International Hydrogen Ramp-up Programme – H2Uppp

HIDRÓGENO VERDE EN COLOMBIA – ESTUDIO AMBIENTAL – PROYECTO AKUAIPPAHY

Resumen Ejecutivo Estudio Ambiental

Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

VIRIDI

The International Hydrogen Ramp-up Programme (H2Uppp) supports entrepreneurial engagement in the ramp-up of hydrogen in the Global South. It is a funding programme of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWE), implemented by the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

As a federally owned enterprise, GIZ supports the German Government in achieving its objectives in the field of international cooperation for sustainable development.

Published by:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

On behalf of the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

Registered offices
Bonn and Eschborn, Germany

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

E info@giz.de
I www.giz.de

Responsible:

Study Director:
Alejandro Lucio Chaustre – Executive Director – Óptima Consultores

Overall Coordination
Katherine Castaño – Deputy Director for Bids and Integrated Studies – Óptima Consultores

Consulting Team:
Alejandro Piñeros – Director of Regulation and Markets
David Hidalgo – Regulation and Markets Consultant

Technical Review:
Alejandro Piñeros – Director of Regulation and Markets

Comprehensive Review and Quality Assurance:
Katherine Castaño – Deputy Director for Bids and Integrated Studies – Óptima Consultores

GIZ is responsible for the content of this publication.

Layout:
peppermint werbung berlin gmbh, Berlin

Eschborn, September 2026

Statement on the Responsible Use of Artificial Intelligence Tools

Artificial intelligence tools were used in the preparation of this document solely as supporting resources for language editing, translation, content organization, and the production of graphic materials. Any AI-assisted content was subject to human technical and editorial review, including verification of data, sources, and statements; consistency with the underlying studies and technical documentation; methodological review; and critical assessment of the results, conclusions, and limitations. The consulting team assumes full technical responsibility for the content of this document.

This statement is included in accordance with the transparency principles set out in Article 50(4) of Regulation (EU) 2024/1689.

Tablas

Tabla 1 Análisis transversal y consolidado de los niveles de condicionamiento por categoría normativa 6
Tabla 2 Síntesis de marco energético para proyectos H_2V/PtX. 7
Tabla 3 Entidades que deben considerarse en la estructuración de proyectos de H_2V/PtX 8
Tabla 4 Aspectos hídricos y marino-costeros que deben revisarse en cada alternativa 9
Tabla 5 Síntesis de los principales condicionantes asociados a la gestión de residuos 11
Tabla 6 Síntesis de los principales condicionantes asociados al manejo de materiales peligrosos (MATPEL) 11
Tabla 7 Síntesis de los principales condicionantes asociados al cambio climático y la gestión del riesgo 13
Tabla 8 Síntesis de fuentes oficiales prioritarias para el control y actualización de la base SIG 15
Tabla 9 Síntesis de las reglas de integración cartográfica 18
Tabla 10 Síntesis de la relación entre los componentes de la caracterización y los productos geoespaciales 18
Tabla 11 Principales coberturas de la tierra y su sensibilidad biótica en el área de estudio 20
Tabla 12 Síntesis de la sensibilidad ambiental de las coberturas de la tierra 21
Tabla 13 Síntesis de Unidades hidrogeológicas del área de estudio 23
Tabla 14 Síntesis integrada del componente geosférico 23
Tabla 15 Variables climáticas 24
Tabla 16 Características hidrológicas 25
Tabla 17 Síntesis del análisis ambiental del territorio 26
Tabla 18 Síntesis de los resultados de sensibilidad ambiental por territorio 27
Tabla 19 Principales implicaciones para la localización 29
Tabla 20 Comparación de condiciones bióticas, socioeconómicas y riesgos 33
Tabla 21 Condiciones ambientales comunes a las alternativas 33
Tabla 22 Exclusiones y condiciones críticas de las alternativas 34
Tabla 23 Síntesis de la comparación ambiental de las alternativas evaluadas 36
Tabla 24 Principales riesgos ambientales y sociales asociados a las alternativas 37
Tabla 25 Consolidación de supuestos, limitaciones, vacíos de información y verificaciones pendientes 37
Tabla 26 Síntesis de comparación de alternativas 40
Tabla 27 Semaforización comparativa de las alternativas. 41

