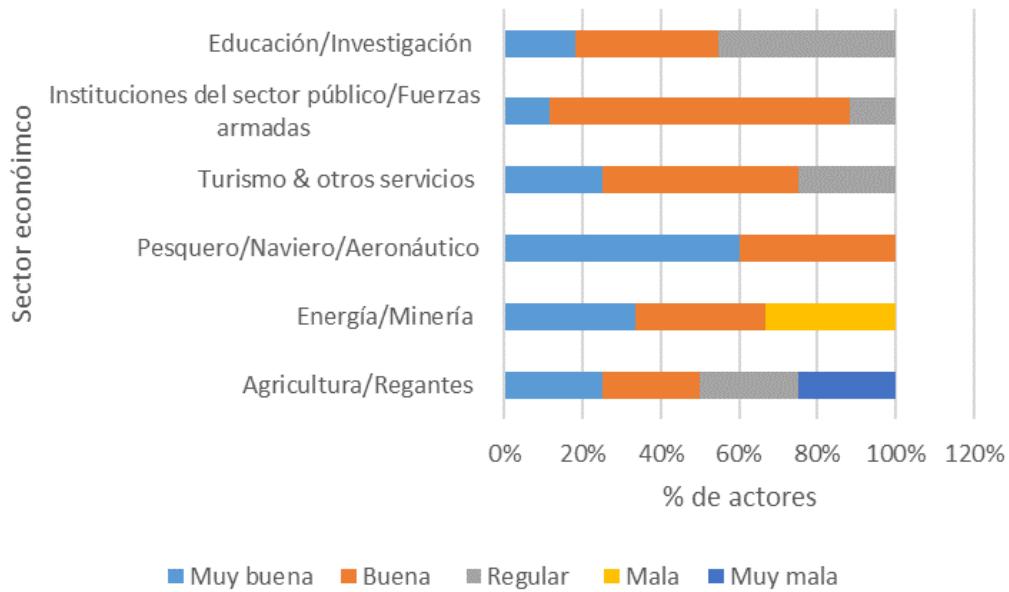
Los resultados por sector económico se muestran en la Figura 24. En ella se puede apreciar que los sectores que peor evaluaron la calidad del acceso fueron 'Agricultura/Regantes', 'Educación/Investigación' y 'Energía/Minería'. Por categoría de uso de la información meteorológica (Figura 25), los ámbitos que evaluaron de peor forma la calidad del acceso fueron 'Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos y 'Operación de embalses y/o canales & Operación de sistema eléctrico'.

Figura 23. Resultado general de la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad de acceso a la red de datos meteorológicos?



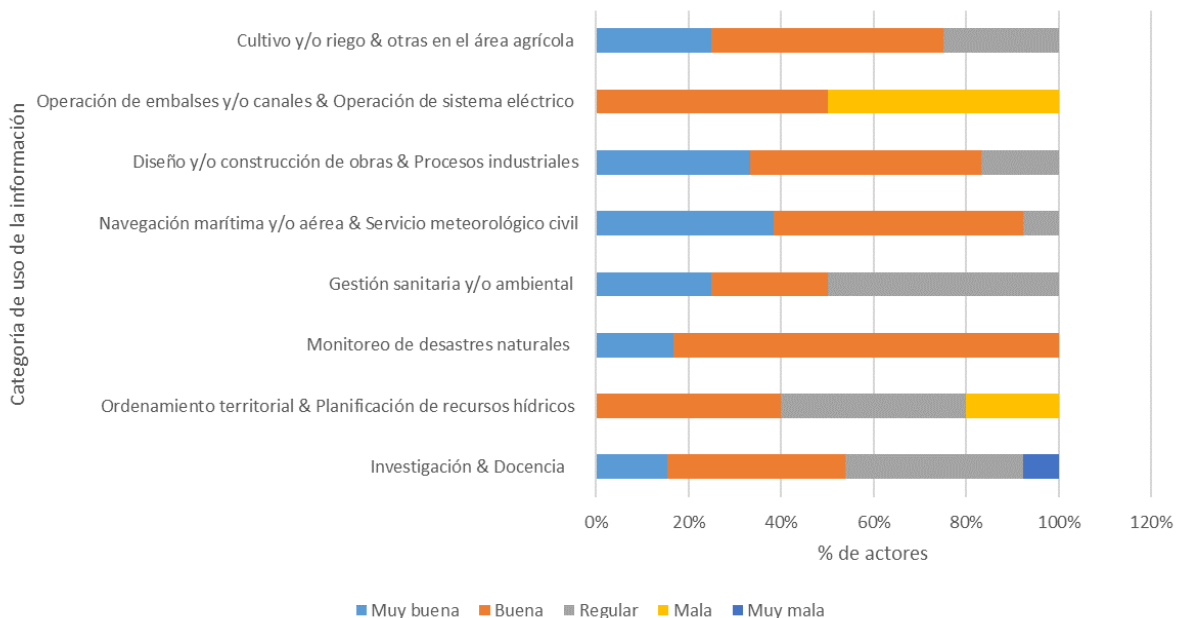
Fuente: elaboración propia

Figura 24. Resultados por sector económico de la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad de acceso a la red de datos meteorológicos?



Fuente: elaboración propia

Figura 25. Resultados por categoría de uso de la información meteorológica de la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad de acceso a la red de datos meteorológicos?



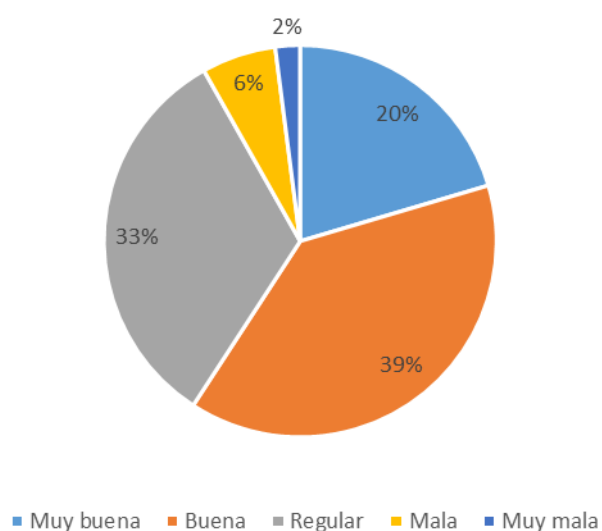
Fuente: elaboración propia

Calidad del servicio

De acuerdo con lo observado en la Figura 26, en relación con la pregunta ¿Cómo evalúa la calidad del servicio meteorológico para el área de interés de su institución/actividad/empresa? en general, se ponderó positivamente la calidad del servicio con un 59 de actores calificándola de ‘Buena’ o ‘Muy buena’.

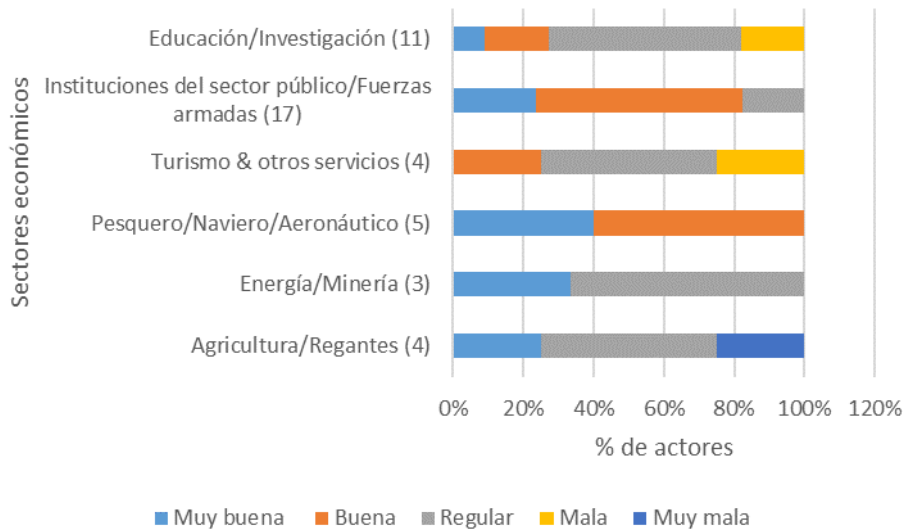
En los resultados por sector económico (Figura 27), se aprecia que los sectores cuyos actores ponderaron de peor manera la calidad del servicio fueron ‘Agricultura/Regantes’ y ‘Turismo & otros servicios’. En los resultados por categoría de uso de la información (Figura 28), fueron los ámbitos ‘Investigación & Docencia’ y ‘Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos’ quienes entregaron una evaluación deficiente.

Figura 26. Resultado general de la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad del servicio meteorológico para el área de interés de su institución/actividad/empresa?



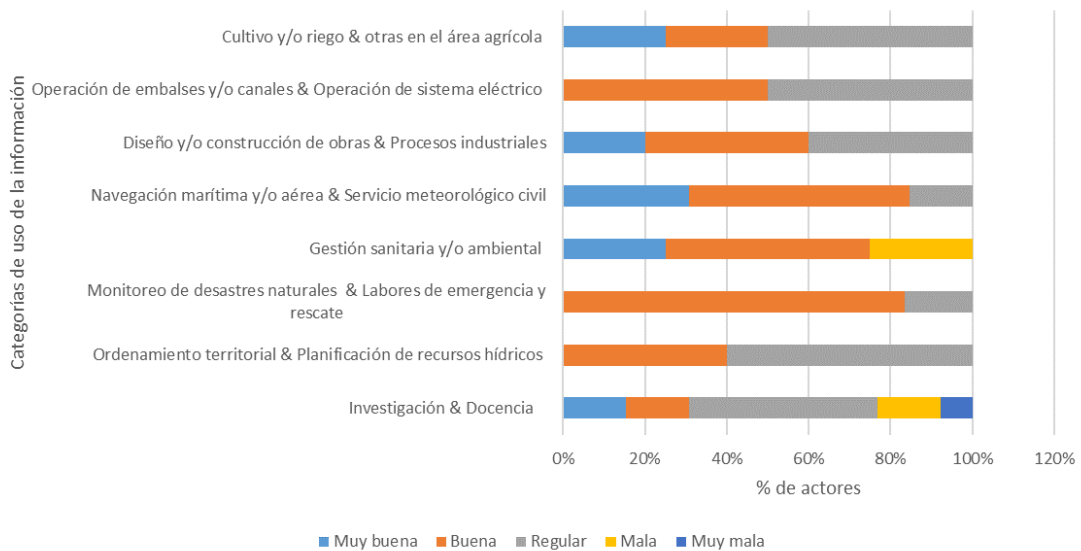
Fuente: elaboración propia

Figura 27. Respuestas por sector económico a la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad del servicio meteorológico para el área de interés de su institución/actividad/empresa?



Fuente: elaboración propia

Figura 28. Respuestas por categoría de uso de la información meteorológica a la pregunta: ¿Cómo evalúa la calidad del servicio meteorológico para el área de interés de su institución/actividad/empresa?



Fuente: elaboración propia

5.1.3.4 Problemática

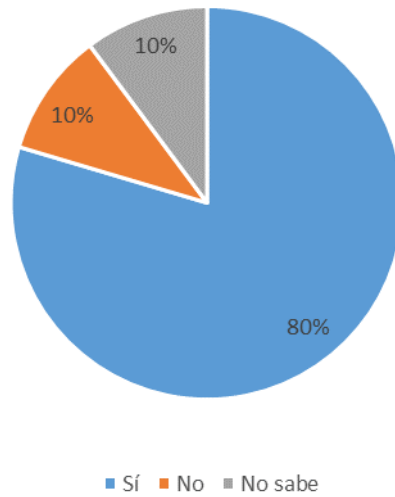
¿Considera como solución a la problemática el integrar las redes estudiadas en una sola entidad como, por ejemplo, un Servicio Hidrológico y Meteorológico Nacional?

De acuerdo con lo observado en la Figura 29, en general, los actores Sí consideran como una solución a la problemática planteada el integrar las redes mencionadas en una sola entidad como, por ejemplo, un Servicio Hidrológico y Meteorológico Nacional, siendo estos el 80% del total de actores encuestados.

Al observar los datos por sector económico (Figura 30), se tiene que el sector más reactivo a la idea es 'Energía/Minería' con un 33% de valoración negativa. Por otro lado, el sector más abierto a la idea es 'Turismo & Otros servicios, con el 100% de sus actores valorando de forma positiva la solución.

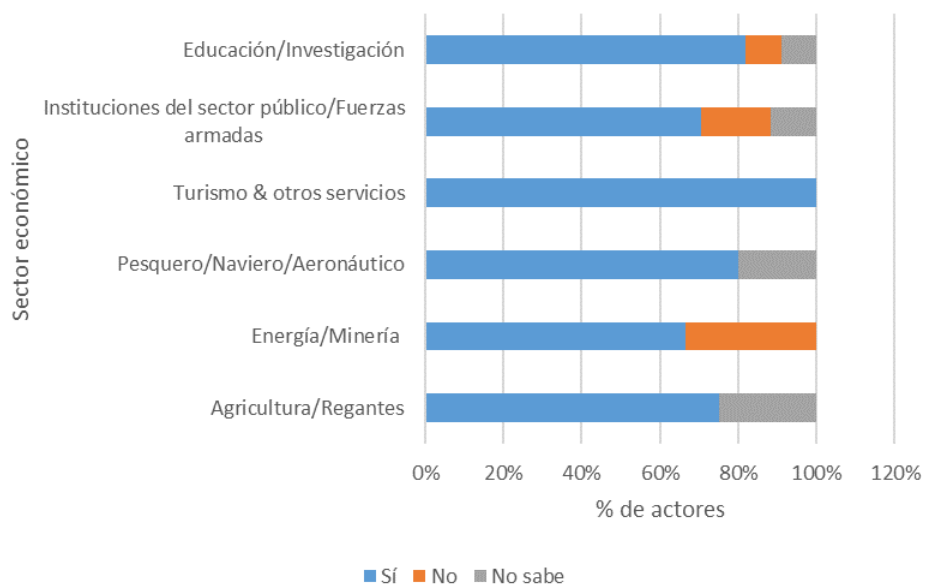
Al observar los datos por categoría de uso de la información (Figura 31), los ámbitos más abiertos a la idea son 'Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos', 'Monitoreo de desastres naturales & Labores de emergencia y rescate' y 'Operación de embalses y/o canales & Operación de sistema eléctrico' con el 100% en acuerdo con la propuesta.