Ilustraciones

Ilustración 1 Enfoque integrado para la identificación y comparación de alternativas del proyecto AkuaippaHy 5
Ilustración 2 Criterios ambientales para orientar la localización del proyecto 12
Ilustración 3 Gestión e integración de la información espacial 15
Ilustración 4 Estructura del modelo de almacenamiento geográfico (MAG) 16
Ilustración 5 Productos cartográficos elaborados 17
Ilustración 6 Enfoque metodológico para la evaluación de la sensibilidad ambiental del territorio 20
Ilustración 7 Favorabilidad geológica preliminar 22
Ilustración 8 Síntesis del análisis ambiental del territorio 26
Ilustración 9 Sensibilidad ambiental del territorio de la Guajira 28
Ilustración 10 Objetivos de la evaluación ambiental comparativa 30
Ilustración 11 Metodología de evaluación ambiental 31
Ilustración 12 Características principales de alternativas evaluadas 32
Ilustración 13 Síntesis de impactos potenciales identificados para cada alternativa 35
Ilustración 14 Importancia de la selección de localización 38
Ilustración 15 Insumo estratégico para la toma de decisiones 39

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del proyecto AkuaippaHy exige determinar en qué sectores de La Guajira puede localizarse su infraestructura y bajo qué condiciones ambientales y territoriales podría avanzar el proyecto. Esta decisión no depende únicamente de la disponibilidad de recursos eólicos y solares. También requiere considerar la compatibilidad del uso del suelo, la sensibilidad de los ecosistemas, la disponibilidad y sostenibilidad del recurso hídrico, las condiciones físicas del territorio, la presencia de comunidades étnicas y la ruta regulatoria y ambiental aplicable a cada componente de la cadena de H_2V/PtX.

La escala y diversidad de la infraestructura asociada a la producción, transformación, almacenamiento, transporte y eventual exportación de H_2V y sus derivados plantea interacciones territoriales distintas según su localización. En La Guajira, estas interacciones están condicionadas por la presencia de ecosistemas estratégicos, áreas protegidas y otras figuras de conservación, coberturas naturales y seminaturales, territorios étnicos, condiciones de aridez, disponibilidad limitada de agua y determinantes ambientales de superior jerarquía. A ello se suman variables geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas, geotécnicas, climáticas e hidrológicas que pueden limitar o favorecer el emplazamiento de la infraestructura.

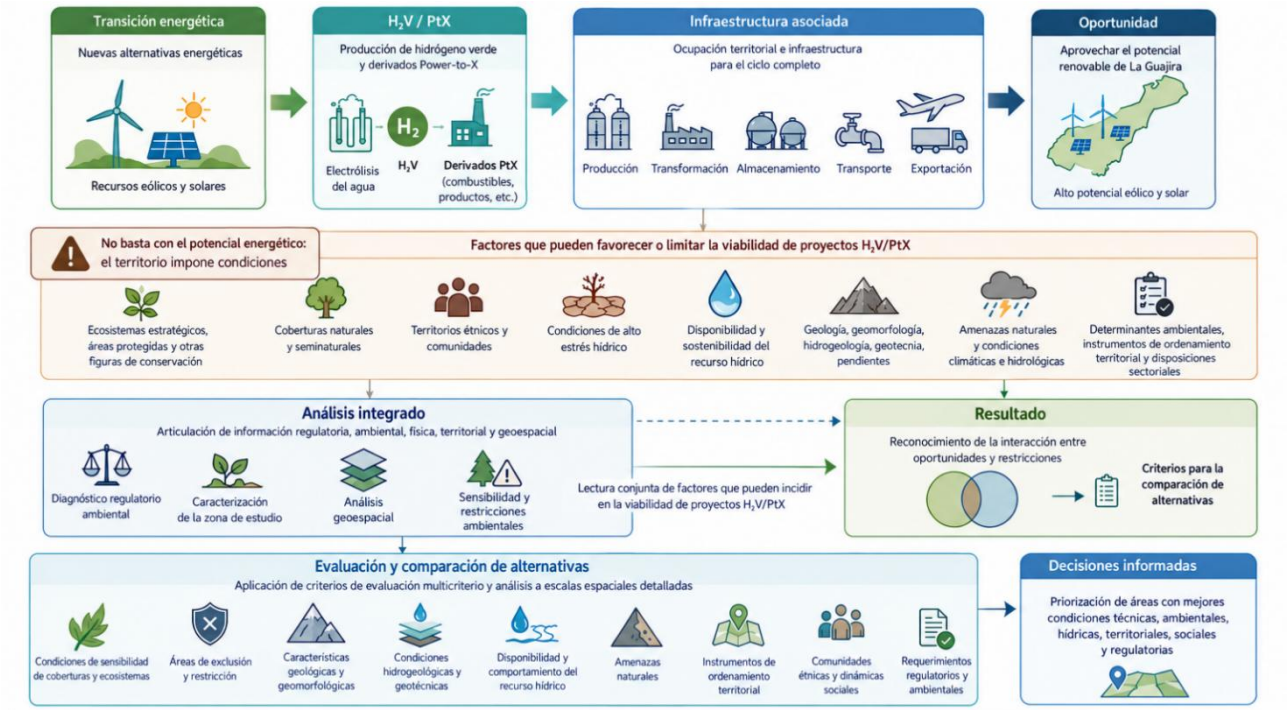
El componente ambiental de la consultoría se estructuró para examinar estos factores de manera integrada y establecer sus diferencias entre las alternativas evaluadas. Con este propósito, se articularon el diagnóstico regulatorio ambiental, la caracterización de la zona de estudio, el análisis geoespacial y la evaluación de sensibilidad, restricciones y posibles impactos ambientales. Esta integración permite superar la revisión aislada de variables y analizar cómo su concurrencia puede afectar la localización, la configuración de la infraestructura y la ruta de desarrollo de AkuaippaHy.

La evaluación consideró las áreas de exclusión y restricción, la sensibilidad de coberturas y ecosistemas, las características geológicas y geomorfológicas, las condiciones hidrogeológicas y geotécnicas, el comportamiento del recurso hídrico, las amenazas naturales, los instrumentos de ordenamiento territorial, la presencia de comunidades étnicas y los requerimientos regulatorios y ambientales aplicables. Sobre esta base se identificaron sectores incompatibles o sometidos a mayores restricciones y áreas con condiciones relativamente más favorables para continuar la evaluación de alternativas.

El estudio aporta, por tanto, una base técnica para comparar las alternativas de localización y reconocer tempranamente los factores que pueden incidir en la ocupación territorial, el diseño de la infraestructura, la gestión del recurso hídrico, el relacionamiento con las comunidades y la ruta de permisos. Su utilidad consiste en reducir la incertidumbre en esta etapa del desarrollo y señalar los aspectos que deberán profundizarse antes de adoptar decisiones posteriores sobre la configuración del proyecto.

Este Resumen Ejecutivo presenta los principales resultados del estudio comparativo de alternativas de AkuaippaHy y expone las condiciones ambientales, físicas, hídricas, territoriales, sociales y regulatorias que las diferencian. Los fundamentos metodológicos, las fuentes de información, los análisis espaciales y los resultados desagregados de cada componente se desarrollan en los documentos técnicos que sustentan la evaluación.

Ilustración 1 Enfoque integrado para la identificación y comparación de alternativas del proyecto AkuaippaHy



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

1 Determinantes, restricciones y marco de referencia

El Diagnóstico Regulatorio Ambiental identificó los instrumentos normativos, los determinantes territoriales, las restricciones ambientales y las competencias institucionales que pueden incidir en la estructuración de AkuaippaHy. La revisión comprendió la normativa ambiental transversal y los instrumentos relacionados con la generación de energía renovable, hidrógeno, uso del suelo, recurso hídrico, ordenamiento marino-costero, biodiversidad, residuos, materiales peligrosos, cambio climático, gestión del riesgo e infraestructura vinculada con la producción y eventual exportación de derivados PtX.

La revisión normativa se organizó en una matriz aplicada que permitió relacionar cada instrumento con su autoridad competente, ámbito de aplicación, obligaciones, naturaleza habilitante, restrictiva o procedimental, carácter vinculante y nivel de incidencia en las diferentes fases del proyecto. A partir de esta estructura se establecieron tres niveles de condicionamiento (bajo, medio y alto), definidos según la capacidad de cada instrumento para habilitar, condicionar o restringir las decisiones relacionadas con la localización, el diseño, la escala, el cronograma y la ruta de permisos del proyecto.

Esta clasificación valora la incidencia de los instrumentos sobre las decisiones del proyecto y no solamente su naturaleza jurídica. Los niveles asignados permiten reconocer las materias que requieren atención temprana, pero no sustituyen el análisis particular de las obligaciones, prohibiciones, permisos o competencias aplicables a cada componente de infraestructura y alternativa de localización. La Tabla 1 presenta el resultado consolidado por categoría.