Figura 29. Respuesta general a la pregunta: ¿Considera como solución a la problemática el integrar las redes estudiadas en una sola entidad como, por ejemplo, un SHMN?



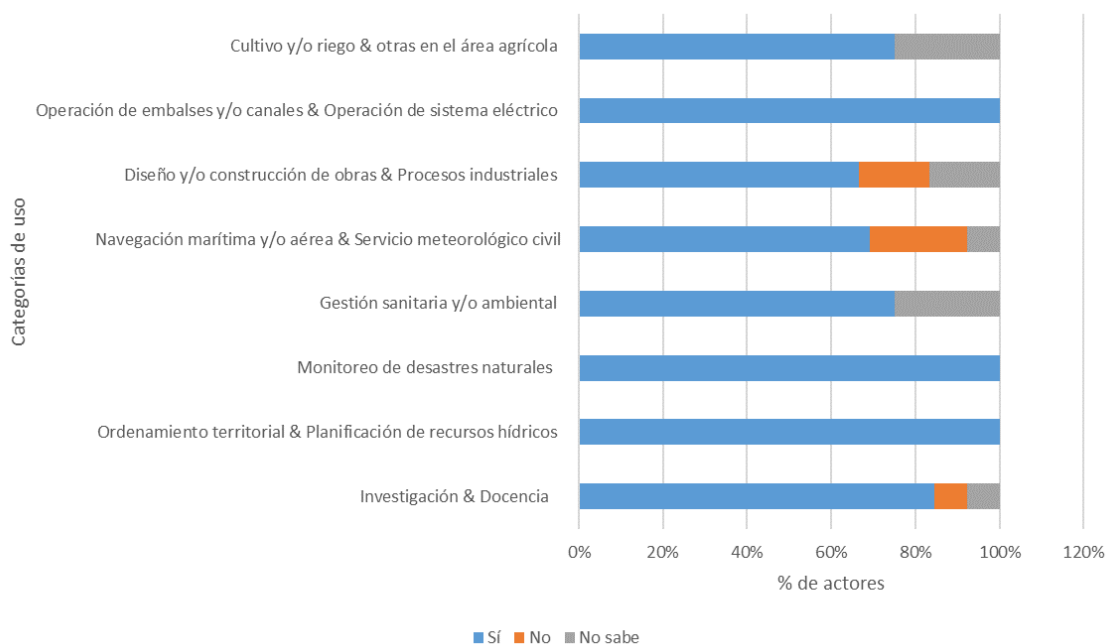
Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Respuestas por sector económico a la pregunta: ¿Considera como solución a la problemática el integrar las redes estudiadas en una sola entidad como, por ejemplo, un SHMN?



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Respuestas por categoría de uso de la información meteorológica a la pregunta: ¿Considera como solución a la problemática el integrar las redes estudiadas en una sola entidad como, por ejemplo, un SHMN?



Fuente: Elaboración propia

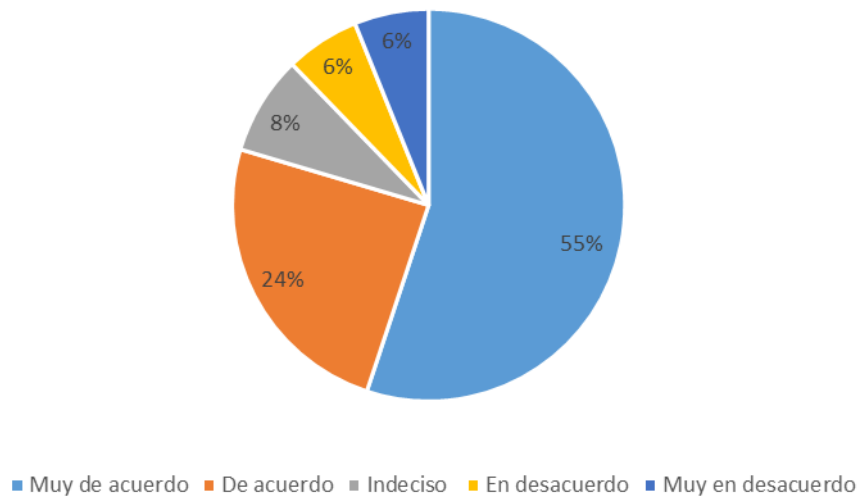
¿Qué tan de acuerdo está con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio?

De acuerdo con la Figura 32, los actores se muestran ‘Muy de acuerdo’ o ‘De acuerdo’ en un 79% con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio. Por otro lado, solo un 12% se muestra ‘En desacuerdo’ o ‘Muy en desacuerdo’.

Al observar los datos por sector (Figura 33), las áreas de ‘Agricultura/Regantes’, ‘Instituciones del sector público/Fuerzas armadas’ y ‘Educación/Investigación’ presentan un nivel mayor de desacuerdo en un 25%, 18% y 18% respectivamente. Un porcentaje similar se reportó en las categorías de uso de la información, para

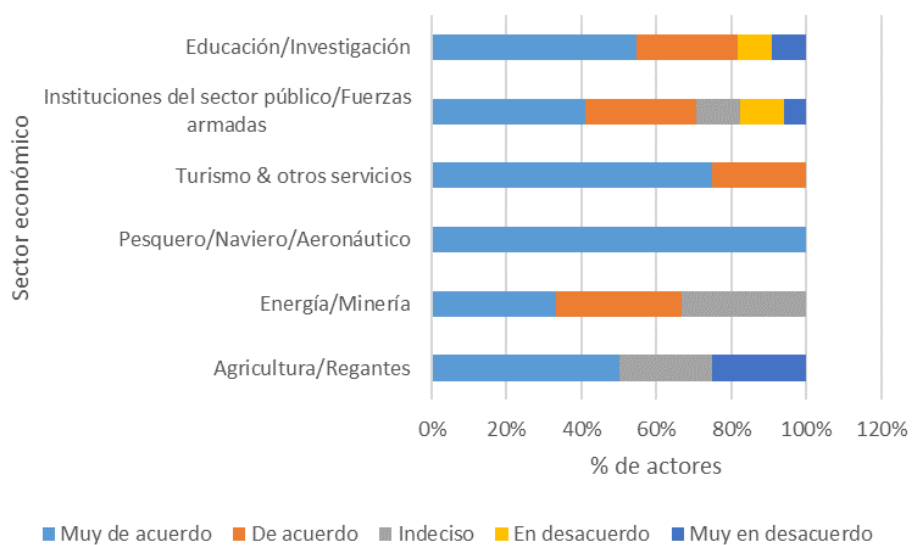
'Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil' e 'Investigación & Docencia', donde el 23% se encontró en desacuerdo (ver Figura 34).

Figura 32. Respuesta general a la pregunta: ¿Qué tan de acuerdo está con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio?



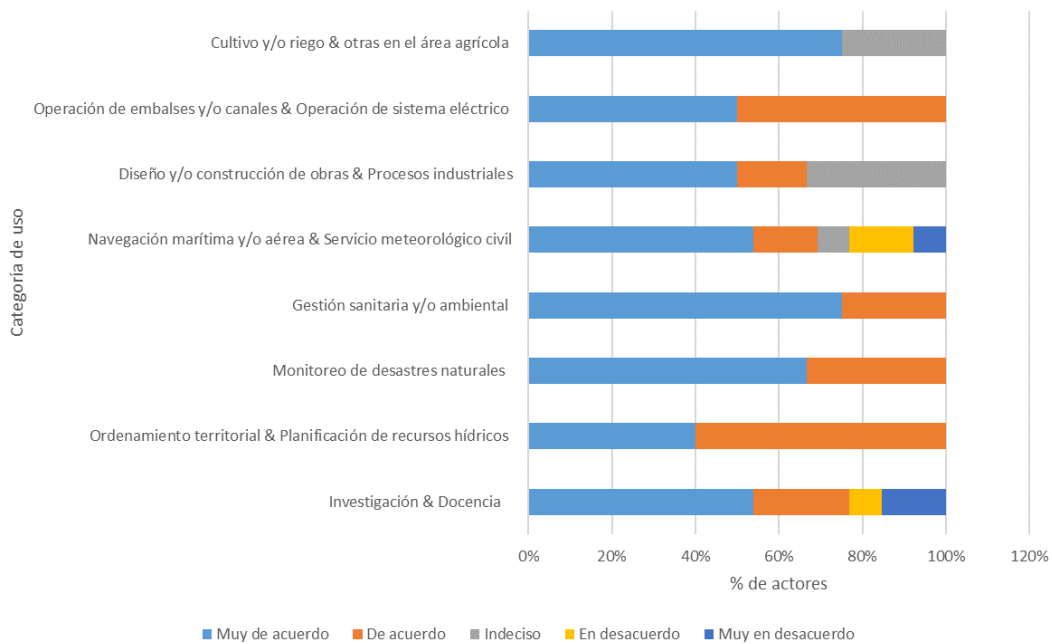
Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Respuestas por sector económico a la pregunta: ¿Qué tan de acuerdo está con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio?



Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Respuestas por categoría de uso de la información meteorológica a la pregunta: ¿Qué tan de acuerdo está con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio?



Fuente: Elaboración propia

¿Qué tan factible de realizar considera la medida anterior?

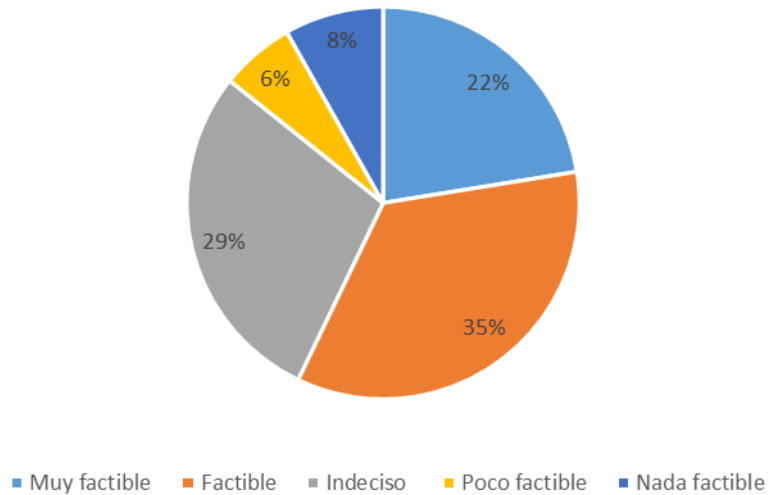
El 57% de los actores cree que la medida propuesta es ‘Factible’ o ‘Muy factible’ de realizar (Figura 35). Por el contrario, el 14% cree que es ‘Poco factible’ o ‘Nada factible’ de realizar y un 29% se mostró ‘Indeciso’.

Al observar los datos por sector (Figura 36), ‘Agricultura/Regantes’ e ‘Instituciones del sector público/Fuerzas armadas’ muestran una visión ‘Poco factible’ o ‘Nada factible’ en un 25%. Por otro lado, el sector que mejor proyección le otorga es el ‘Pesquero/Naviero/Aeronáutico’ con el 80% de visión positiva.

Por categoría de uso de la información (Figura 37), las categorías con mayor visión negativa son Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil e Investigación & Docencia con el 30% y 23%. Por otro lado, las categorías de uso más afines con la idea son ‘Operación de embalses y/o canales & Operación de sistema

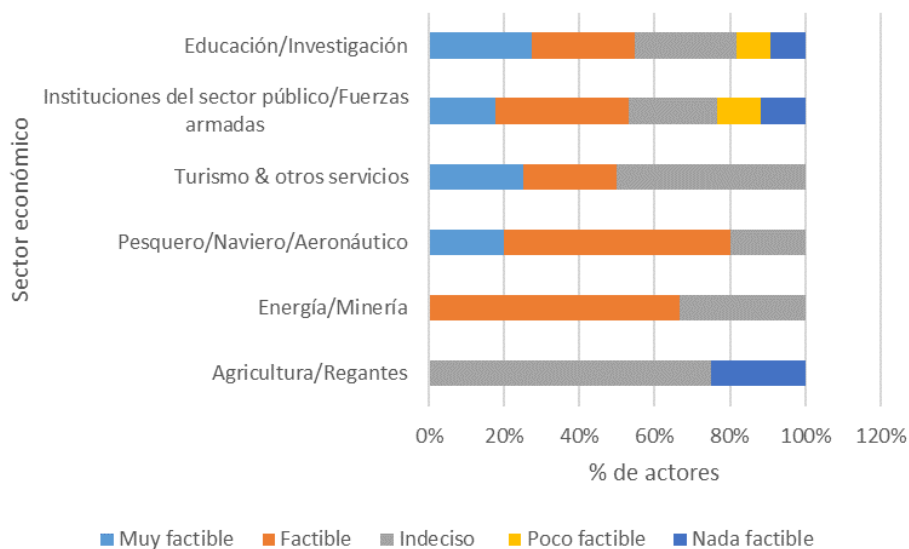
eléctrico' y 'Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos' con el 100% y 80% de sus actores definiendo como 'Factible' o 'Muy factible' la medida.

Figura 35. Resultado general de la pregunta: ¿Qué tan factible de realizar considera la medida anterior?