Tabla 1 Análisis transversal y consolidado de los niveles de condicionamiento por categoría normativa

Categoría normativa	Nivel de condicionamiento	Incidencia principal
Energía e hidrógeno	Bajo – Medio	Actúa como marco habilitante del proyecto, aunque requiere definir las condiciones técnicas y regulatorias aplicables a la infraestructura energética, la interconexión y el transporte.
Ambiental y licenciamiento	Alto	Determina la ruta de evaluación, licenciamiento y permisos ambientales aplicables a los distintos componentes del proyecto.
Recurso hídrico y medio marino-costero	Alto	Incide en la fuente y disponibilidad de agua, la solución tecnológica de abastecimiento, el manejo de vertimientos y la localización de la infraestructura asociada.
Calidad del aire	Alto	Incide en el diseño y en las medidas de prevención y control de emisiones aplicables.
Uso del suelo y ordenamiento territorial	Medio – Alto	Condiciona la compatibilidad territorial y la selección del sitio.
Residuos y materiales peligrosos (MATPEL)	Alto	Exige definir las condiciones de manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición aplicables durante el ciclo del proyecto.
Forestal, suelos y biodiversidad (fauna)	Alto	Puede imponer restricciones sobre la localización y, cuando exista una prohibición o un régimen de protección aplicable, excluir determinados sectores.
Cambio climático	Medio – Alto	Requiere incorporar criterios de mitigación, adaptación y resiliencia.
Gestión del riesgo	Alto	Incide en localización, diseño y operación.
Comunidades y componente socioeconómico	Alto	Incide en el relacionamiento territorial, la gestión social y la programación de las actividades del proyecto.
Institucionalidad sectorial	Medio	Exige coordinación entre autoridades y una secuencia clara de trámites, permisos y decisiones.

Fuente: Elaboración propia a partir del diagnóstico normativo consolidado en este estudio. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

Al comparar los resultados, se observa que el marco energético y la planeación sectorial establecen condiciones generales para el desarrollo de los proyectos. Sin embargo, las principales restricciones están relacionadas con los componentes ambiental, hídrico, territorial, biótico y social, así como con la gestión del riesgo. Estas condiciones pueden presentarse de manera simultánea en una misma zona o afectar un mismo componente de la infraestructura, lo que podría modificar la favorabilidad de una alternativa, los permisos requeridos o los tiempos necesarios para su desarrollo.

En el caso de AkuaippaHy, estos aspectos deben considerarse desde la etapa inicial de comparación de alternativas, especialmente aquellos clasificados como altos o medio-altos. Entre ellos se encuentran el licenciamiento ambiental, el abastecimiento y manejo del agua, la compatibilidad territorial, la sensibilidad de los ecosistemas y las coberturas, la gestión del riesgo y la presencia de comunidades. Su identificación temprana permitirá priorizar las áreas con mejores condiciones y establecer los temas que deberán analizarse con mayor detalle durante la estructuración ambiental e institucional y la definición de permisos.

1.1 Política, planeación y regulación energética aplicable al H_2V/PtX

El análisis del marco energético evidencia una condición estratégica favorable para el desarrollo de proyectos H_2V/PtX en Colombia y, particularmente, para su articulación con el potencial renovable de La Guajira. La hoja de ruta del hidrógeno reconoce el hidrógeno como un vector energético estratégico y establece lineamientos para promover su desarrollo; sin embargo, su alcance es principalmente orientador y no configura, por sí sola, un régimen operativo de licenciamiento, permisos o estándares técnicos vinculantes para las diferentes etapas de producción, almacenamiento, transporte y uso industrial del hidrógeno. Por esta razón, su incidencia sobre el proyecto se clasifica como Baja, al actuar principalmente como marco de política pública y de orientación sectorial.

La planeación energética nacional presenta una incidencia indirecta y, en algunos aspectos, por analogía, debido a que los instrumentos existentes están orientados principalmente al sistema eléctrico y energético convencional y aún no existe una planeación integral específica para el conjunto de infraestructura requerida por las cadenas H_2V/PtX. Esta situación adquiere relevancia para proyectos que integren generación renovable, electrólisis, producción de derivados, almacenamiento, transporte, infraestructura portuaria y exportación, ya que la articulación entre estos componentes debe analizarse a partir de los instrumentos sectoriales actualmente disponibles.

El marco energético funciona como habilitador estratégico, pero no autoriza por sí solo el desarrollo del proyecto. Los principales resultados se sintetizan en la Tabla 2.

Tabla 2 Síntesis de marco energético para proyectos H_2V/PtX.

Aspecto analizado	Resultado para el proyecto H_2V/PtX
Política energética y de hidrógeno	Reconoce el H_2V y sus derivados como alternativas para diversificar la matriz energética y contribuir a la descarbonización. No obstante, su alcance es principalmente orientador y no reemplaza las autorizaciones requeridas para el desarrollo del proyecto.
Planeación energética	Existen instrumentos aplicables a la generación de energía renovable y lineamientos para la producción y el uso del hidrógeno. Sin embargo, actualmente no se cuenta con un instrumento único que integre todas las etapas de la cadena, desde la generación de energía hasta el almacenamiento, transporte y posible exportación de los productos obtenidos
Regulación específica H_2V/PtX	La regulación todavía se encuentra en desarrollo y no aborda con el mismo nivel de detalle todas las etapas de la cadena. Por esta razón, las disposiciones aplicables y los aspectos pendientes de regulación deben revisarse para cada componente del proyecto.
Permisos y licenciamiento	Los permisos y autorizaciones dependerán de las obras, actividades y localización de cada alternativa. Por lo tanto, deberán revisarse conjuntamente los requisitos energéticos, ambientales, territoriales y sectoriales aplicables.