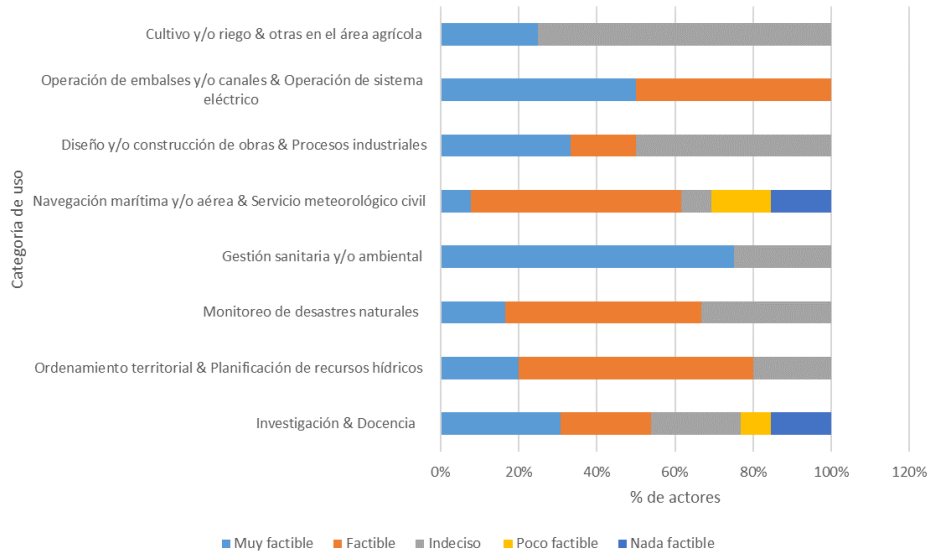
Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Respuestas por sector económico a la pregunta: ¿Qué tan factible de realizar considera la medida anterior?



Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Respuestas por categoría de uso de la información meteorológica a la pregunta: ¿Qué tan factible de realizar considera la medida anterior?



Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Propuesta de criterios de localización de estaciones meteorológicas

7.1.3.1. Ponderación de criterios

En la Tabla 15 se muestran los resultados respecto de la importancia de los criterios de localización para los actores. Se observa que los criterios más importantes para los actores a la hora de definir dónde instalar una estación meteorológica son 'Accesibilidad todo el año', 'Seguridad ante amenaza natural', 'Cobertura de comunicación y disponibilidad de energía eléctrica' y 'Cobertura o área de influencia de la red meteorológica actual'. Les siguen la 'Topografía', el 'Comportamiento espacio temporal de las variables o fenómenos meteorológicos a monitorear' y la 'Retroalimentación de usuarios / Demanda de información por territorios'.

Tabla 13. Resultados de la ponderación de criterios de localización óptima de estaciones meteorológicas

Criterio	Baja	Media	Alta	Muy alta
Accesibilidad todo el año	5%	24%	32%	39%
Presencia de observadores	5%	50%	26%	18%
Seguridad ante amenaza natural	5%	16%	34%	45%
Terreno fiscal	35%	27%	24%	14%
Cobertura de comunicación y disponibilidad de energía eléctrica	11%	18%	21%	50%
Distancia al mar	29%	32%	21%	18%
Distancia a lago	30%	32%	22%	16%
Distancia a río	30%	32%	24%	14%
Topografía	8%	14%	53%	25%
Comportamiento espacio temporal de variables o fenómenos meteorológicos a monitorear	3%	8%	54%	35%
Cobertura o área de influencia de la red meteorológica actual	3%	11%	38%	49%

Retroalimentación de usuarios / Demanda de información por territorios	3%	11%	46%	41%
--	----	-----	-----	-----

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.2. Propuesta de localización óptima de estaciones

En la Figura 39, se puede observar una primera propuesta de zonas para la localización de estaciones para la Cordillera de la costa. Esta unidad fue escogida debido a que contó con mejor calidad de información geoespacial que la Precordillera y la Cordillera de los Andes, información necesaria para la representación espacial de los criterios definidos en la presente investigación.

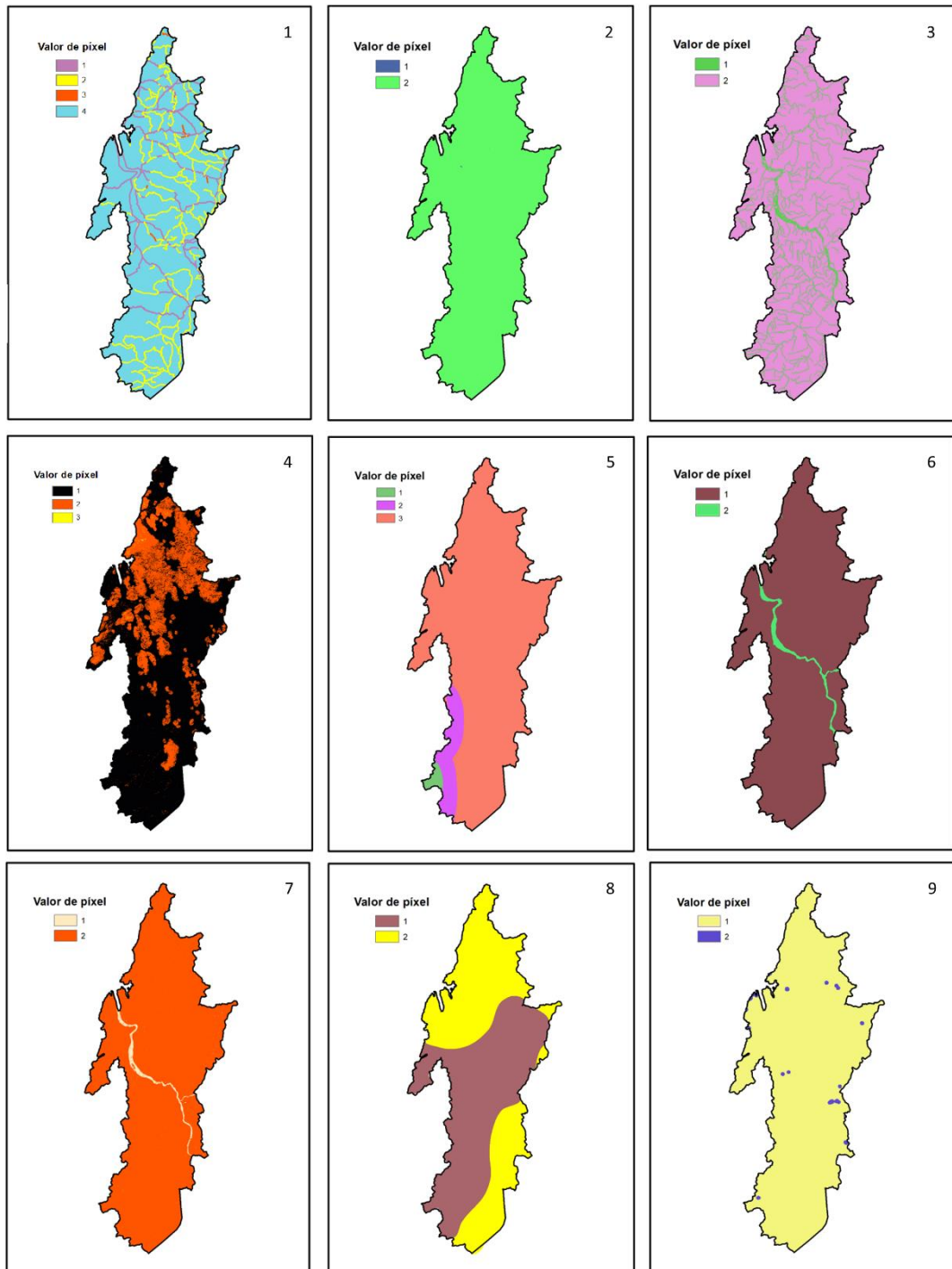
Un punto para mencionar es que algunos criterios no se incluyeron en el modelo debido a que o no fue posible recopilar la capa de información, como es el caso de la amenaza de remoción en masa para el criterio de 'Seguridad ante amenaza natural', o faltó información respecto de la prestancia de las diferentes alternativas del criterio, como lo fue para el caso de la 'Cobertura de comunicación y disponibilidad de energía eléctrica'. Es necesario indagar más respecto de este criterio con el objetivo de definir la economía de las distintas alternativas, es decir, qué alternativas son óptimas respecto de otras -comunicación digital versus satelital, por ejemplo-, o si finalmente depende de cada caso.

Para el caso de la 'Presencia de observadores' faltó definir espacialidad, es decir, qué distancia se considera óptima desde un centro poblado, por ejemplo.

Otra acotación es que en el modelo se puede observar que para los criterios más importantes se restringieron las áreas 'no óptimas' de localización de estaciones. Este es el caso para el criterio 'Cobertura o área de influencia de la red meteorológica

actual' en el que se restringieron las áreas con densidad de monitoreo por encima de los valores recomendados por la OMM con el objetivo de priorizar las zonas deficitarias. Lo mismo ocurrió con las áreas con alta amenaza de incendios y alta amenaza de inundación para el criterio de 'Seguridad ante amenaza natural' o para las áreas lejanas a las vías para el criterio 'Accesibilidad todo el año'. Por otro lado, ciertos criterios como los terrenos fiscales o la topografía, dieron como resultado zonas óptimas reducidas en área (Figura 38). Por lo mismo, en el caso de la topografía -un criterio importante según la ponderación de los actores- no se restringieron sus áreas 'no óptimas'. Se recomienda trabajar este criterio a escalas más pequeñas. En el caso del terreno fiscal, tampoco se restringió el territorio fuera de propiedad fiscal. Sin embargo, este criterio fue definido como nada importante.

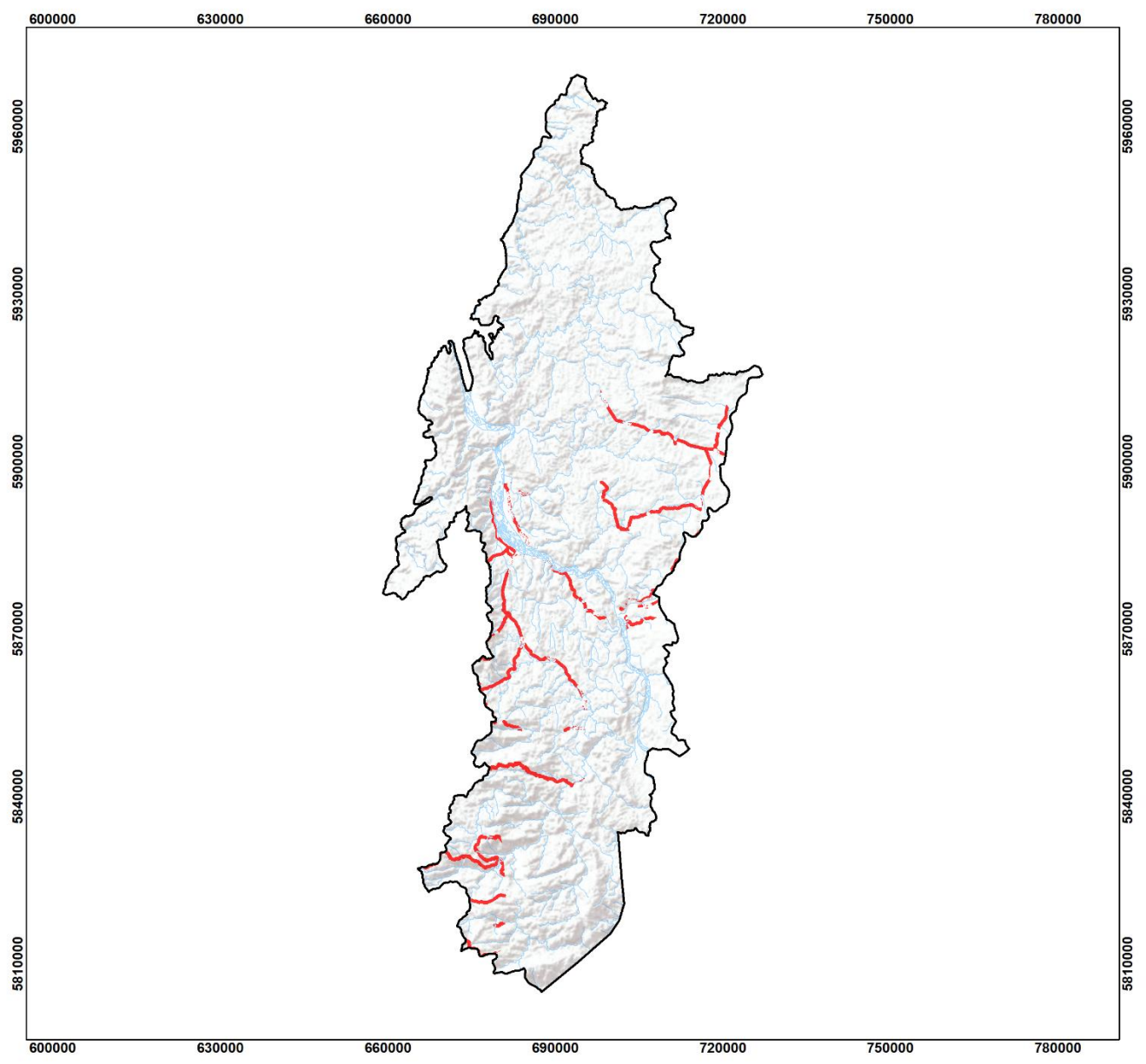
Figura 38. Criterios y sus ráster reclasificados





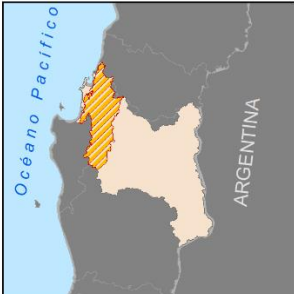
1. Accesibilidad todo el año 2. Terreno fiscal 3. Distancia a ríos 4. Amenaza de incendio 5. Cobertura espacio temporal de variables o fenómenos meteorológicos a monitorear 6. Amenaza de inundación 7. Topografía 8. Cobertura o influencia de la red de monitoreo actual 9. Distancia a masas lacustres

Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Propuesta de localización de estaciones meteorológicas




Localización óptima para una estación meteorológica en la Cordillera de la costa


<p>Simbología</p> <p>■ Localización óptima para una estación meteorológica</p>	<p>Datos cartográficos</p> <p>Datum: WGS84 Huso: 18 Sur Escala: 1:513.843 Fuente: Elaboración propia</p>	<p>Universidad de Concepción Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía Departamento de Geografía</p>	
<p style="text-align: center;">N</p> <p style="text-align: center;">0 4 8 16 24 Km.</p>		<p>Memoria de título "Análisis espacial de la red meteorológica nacional: Un caso de estudio en el centro-sur de Chile."</p> <p>Autor: Juan Pablo Mardones Profesor guía: Dr. Octavio Rojas Agosto, 2023.</p>	

Fuente: Elaboración propia

7.2. Análisis

Respecto de las entidades gestoras de la red y sus estaciones:

La DGA, con objetivos ligados a la gestión hídrica, posee la mayor cantidad de estaciones de tipo Pluviométrica (PM), Climatológica ordinaria (CO) y Pluviográfica (PG), además del monitoreo Termográfico. Las estaciones CO involucran el monitoreo de variables fundamentales para la hidrometría, a saber: Pluviosidad, Temperatura, Humedad, Evaporación, Intensidad y duración de la insolación y en ocasiones viento (IDEAM, 2019). Es la red más numerosa y la que se distribuye de forma más equitativa en el territorio, aportando con el 92% del monitoreo meteorológico en la Precordillera y la Cordillera de los Andes. A diferencia de las demás redes, esta red no se remite a un territorio en específico si no que, de acuerdo con los resultados, requiere extender el monitoreo a toda la cuenca con una densidad de estaciones que permita el monitoreo de variables espacialmente dinámicas.

Por otra parte, la DMC, con objetivos ligados a la navegación aérea y el servicio meteorológico civil, posee la mayor cantidad de estaciones de tipo Climatológica Principal (CP) y Sinóptica principal (SP). Las primeras se utilizan para representar los diferentes tipos climáticos de un país y detectar cambios en ellos en el largo plazo, además de servir de referencia para las estaciones de menor jerarquía. Las segundas son fundamentales para la previsión meteorológica a corto y mediano plazo. Esta red concentra gran parte de sus estaciones en la Depresión intermedia distribuyendo el resto entre la Planicie litoral y la Cordillera de los Andes. Los fenómenos monitoreados por este tipo de estaciones requieren de densidades de monitoreo menores a la de la red hidrométrica. Con todo, no se debe desconocer que la DMC posee estaciones que brindan servicios a cada una de las demás redes aquí estudiadas.

En el caso del INIA, la FDF y Meteovid, estas presentan objetivos ligados al mundo agrícola, concentrando las estaciones de tipo Agrometeorológica (AM) y Climatológica con fines agrícolas (Cfa). Estas estaciones procuran obtener datos necesarios para el desarrollo agropecuario (Fenológicos). FDF y Meteovid concentran el 100% de sus estaciones en la Depresión intermedia mientras que el INIA concentra más de la mitad de sus estaciones en dicha unidad, distribuyendo el resto a barlovento de la Cordillera de la costa y en la Cordillera de los Andes. La diferencia entre el INIA y las otras dos entidades es que, como entidad de servicio público, el INIA necesita contar con información agrometeorológica en todo el territorio nacional. Con todo, es notoria la tendencia de estas redes a concentrar sus estaciones en una macrounidad geomorfológica de aptitud tradicionalmente agrícola como la Depresión intermedia.

Por último, Directemar, con objetivos ligados a la navegación marítima, posee una estación sinóptica ordinaria ubicada en la costa. Esta estación forma parte de una red de monitoreo meteorológico que incluye buques voluntarios de monitoreo meteorológico y boyas meteorológicas, entre otras estaciones, vehículos y tecnologías de monitoreo meteorológico.

Mapa de densidad de la red

Antes que todo, se debe señalar que todas las estaciones aquí trabajadas miden a lo menos precipitación, siendo el parámetro meteorológico con mayor variabilidad espacial según Collado & Toledo (1997). Por esta razón, metodologías como la de la DGA (1977), utilizan a la red pluviométrica como base en la estructuración de una red de estaciones meteorológicas, debiendo de ser la red más densa dentro del monitoreo de los distintos parámetros meteorológicos. Así las cosas, para el siguiente análisis

se utilizaron los valores de densidad de monitoreo mínimos para la precipitación recomendados por la OMM.

En la Tabla 14 se observan los valores mínimos de densidad de monitoreo para la variable precipitación recomendados por OMM expresados en número de estaciones por kilómetro cuadrado (Km²). Luego, el mapa de densidad de la red resultante del objetivo 1 fue expresado según estos valores de densidad mínima recomendados, obteniéndose lo observado en la figura 39.

Al analizar este mapa, se tiene que las macro unidades geomorfológicas que presentan mayor deficiencia en el monitoreo meteorológico son, en primer lugar, la Cordillera de los Andes con un 97% de su territorio por debajo de los valores mínimos de densidad de monitoreo recomendados. Le sigue la Precordillera con un 70% de su territorio bajo este valor y la Cordillera de la costa con un 51% de su territorio bajo este valor (ver Tabla 15).

Por otra parte, gran parte de la extensión de la Planicie litoral y la Depresión intermedia se encuentran por encima de estos valores. La primera, posee solo un 11% de su territorio por debajo de este valor mientras que la segunda posee solo un 1,7% de su territorio por debajo del mínimo recomendado (ver Tabla 18)⁵

Respecto de la localización de estas densidades, en el caso de la Precordillera los valores por debajo del mínimo recomendado se concentran en los límites norte y sur de la unidad. Dentro de esta área se encuentran parte de las comunas de Quilleco, Mulchén y Collipulli (ver Figura 40).

En el caso de la Cordillera de la costa se tiene que, en su mitad norte, estos valores se concentran en la vertiente oriental de la unidad. Por otro lado, en su mitad sur, estos valores se concentran en la vertiente occidental y parte de la oriental. Dentro de

esta área se encuentran las comunas de Santa Juana, San Rosendo y parte de las comunas de Nacimiento, Angol, Arauco, Lota, Yumbel, Hualqui y Florida (ver Figura 40). Para la Planicie litoral estos valores se encuentran en el extremo sur de la unidad, encontrándose dentro de esta área la comuna de Lota y parte de la de Arauco (ver Figura 40).

Tabla 14. Valores mínimos de densidad de monitoreo (pp.) recomendados por OMM expresados en número de estaciones por KM2

Unidad fisiográfica	Km ² por estación según OMM	N° de estaciones por Km ²
Costa	900	0,0011
Montes	575	0,0017
Planicie interior	575	0,0017
Montañas	250	0,004

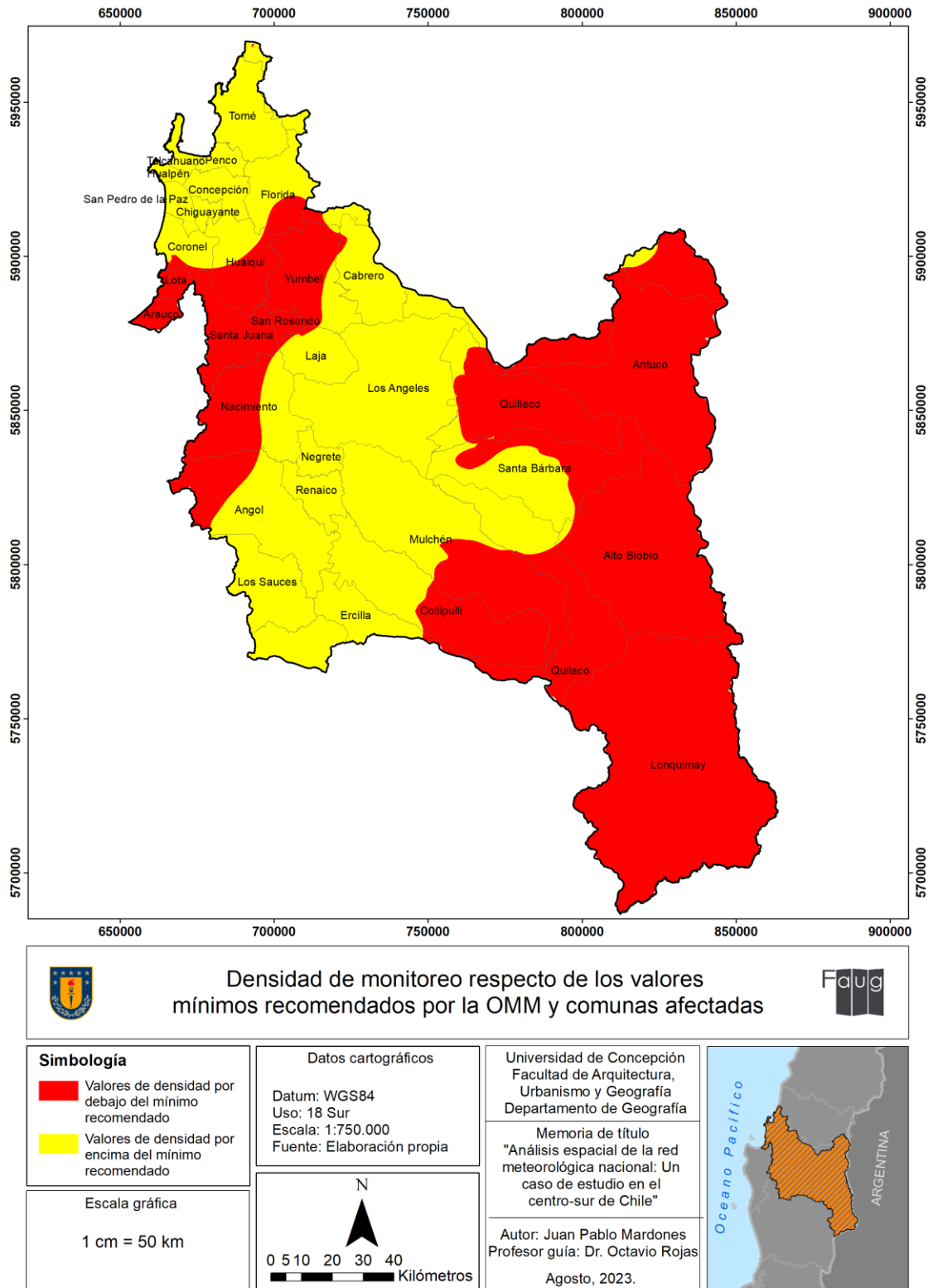
Fuente: Elaboración propia en base OMM, 2011a

Tabla 15. Área por debajo de los valores mínimos de densidad de monitoreo (pp.) recomendados por la OMM para las macrounidades geomorfológicas estudiadas

Macrounidad geomorfológica	Área de la macrounidad (km ²)	Área por debajo del valor mínimo recomendado (km ²)	% de área por debajo del valor mínimo recomendado
Planicie litoral	406	46,2	11%
Cordillera de la costa	5301	2688,2	51%
Depresión intermedia	6849	120	1,7%
Precordillera	3275	2291	70%
Cordillera de los Andes	10365	10057,2	97%

Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Densidad de monitoreo respecto de los valores mínimos recomendados por la OMM y comunas afectadas

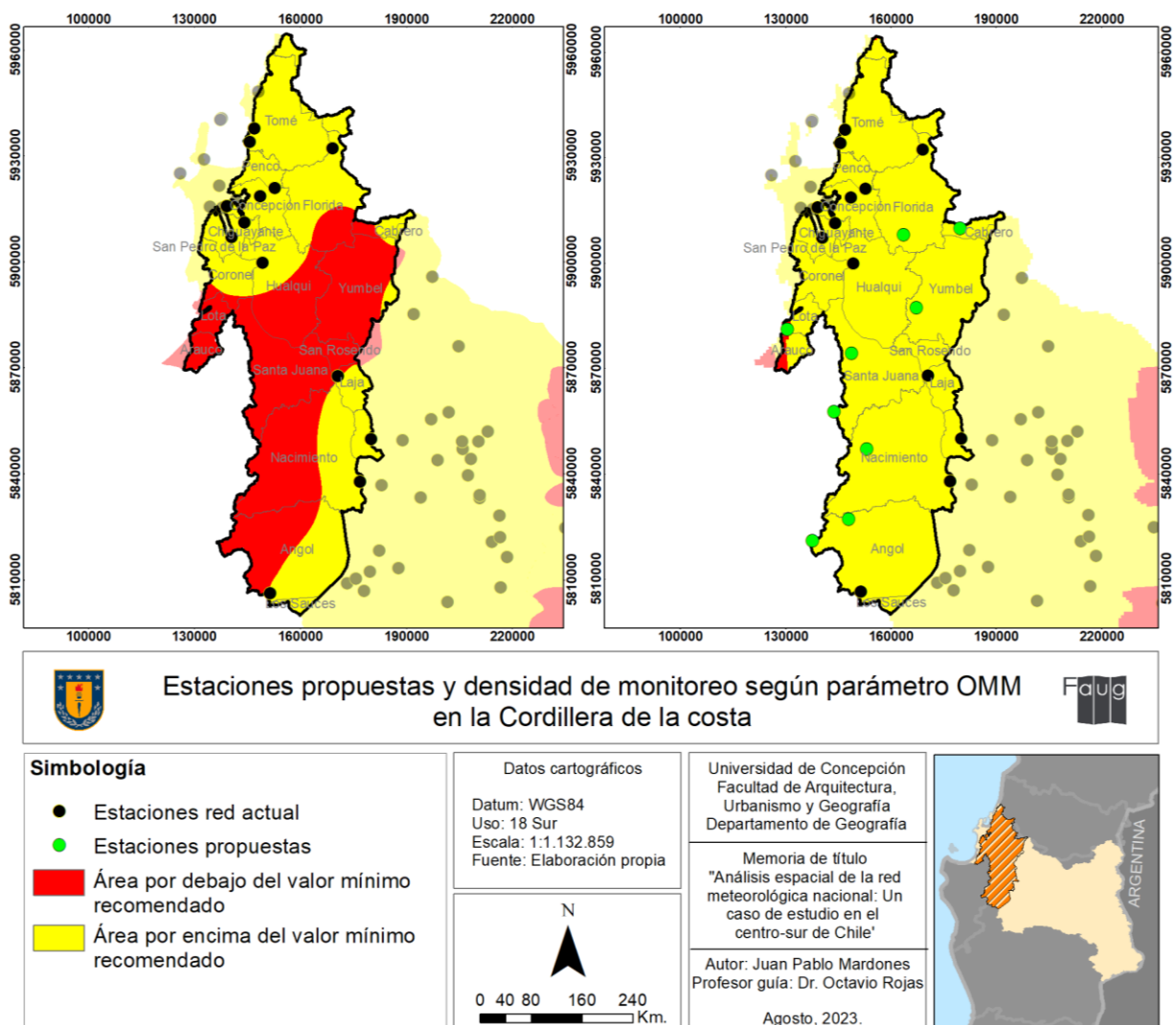


Fuente: Elaboración propia

Propuesta de estaciones

Se realizó el ejercicio de localizar estaciones en las áreas óptimas de localización de estaciones -resultantes del objetivo 3-. Se distribuyeron una a una las estaciones y se fue estimando la densidad de monitoreo resultante para cada nueva distribución. Finalmente, se determinó que son necesarias 9 estaciones nuevas para cumplir con el valor de densidad de monitoreo mínimo recomendado por la OMM en la Cordillera de la Costa (ver Figura 41).

Figura 41. Estaciones propuestas y densidad de monitoreo en la cordillera de la costa



Fuente: Elaboración propia

Encuesta a actores relevantes

Para el análisis de los resultados de la encuesta a los actores relevantes se definieron dos categorías. Los 'actores críticos', es decir, los actores que ponderaron de 'Regular' a 'Muy mala' la calidad del servicio meteorológico y los 'actores positivos', es decir, los actores que ponderaron de 'Buena' a 'Muy buena' la calidad del servicio meteorológico.

Los 'actores críticos' representaron el 40% de los actores encuestados.

Los sectores con mayor proporción de 'actores críticos' fueron 'Agricultura/Regantes' y 'Turismo & Otros servicios' con el 75% de sus actores respectivamente, 'Educación/Investigación' con el 73% de sus actores y 'Energía/Minería' con el 67% de sus actores. En total, cuatro (4) de los seis (6) sectores económicos definidos para esta investigación. En esa misma línea, las categorías de uso de la información con mayor proporción de 'actores críticos' fueron 'Investigación & Docencia' con el 69% de sus actores y 'Ordenamiento territorial & Planificación de recursos hídricos' con el 60% de sus actores.

Respecto de los 'actores positivos', estos representaron el 60% de los actores encuestados.

Los sectores económicos con mayor proporción de 'actores positivos' fueron los sectores 'Pesquero/Naviero/Aeronáutico' con el 100% de sus actores e 'Instituciones del sector público/Fuerzas Armadas' con el 82% de sus actores. En esa misma línea, las categorías de uso de la información con mayor proporción de 'actores positivos' fueron 'Navegación marítima y/o aérea & Servicio meteorológico civil' con el 85% de sus actores, 'Monitoreo de desastres naturales & Labores de emergencia y rescate' con el 83% de sus actores respectivamente y 'Gestión sanitaria y/o ambiental' con el

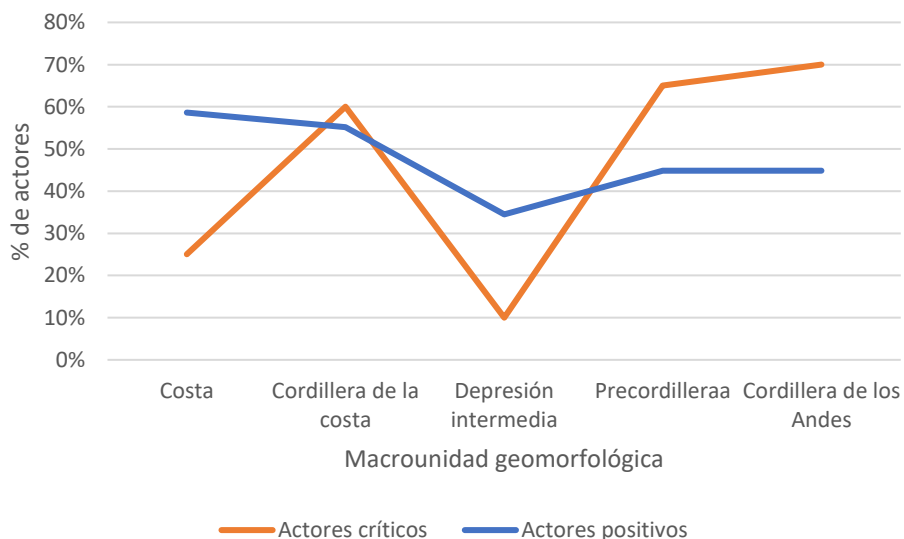
75% de sus actores. En total, tres (3) de las nueve (9) categorías de uso de la información definidas para esta investigación.

Al comparar las preferencias de ambos grupos, es decir, de los ‘actores críticos’ versus los ‘actores positivos’, se tuvo lo siguiente.

Zona para mejorar

Respecto de la zona para mejorar se observó que los actores críticos se inclinaron fuertemente por las unidades geomorfológicas de relieve complejo, es decir, la Cordillera de la Costa, la Precordillera y la Cordillera de los Andes. Por su parte, los actores positivos se inclinaron por la Planicie litoral y en menor medida por la Cordillera de la Costa, observándose en ellos una curva general menos marcada que la de los actores críticos (ver Figura 42).

Figura 42. Actores críticos versus actores positivos: ¿En qué área(s) geográfica(s) cree usted que es necesario aumentar el monitoreo meteorológico?



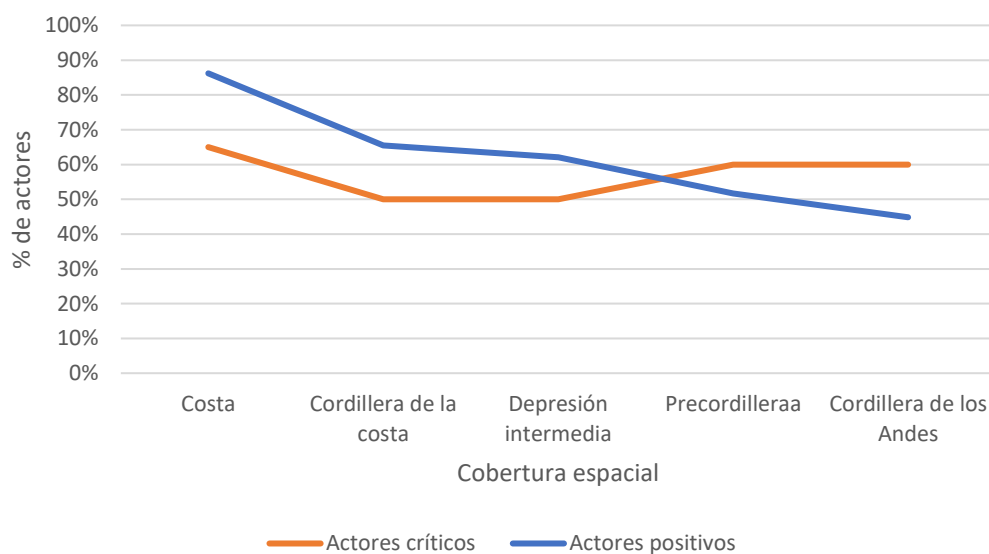
Fuente: Elaboración propia

Atributos de la información meteorológica

Comparativamente hablando y respecto de la cobertura espacial se tuvo que los 'actores críticos' le dieron una mayor importancia a la información en los sectores Precordillera y Cordillera de los Andes versus los actores positivos quienes aumentaron su demanda en la Planicie litoral y Cordillera de la costa (ver Figura 42)

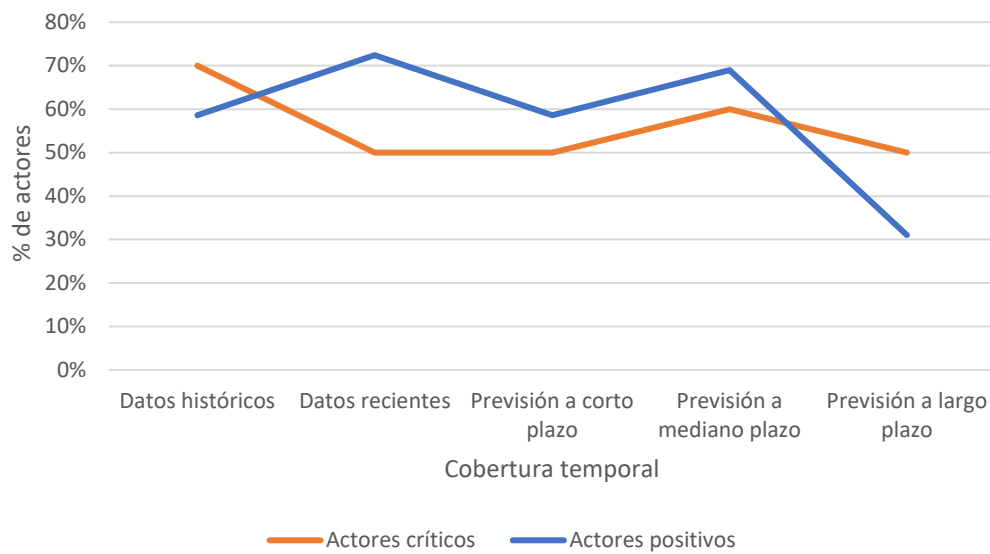
Respecto de la cobertura temporal se tuvo que los 'actores críticos' tendieron a demandar más datos históricos y de previsión a largo plazo que los actores positivos. Estos últimos dan una mayor importancia a los datos cercanos al presente (ver Figura 43).

Figura 43. Actores críticos versus actores positivos: ¿En qué área(s) geográfica(s) le interesa a su institución/actividad/empresa contar con información meteorológica de calidad?



Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Actores críticos versus actores positivos: Seleccione el tipo de información meteorológica que más se adecúa a las necesidades de su organización/empresa/actividad



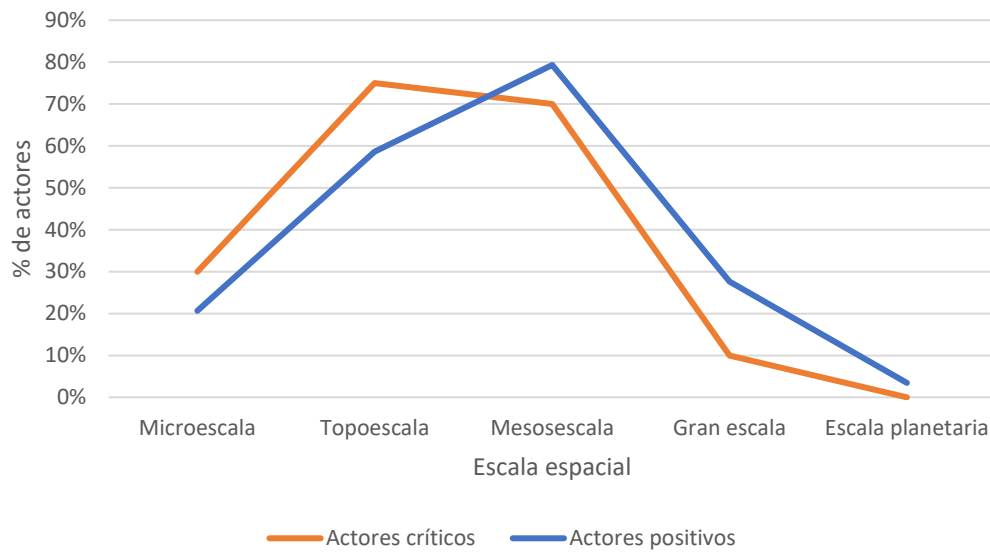
Fuente: Elaboración propia

Respecto de la escala espacial se tuvo que las curvas son similares en ambos grupos.

Sin embargo, se observa que la curva de los actores críticos tiene dos puntos de mayor demanda, uno en la resolución de Topoescala (100 m – 3 Km), y otro en la de Mesoescala (3 Km – 1000 Km), mientras que la de los actores positivos tiene su pick en la Mesoescala (3 Km – 1000 Km) (ver Figura 45)

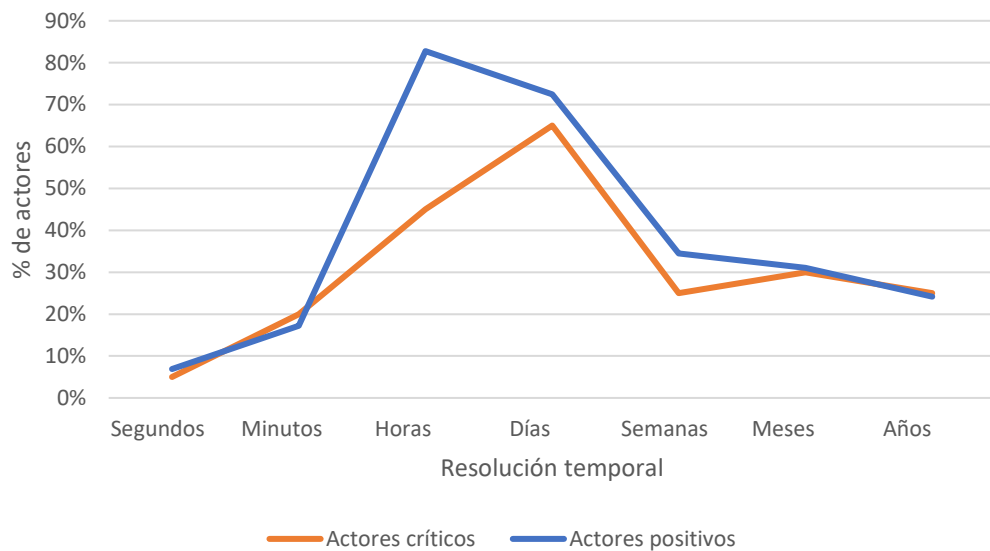
Algo similar sucede con la resolución temporal. Ambas curvas son similares, sin embargo, se observa que la curva de los ‘actores críticos’ tiene su mayor aumento en la resolución temporal de Días mientras que la de los ‘actores positivos’ tiene sus picks en las resoluciones de Horas y Días (ver Figura 46).

Figura 45. Actores críticos versus actores positivos: Seleccione la escala espacial que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad



Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Actores críticos versus actores positivos: Seleccione la resolución temporal que más se adecúa a las necesidades de información meteorológica de su organización/empresa/actividad



Fuente: Elaboración propia

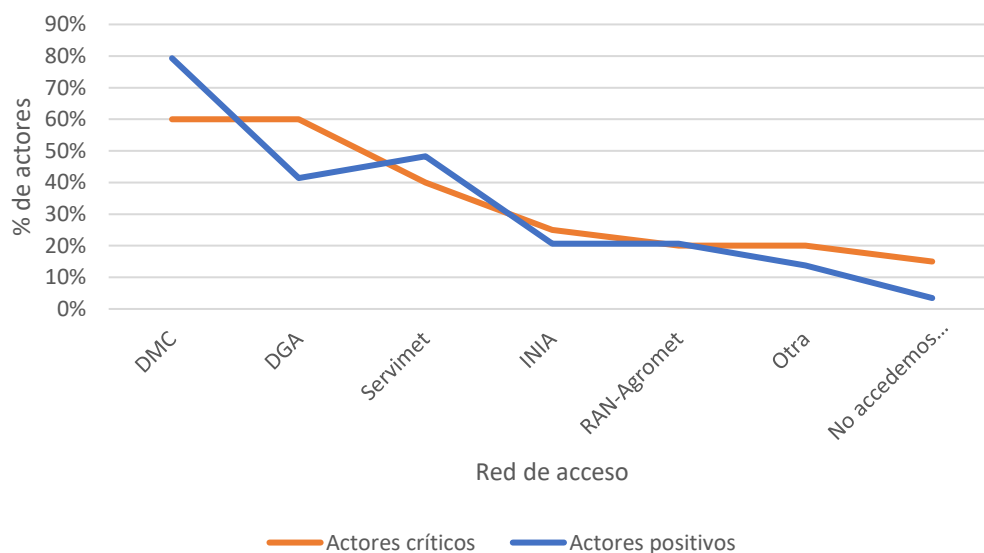
Respecto del acceso a la red de datos meteorológicos, se observa que las principales diferencias se manifiestan en las redes de la DMC y la DGA. Los ‘actores críticos’

demandan más datos desde la red de la DGA (un 60% versus un 40% de los positivos), mientras que los actores positivos demandan más datos de la red de la DMC (un 80% versus un 60% de los críticos), (ver Figura 47).

En relación con los medios de acceso a la información se observa que los “actores positivos utilizan más alternativas que los ‘actores críticos’ ya que, además de preferir los medios digitales y escritos -los cuales comparten con los ‘actores críticos’-, prefieren los medios de navegación y de radio (ver Figura 48).

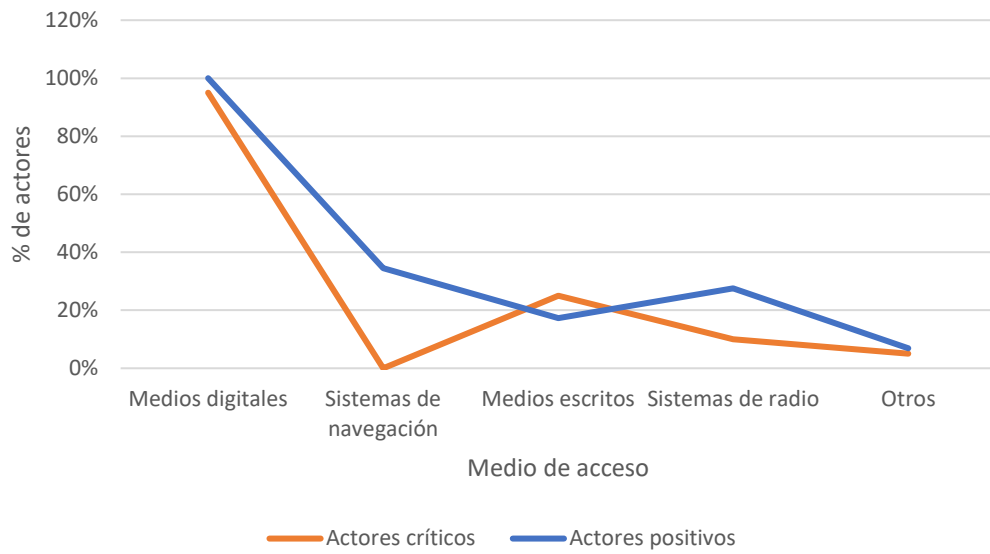
Respecto de la calidad del acceso se tiene que los actores críticos la ponderan de regular a buena mientras que los actores positivos la ponderan de buena a muy buena (ver Figura 49).

Figura 47. Actores críticos versus actores positivos: ¿Su organización/empresa/actividad utiliza de forma directa alguna de las siguientes redes o servicios a la hora de solicitar información meteorológica?



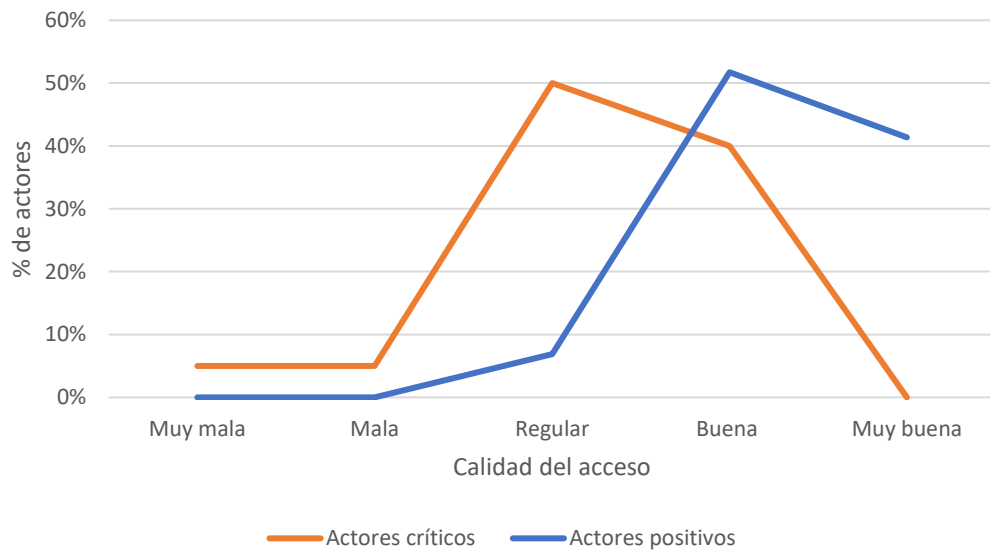
Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Actores críticos versus actores positivos: ¿A través de cuál(es) de los siguientes medios su empresa/actividad/organización accede a la red de datos meteorológicos para su área de interés?



Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Actores críticos versus actores positivos: ¿Cómo evalúa la calidad de acceso a la red de datos meteorológicos?

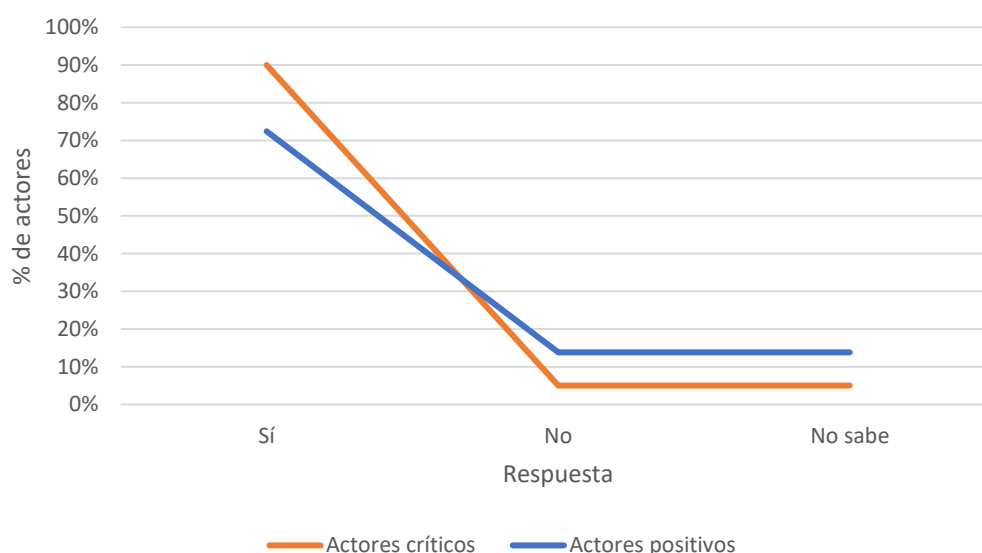


Fuente: Elaboración propia

Problemática

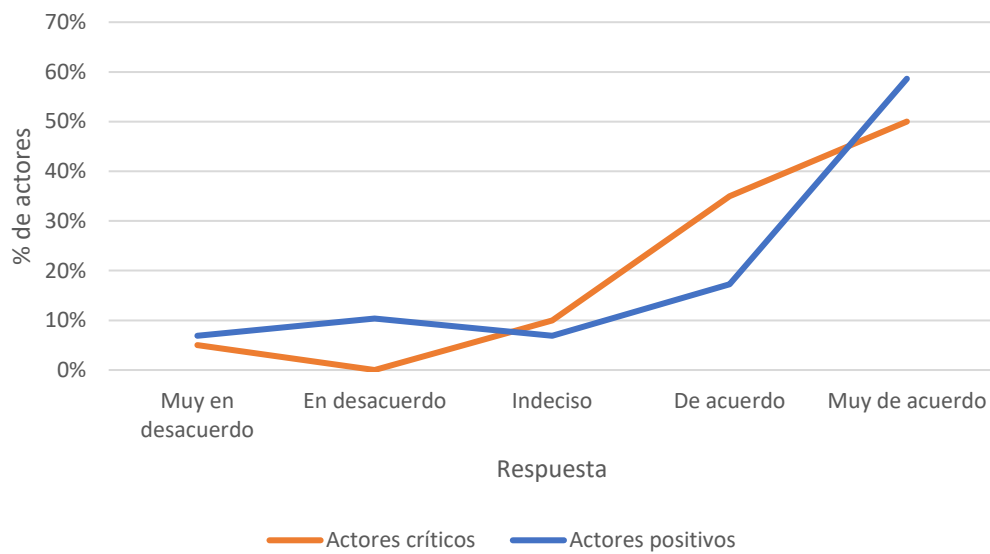
Aunque los 'actores positivos' en menor medida que los 'actores críticos', en general, ambos grupos creen en que integrar las redes de monitoreo podría significar una solución al problema de la dispersión institucional y la falta de coordinación en torno a la obtención de información meteorológica. De igual forma ambos grupos creen que esta alternativa podría optimizar los recursos económicos y mejorar la distribución de las estaciones en el territorio (ver Figuras 50 y 51). Sin embargo, a la hora de evaluar la factibilidad del asunto se observan mayores dudas sobre todo de parte de los 'actores críticos'. En la Figura 52 se observa que los 'actores críticos' se concentran entre las opciones 'Indeciso' y 'Factible' mientras que los 'actores positivos' se concentran entre las opciones 'Indeciso', 'Factible' y 'Muy factible'.

Figura 50. Actores críticos versus actores positivos: ¿Considera como una solución integrar las redes estudiadas bajo una misma entidad como por ejemplo un Servicio Hidrológico y Meteorológico Nacional?



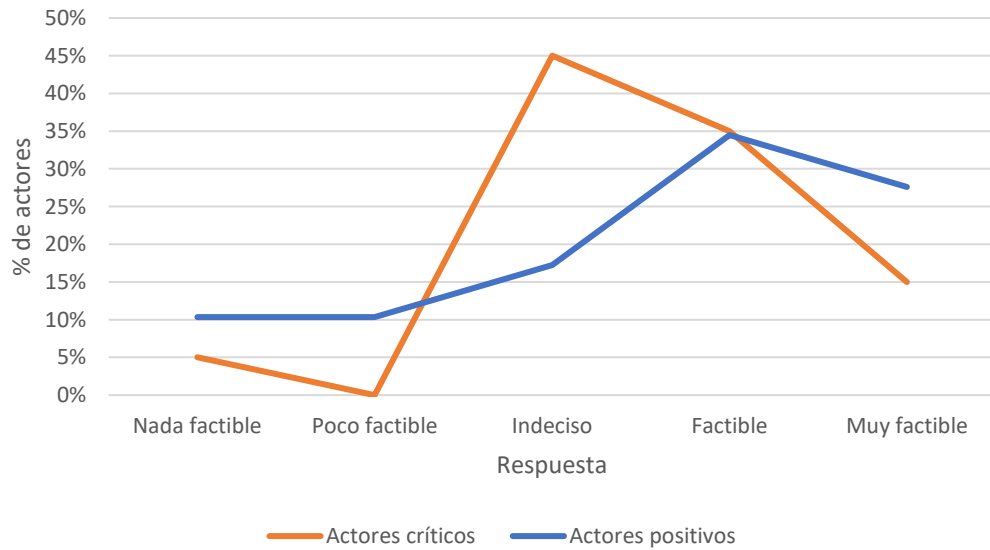
Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Actores críticos versus actores positivos: ¿Qué tan de acuerdo está con que la medida puede optimizar recursos y mejorar la distribución de la red en el territorio?



Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Actores críticos versus actores positivos: ¿Qué tan factible de realizar considera la medida anterior?



Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Respecto de la red de estaciones terrestres y de acuerdo con lo evidenciado en la región en estudio, la centralización de la gestión de los recursos hídricos en Chile sí estaría relacionada con una red de monitoreo meteorológico poco eficiente. Esta relación tiene que ver con un problema de coordinación entre las entidades gestoras de la red al evidenciarse un déficit de monitoreo en la Cordillera de la costa, la Precordillera y la Cordillera de los Andes.

Esto se debe, probablemente, a que a lo largo del tiempo estas áreas no significaron mayor interés para gran parte de las instituciones gestoras de la red, que han estructurado sus redes en función de sus objetivos particulares, lo que se evidencia en las respuestas del instrumento de encuesta aplicado.

Al no haber coordinación entre las entidades a cargo del monitoreo, estas diferencias relativas a la forma de monitorear las diferentes variables y fenómenos meteorológicos y, por ende, de plantear la red en el territorio, han provocado déficits de monitoreo afectando áreas fundamentales para el monitoreo hidrometeorológico o meteorológico con fines hidrológicos. Esto tiene su correlato en los actores que evaluaron de peor forma la calidad del servicio al identificar en ellos una tendencia a demandar datos meteorológicos de este tipo. Lo anterior se condice con las limitaciones e insuficiencias relativas a la obtención, gestión y generación de conocimiento hídrico identificadas por Banco Mundial (2013).

Al analizar las redes de forma individual -por institución gestora-, se observó que estas se encuentran estructuralmente bien organizadas, es decir, el tipo de estaciones por institución y su distribución en el territorio (jerarquía, cantidad y ubicación), se condice con los objetivos de cada entidad gestora. Sin embargo, al analizar la red en general

-como un todo- se pudo constatar que su distribución no responde a lo recomendado por la OMM (2011a). Esta entidad recomienda doblar el monitoreo en zonas de relieve complejo como lo son la Cordillera de la Costa, la Precordillera y la Cordillera de los Andes, cuestión contraria a lo que se observó en el área de estudio, en donde se evidenció una concentración de estaciones en la Planicie litoral y la Depresión intermedia -macrounidades que concentran los centros urbanos-, contrastada con una desconcentración de estaciones en las unidades de relieve complejo. Todo lo anterior se condice con lo señalado por Domínguez, Niño & Verdugo (2006), respecto de una sectorialización en la concepción de las redes (militar, aeronáutico, agroindustrial, energético, etc.), en la mayoría de los países, resultando redes aisladas, las cuales, en un posterior esfuerzo de optimización se han intentado fusionar, presentando defectos de traslape y discontinuidades espaciotemporales de muestreo.

En este sentido, una Gestión Integral de los Recursos Hídricos podría significar un norte común que implique una necesaria coordinación entre las entidades gestoras bajo los principios de integridad, descentralización y eficiencia en la gestión del recurso (GWP, 2013). El Global Water Partnership reconoce como necesario incluir todos los instrumentos, procedimientos o medios que contribuyen a la generación de datos e información sobre el agua y sus variables del ciclo hidrológico, el monitoreo, la evaluación de la calidad del agua, entre otros, con el objetivo de avanzar hacia la GIRH. Esto coincide con lo recomendado por la OMM (2019), relativo a las redes de observación nacionales, recomendando desarrollar un sistema único de estaciones y sistemas de observación a sus países miembros. De igual manera, la generalidad de los actores se mostró de acuerdo con que una integración de las redes -como por

ejemplo en un SHMN- podría solucionar el problema de la descoordinación institucional y sus consecuencias para el monitoreo.

Por otra parte, es importante señalar la importancia de mantener un monitoreo al menos mínimo de las variables importantes para la gestión hídrica en todo el territorio nacional. De acuerdo con el MMA (2014), el área en estudio se encuentra dentro de la zona considerada como territorio particularmente expuesto a los impactos del cambio climático. A esto se deben sumar las proyecciones de desarrollo del país relativas al aumento de la demanda por el recurso (Banco mundial, 2013); más la disminución de la calidad de las fuentes de abastecimiento, el incremento en la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos de forma más frecuente (Borregaard et al. 2012).

En particular, los problemas ambientales en la Cordillera de la costa se asocian a incendios forestales, eventos de remoción en masa, erosión y degradación del suelo, inundaciones (Arriagada et al., 2019; Rojas et al. 2019; Jaque, 1996), eventos de sequía que afectan los ciclos productivos propios de la zona (Revillod, 2018), y problemas de conservación de especies (Moraga et al., 2022). Así la instalación de al menos 9 estaciones mediante criterios espaciales proporcionaría mayor información hidrológica para la toma de decisiones y por consiguiente para la gestión integrada de los recursos hídricos.

Finalmente, se debe trabajar en reducir la incertidumbre asociada a las necesidades de información (OMM, 2011a), lo que, finalmente, pone de manifiesto la necesidad e importancia de contar con datos de forma homogénea en todo el territorio considerando los requerimientos locales. Ello dependerá de las condiciones y

necesidades socioeconómicas y ambientales, los modelos y tecnologías utilizados y el objetivo de la red (OMM, 1992, citado en OMM, 2011a).

CONCLUSIONES

Los resultados del diagnóstico espacial de la red evidencian una disparidad territorial en la distribución de las estaciones, concentrándose estas en torno a las ciudades de Concepción, Los Ángeles y Angol. Por otro lado, en la Cordillera de la Costa, la precordillera y la Cordillera de los Andes se observó una desconcentración de estaciones. Al analizar esta distribución bajo los parámetros recomendados por la OMM, coincidentemente la mayor parte de estas macrounidades (Cordillera de la costa, Precordillera y Cordillera de los Andes), se encontraron por debajo de los valores de densidad de monitoreo mínimos recomendados. De la misma forma, las macrounidades en las que se observó una mayor concentración de estaciones - relacionada a las ciudades antes mencionadas-, es decir, la planicie litoral y la depresión intermedia, se encontraron por encima de los valores mínimos recomendados. Ahora bien, es importante acotar que estos valores mínimos recomendados son los básicos para una gestión hídrica sin errores graves. Por lo tanto, no es necesariamente lo óptimo y se requiere avanzar hacia la construcción de una red adecuada a los requerimientos locales.

También, se evidenció que la DGA es la institución con mayor cantidad de estaciones -51 de 82- muy por encima de las demás instituciones gestoras de la red. Sin embargo, la diversidad de catastros recopilados y el solapamiento institucional en la propiedad de las estaciones identificada en las bases de datos digitales es una cuestión para considerar y se recomienda mejorar.

Ahora bien, respecto de la distribución y clasificación de las estaciones por institución gestora se observaron ciertas tendencias naturales relacionadas a los objetivos particulares de cada entidad. Es decir, hay una cierta coherencia entre la cantidad,

tipo y distribución de las estaciones y los objetivos de cada institución gestora. Sin embargo, como se expuso en la discusión, hay una diferencia entre analizar las redes individualmente y analizar la red como un todo, observándose una red general dispar en su distribución.

Otro punto es que la clasificación de las estaciones se ciñó a lo dispuesto por IDEAM (2019), y OMM (2015). Sin embargo, se encontraron clasificaciones de otros autores que difirieron de la aquí utilizada, por lo cual la cuestión de la clasificación podría definirse como un tema flexible y de fines netamente operacionales. Con todo, la clasificación realizada según los autores señalados pareció tener sentido respecto de los objetivos particulares de los gestores y sirvió para tener un diagnóstico más claro de la red.

Por su parte, los resultados respecto de la caracterización de la percepción de los actores en torno a la red arrojaron que hay una necesidad general de mejorar el monitoreo meteorológico en la Cordillera de la Costa, la precordillera y la Cordillera de los Andes. Particularmente, los actores que evaluaron de peor forma la calidad de la red fueron los más enfáticos en señalar lo anterior. Estos actores se caracterizaron por una tendencia a requerir datos relativos a la gestión hídrica -relacionados a la agricultura, el riego, la energía y la minería-. Por otra parte, los actores que evaluaron positivamente la red y que tendieron a requerir más datos relativos al estado del tiempo, dieron prioridad a la planicie litoral y la Cordillera de la Costa.

Por otra parte, es de común acuerdo entre los actores que integrar las redes en una sola entidad -como por ejemplo un SHMN- podría significar una solución al problema de la descoordinación y dispersión institucional del monitoreo y sus consecuencias.

Sin embargo, si este fuese el camino, se recomienda ahondar en estudios sobre la factibilidad del asunto, cuestión donde se presentaron las mayores dudas.

Los resultados de la propuesta de criterios de localización óptima de estaciones arrojaron que los criterios más importantes para los actores fueron la accesibilidad, la seguridad ante amenazas naturales, la cobertura de comunicación y disponibilidad de energía eléctrica y la cobertura o área de influencia de la red meteorológica actual, seguidos de la topografía, el comportamiento espacio temporal de las variables o fenómenos meteorológicos a monitorear y la retroalimentación de usuarios o demanda de información por territorios. Luego, en las zonas óptimas de localización de estaciones definidas por estos criterios para la Cordillera de la Costa, se propusieron 9 estaciones, cumpliendo así con el valor de densidad mínimo recomendado por la OMM para la macrounidad.

El modelo propuesto es una aproximación para la definición de zonas óptimas para la localización de estaciones. Hubo variables que no fueron integradas por conflictos relativos a la base de datos disponible o la espacialización de la variable misma. Estos problemas pueden ser resueltos para otras propuestas, así como la mejora en la resolución espacial de algunos criterios.

El diagnóstico espacial de la red y la retroalimentación de los actores coinciden en que se debe mejorar el monitoreo meteorológico en las unidades de relieve complejo, es decir, en la Cordillera de la Costa, precordillera y Cordillera de los Andes. Estas áreas han sido históricamente descuidadas debido a su lejanía de los grandes centros urbanos y/o desconcentración de actividades industriales. La contingencia actual y las proyecciones indican una urgencia por mantener una red de datos homogénea que abarque la extensión total de los territorios. La complejidad de los fenómenos

socioambientales que hoy acontecen y que se proyectan no permiten considerar áreas menos importantes que otras en el monitoreo de datos, más aún cuando se trata de sectores donde se localizan las cabeceras de las cuencas. Es importante partir por mejorar los sectores más deficitarios, para luego proyectar una red de acuerdo con los parámetros locales requeridos, los recursos dispuestos y apegada a las disposiciones técnicas correspondientes.

BIBLIOGRAFÍA

- ArcGIS (N° de versión 10.8.2). (2020). Windows. Redlands, California, EE. UU.: ESRI
- Arriagada, L., Rojas, O., Arumí, J. L., Munizaga, J., Rojas, C., Farías, L., & Vega, C. (2019). A new method to evaluate the vulnerability of watersheds facing several stressors: a case study in Mediterranean Chile. *Science of The Total Environment*, 651, 1517-1533. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.237>
- Banco Mundial. (2011). Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Chile. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Región para América Latina y el Caribe.
- Banco Mundial. (2013). *Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. Chile.*
- Borregaard, N.; Donoso, F.; Dourojeanni, A.; Herrada, P. & Medina, J. (2012). ¿Cuáles son los desafíos y oportunidades para una gestión más sostenible, justa y transparente del recurso hídrico? ANDESS/CIPMA. <https://www.aguaymedioambiente.cl/wp-content/uploads/2018/11/libro-andes-cipma-alta.pdf>
- Collado, J., Toledo, V. (1997). Localización óptima de estaciones climatológicas y observatorios meteorológicos en la República Mexicana. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XII, Núm. 1, págs. 47-64, enero-abril de 1997.
- Dirección General de Aguas (2012). *Estudio hidrogeológico cuenca Biobío. Tomo I. Informe final y planos*. División de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Santiago de Chile, 2012.
- Dirección General de Aguas (2004a). Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Maule. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Maule.pdf>
- Dirección General de Aguas (2004b). Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Itata. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Itata.pdf>
- Dirección General de Aguas (2004c). Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Biobío. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/BioBio.pdf>
- Dirección General de Aguas (1977). Estudio de Red Meteorológica. Región comprendida entre hoyas ríos Rapel a Biobío. Departamento de Hidrología, DGA, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Dirección General de Aguas (1985a). Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional. Volumen III. Regiones: VIII, IX, X, XI y XII. Tomo I. Departamento de Hidrología, DGA, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Dirección General de Aguas (1985b). Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional. Volumen II. Regiones: V, Metropolitana, VI y VII. Departamento de Hidrología, DGA, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Dirección General de Aguas. (2013). *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 – 2025*. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante. (s.f). Misión y Visión. <https://www.directemar.cl/directemar/organizacion/mision-y-vision>

Dirección de Planeamiento. (2006). Evaluación de la Red Hidrométrica Nacional. Anexo 5. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Domínguez, E., Niño, R., y Verdugo, N. (2006). Aplicación de los criterios de optimización de karasiov a la red hidrológica colombiana. *Avances Recursos Hidráulicos*, 54 (13), 123-137.

Dourojeanni A., Jouravlev A. & Chavez G. (2002). Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. División de Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL. Santiago de Chile.

EULA-Chile. (2016). Criterios espaciales de emplazamiento para una estación meteorológica en una cuenca hidrográfica. Informe N°1. Centro de Ciencias Ambientales EULA Chile, Universidad de Concepción.

Euscátegui, Cristián (2014). Desafíos en la meteorología y apoyo para la medición. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, Colombia.

Gandín, L. S. (1970). The Planning of Meteorological Station Networks. Technical Note No. 111. CCI Rapporteur for Climatological Networks. WMO – No. 265 T. P. 149. Geneva (Switzerland).

Global Water Partnership Centroamérica (2013). Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal. Tegucigalpa, M.D.C, Honduras, Diciembre de 2013.

Infoxicadoblog JGS. (2014). Legislación y Política de Aguas en España (PHN). Recuperado el 01 de mayo de 2021 de <<https://infoxicadoblog.wordpress.com/2014/02/24/legislacion-y-politica-de-aguas-en-espana-phn/>>

Inzunza, Juan (s.f.). Meteorología descriptiva. Capítulo 15: Climas de Chile. Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción. http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap15_Inzunza_Climas%20de%20Chile.pdf

IDEAM (2021). Guía para el emplazamiento de estaciones meteorológicas. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales – IDEAM, Subdirección de Meteorología. Bogotá, noviembre de 2021.

IDEAM (2019). Anexo 2: Definiciones del catálogo nacional de estaciones. Guía metodológica de la operación estadística variables meteorológicas.

IDEAM (2005). “Atlas Climatológico de Colombia”. Bogotá, Imprenta Nacional, 2005, 218 p. IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.) Quiénes somos. <https://web.inia.cl/quienes-somos/>

Jaque, E. (1996). Integrated Analysis of the Natural Systems of the Andalién River Basin: Bases for the Ecological Planning of the Territory of the Basin. Concepción, Chile: Ph.D thesis. Universidad de Concepción

López-Jiménez, V. (2014). Propuesta Metodológica para el Rediseño de una Red Meteorológica en un Sector de la Región Andina Colombiana. *Publicaciones E Investigación*, 8(1), 55 - 76. <https://doi.org/10.22490/25394088.1281>

López-Jiménez, V. (s.f). Rediseño de la red meteorológica en el departamento de Cundinamarca, Colombia. Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle.

Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. (2016). En H. García (Comp.), Manejo y gestión de cuencas hidrográficas 600902 (p. 59). Universidad de Concepción.

Ministerio de Medio Ambiente. (2014). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Departamento de Cambio Climático, Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

Organización Económica para la Cooperación y el Desarrollo (2020). *Gobernanza de los recursos hídricos en Argentina*. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/c0c9e9f1-es/index.html?itemId=/content/component/c0c9e9f1-es>

Moraga D, Vivancos A, Ruiz VH, Rojas O, Díaz G, Manosalva A, Vega P and Habit E (2022) A century of anthropogenic river alterations in a highly diverse river coastal basin: Effects on fish assemblages. *Front. Environ. Sci.* 10:943586. doi: 10.3389/fenvs.2022.943586

Organización Meteorológica Mundial. (2010). *Guía del Sistema Mundial de Observación*. OMM No. 488, Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial. (2011a). *Guía de Prácticas Hidrológicas. De la medición a la información hidrológica*. Vol. I - (6a. Ed.) OMM No. 168, Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial. (2011b). *Guía de Prácticas Hidrológicas. Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas*. Vol. II – (6a. Ed.) OMM No. 168, Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial. (2019). *Normas meteorológicas de carácter general y prácticas recomendadas*. Vol1. Reglamento técnico. Documentos fundamentales N°2. OMM No 49, Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial (2015). Manual del Sistema Mundial de Observaciones. Volumen I – Aspectos mundiales. Anexo V del Reglamento Técnico. OMM-N°544.

Organización Meteorológica Mundial. (2014). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. OMM-N°8.

Organización Meteorológica Mundial. (1996), “Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológica”. - N° 8. Sexta edición. Ginebra – Suiza, 1996.

Organización Meteorológica Mundial. (1985). Comisión de instrumentos y métodos de observación, novena reunión.

Organización Meteorológica Mundial. (1970). “The planning of Meteorological Station Networks. Technical Note No. 111 by Gandín, L. S. WMO – No. 265 T. P. 149”. Geneva (Switzerland).

Organización Meteorológica Mundial. (1967). “Design of Optimum Networks for Aerological Observing Stations. World Weather Watch, planning report No. 21 by Gandín, L. S. and Alaka, M. A”, Geneva (Switzerland).

OMM/UNESCO (1998). Evaluación de los Recursos Hídricos. Manual para la estimación de las capacidades nacionales.

Ortiz, N., Morales, M., Bernal, N.R., Rodríguez, N., Baptiste, M.P. y Franco, A.M. (2005). *Línea base de la biodiversidad en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Serie Indicadores de Seguimiento de la Política de Biodiversidad. n.5. (Primera edición). Bogotá D.C. 108 p.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/18688/43740_55495.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Peña, H. (2009) *Taking it one step at a time: Chile's sequential, adaptative approach to achieving the three Es.* En: Integrated Water Resources Management in Practice: Better Water Management for Development. Editado por R. Lenton y M. Muller. Global WaterPartnership. Earthscan, London.

Pérez, D. (2012). Metodología para la gestión del riesgo volcánico. Informe de práctica profesional. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Red Agroclimática Nacional (s.f.). ¿Qué es Agromet? <https://www.agromet.cl/que-es-agromet>

Revillod, M. (2018). Estudio de sequía en las regiones XVI, VIII Y IX mediante observaciones geodésicas en el periodo 2010-2015. Tesis para optar al título de Ingeniero Geomático. Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles.

Rojas, O.; Latorre, T.; Pacheco, F.; Araya, M.; Lopez, J.J. Inundaciones fluviales en cuencas costeras mediterráneas de Chile: Recurrencia, factores físicos y efectos hidrogeomorfológicos de su gestión. In *La Zona Costera en Chile: Adaptación y Planificación para la Resiliencia*; Geo-Libros UC: Macul, Santiago, 2019; pp. 79–103. ISBN 978-956-14-2442-5

Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M. & Meseguer-Ruiz, Ó. (2017) Climatic regionalisation of continental Chile, *Journal of Maps*, 13:2, 66-73, DOI: 10.1080/17445647.2016.1259592

Universidad Tecnológica de Panamá. (2006). *Procedimiento para la Instalación de estaciones Meteorológica*. Panamá.

WMO. (1972). *Casebook on hydrological network design practice*. WMO – No. 324, Ginebra.

WMO (2009). *Manual on Low-flow Estimation and Prediction*. Operational hydrology Report No. 50. WMO-No.1029.

WMO (1994). *An overview of selected techniques for analysing surface-water data networks*. Operational hydrology report No. 41. WMO-No. 806.

WMO/UNESCO (1992) *Report on Water Resources Assessment. Progress in the implementation of the Mar del Plata action plan and a strategy for the 1990s*. WMO/UNESCO 1992. Input to the ICWE.

Xunta de Galicia (s.f.). *Glosario de Meteorología*. Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda.
https://www.meteogalicia.gal/web/informacion/glosario/est3.action?request_locale=es

ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de estaciones según fin: Definiciones.

A. Estación Agrometeorológica. En esta estación se realizan observaciones meteorológicas y otras observaciones que ayudan a determinar las relaciones entre el clima, por una parte y la vida de las plantas y los animales por la otra. Incluye el mismo programa de observaciones de la estación climatológica principal, más registros de temperatura a varias profundidades (hasta un metro) y en la capa cercana al suelo (0, 10 y 20 cm sobre el suelo) (IDEAM, 2019). La OMM (2015), las clasifica como sigue:

A1. Estación meteorológica agrícola principal. Estación que facilita simultáneamente informaciones meteorológicas y biológicas detalladas y en la que se efectúan investigaciones sobre agrometeorología. Los medios instrumentales, el alcance y la frecuencia de las observaciones meteorológicas y biológicas, y el personal profesional han de ser tales que permitan realizar investigaciones fundamentales sobre cuestiones agrometeorológicas de interés para los países o regiones concernidos.

A2. Estación meteorológica agrícola ordinaria. Estación que facilita normalmente y de manera simultánea información meteorológica y biológica, y que puede estar equipada para participar en la investigación de problemas determinados; en general, el programa de observaciones biológicas o fenológicas para la investigación dependerá de las condiciones climáticas locales de la estación.

A3. Estación meteorológica agrícola auxiliar. Estación que facilita información meteorológica y biológica. La información meteorológica puede comprender datos como la temperatura y humedad del suelo, la evapotranspiración potencial, sondeos

detallados de las capas más bajas de la atmósfera, etc.; la información biológica puede referirse a la fenología, aparición y desarrollo de las enfermedades vegetales, etc.

A4. Estación meteorológica agrícola para fines específicos. Estación establecida provisional o permanentemente para facilitar datos meteorológicos con fines agrícolas específicos.

B. Estación climatológica. Estación cuyas observaciones sirven para fines climatológicos. De acuerdo con la OMM (2015), las estaciones climatológicas se clasifican como sigue:

B1. Estación climatológica principal. Estación climatológica en la que se hacen lecturas horarias u observaciones por lo menos tres veces al día, además de las lecturas horarias efectuadas según datos registrados autográficamente. De acuerdo con el IDEAM (2019), se hacen observaciones de precipitación, temperatura del aire, temperaturas máxima y mínima a 2 metros, humedad, viento, radiación, brillo solar, evaporación, temperaturas extremas del tanque de evaporación, cantidad de nubes y fenómenos especiales. Gran parte de estos parámetros se obtienen de instrumentos registradores.

B2. Estación climatológica ordinaria. Estación climatológica en la que se efectúan observaciones por lo menos una vez al día, incluidos los máximos y mínimos diarios de la temperatura y las cantidades diarias de precipitación. En IDEAM (2019), se agrega temperaturas máxima y mínima a 2 metros del suelo y humedad. También menciona que algunas llevan instrumentos adicionales tales como tanque de evaporación, heliógrafo y anemómetro.

B3. Estación climatológica de referencia. Estación climatológica cuyos datos están destinados a determinar las tendencias climáticas. Esto requiere largos períodos (30 años como mínimo) de registros homogéneos, donde las modificaciones deben ser mínimas. El registro debe tener, idealmente, la amplitud suficiente para permitir la identificación de los cambios seculares del clima.

B4. Estación climatológica para fines específicos. Estación climatológica instalada para observar uno o varios elementos específicos.

C. Estación Pluviográfica. Es aquella que registra en forma mecánica y continua la precipitación, en una gráfica que permite conocer la cantidad, duración, intensidad y periodo en que ha ocurrido la lluvia. Actualmente se utilizan los pluviógrafos de registro diario (IDEAM, 2019).

D. Estación Pluviométrica. Es una estación meteorológica dotada de un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas (IDEAM, 2019).

E1. Estación Sinóptica Principal. En este tipo de estación se efectúan observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas convenidas internacionalmente. Los datos se toman horariamente y corresponden a nubosidad, dirección y velocidad de los vientos, presión atmosférica, temperatura del aire, tipo y altura de las nubes, visibilidad, fenómenos especiales, características de humedad, precipitación, temperaturas extremas, capas significativas de nubes, recorrido del viento y secuencia de los fenómenos atmosféricos (IDEAM, 2019)

E2. Estación Sinóptica Secundaria. Al igual que en la estación anterior, las observaciones se realizan a horas convenidas internacionalmente y los datos corresponden comúnmente a visibilidad, fenómenos especiales, tiempo atmosférico,

nubosidad, estado del suelo, precipitación, temperatura del aire, humedad del aire, presión y viento (IDEAM, 2019)

F. Estaciones destinadas a fines operativos. Estaciones permanentes o temporales destinadas a fines específicos, por ejemplo, explotación de embalses, riego, navegación, control de la calidad del agua o predicción de crecidas. Aunque estas estaciones pueden ser útiles, no proporcionan los datos necesarios para un análisis hidrológico general. Por consiguiente, no deberían estar necesariamente incorporadas a una red hidrológica básica (OMM, 2011a).

A este listado, la OMM (2015), agrega otras de carácter más específico. A saber:

G1. Estación radiométrica. Estación en la que se efectúan observaciones de la radiación.

- Estación radiométrica ordinaria. Estación radiométrica cuyo programa de observación comprende, por lo menos, el registro continuo de la radiación solar global.
- Estación radiométrica principal. Estación radiométrica cuyo programa de observación comprende por lo menos, el registro continuo de la radiación global, solar y celeste, así como las mediciones regulares de la radiación solar directa.

G2. Estación de detección de parásitos atmosféricos. Estación que efectúa observaciones para un sistema de detección de parásitos atmosféricos.

G3. Estación de observación de la capa límite planetaria. Estación dotada de equipo para facilitar datos meteorológicos detallados sobre la capa límite planetaria.

G4. Estación meteorológica aeronáutica. Estación designada para hacer observaciones e informes meteorológicos para uso en la navegación aérea internacional.

G5. Estación ozonométrica. Estación en la que se realizan observaciones del ozono atmosférico.

G6. Estación costera. Estación situada en la costa que puede efectuar ciertas observaciones de las condiciones del mar.

G7. Estación de la Red de Observación en Superficie del SMOC (ROSS). Estación terrestre que forma parte de la red de estaciones seleccionadas especialmente para vigilar la variabilidad diaria y en gran escala del clima en el mundo entero.

G8. Estación especial. Estación para los fines especiales enumerados a continuación:

- Otras estaciones perfiladoras por teledetección;
- Estaciones de localización de rayos;
- Estaciones a bordo de aeronaves de reconocimiento meteorológico;
- Estaciones de la Vigilancia de la Atmósfera Global.