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión del marco energético y regulatorio aplicable a proyectos de H_2V/PtX. Óptima Consultores S.A.S., 2026.

***Nota:** La organización y síntesis de la información contó con apoyo de herramientas de inteligencia artificial y fue revisada técnicamente por Óptima Consultores S.A.S.*

1.2 Ordenamiento territorial y uso del suelo

En el análisis de ordenamiento territorial se revisaron los **15 municipios del departamento de La Guajira**: Albania, Barrancas, Dibulla, Distracción, El Molino, Fonseca, Hatonuevo, La Jagua del Pilar, Maicao, Manaure, Riohacha, San Juan del Cesar, Uribia, Urumita y Villanueva. Para cada municipio se revisaron los instrumentos de ordenamiento territorial vigentes y se relacionaron con las determinantes ambientales y territoriales de superior jerarquía.

Los resultados muestran que la compatibilidad del uso del suelo para infraestructura industrial asociada a proyectos H_2V/PtX varía entre municipios y no puede establecerse únicamente a partir de la clasificación municipal del suelo. Los POT, PBOT y EOT definen los usos permitidos, condicionados o prohibidos. Su aplicación debe articularse con determinantes ambientales como los POMCA, las áreas protegidas, las figuras de conservación y las condiciones asociadas a la gestión del riesgo. Estos determinantes pueden restringir la intervención o excluir determinados sectores cuando establezcan prohibiciones aplicables, independientemente del uso establecido por el instrumento municipal.

El análisis permitió establecer que las condiciones territoriales varían entre los municipios evaluados. Para la localización de infraestructura industrial asociada a proyectos PtX, San Juan del Cesar, Villanueva, Riohacha, Albania y Fonseca presentaron los resultados más favorables, con niveles de compatibilidad entre media y alta.

Como complemento de esta comparación municipal, se realizó un análisis espacial de las restricciones presentes en el territorio. Para ello se integró información sobre clasificación y uso del suelo, determinantes ambientales, POMCA, áreas protegidas, otras figuras de ordenamiento y zonas con condiciones de amenaza y riesgo. La superposición de estas capas permitió diferenciar áreas de exclusión, áreas con restricción alta y áreas de intervención con restricción media.

Es importante aclarar que estos resultados corresponden a una aproximación a escala municipal y no significan que todo el territorio de los municipios con mayor compatibilidad se encuentre disponible para el proyecto. La selección de las áreas deberá complementarse con una evaluación espacial más detallada, que permita descartar las zonas incompatibles e identificar los sectores con menores restricciones ambientales y territoriales.

1.3 Gestión ambiental, licenciamiento y articulación institucional

La gestión del proyecto involucra a autoridades ambientales, energéticas, territoriales, marítimas, culturales y de gestión del riesgo. La participación de cada una dependerá de la localización, las obras y las actividades previstas en la alternativa seleccionada. En la Tabla 3 resume las entidades que deben considerarse desde la estructuración del proyecto.

Tabla 3 Entidades que deben considerarse en la estructuración de proyectos de H_2V/PtX

Entidad	Temática	Relación con los proyectos	Normatividad asociada
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Política y regulación ambiental	Define la política y la regulación ambiental nacional. Sus lineamientos deben considerarse en temas como biodiversidad, recurso hídrico, cambio climático y ordenamiento ambiental del territorio.	Decreto 3570 de 2011
Ministerio de Minas y Energía	Política energética e hidrógeno	Orienta la política sectorial y el desarrollo regulatorio relacionado con el hidrógeno y la transición energética. Sus decisiones pueden incidir en los incentivos, las condiciones técnicas y la integración del proyecto con el sector energético.	Decreto 381 de 2012; Ley 2099 de 2021; Decreto 1476 de 2022
Ministerio del Interior – DANCP	Consulta previa	Determina la procedencia y oportunidad de la consulta previa y, cuando corresponda, coordina su desarrollo. Este proceso debe incorporarse en la programación del proyecto cuando se identifiquen posibles afectaciones directas a comunidades étnicas.	Decreto 2353 de 2019
UPME	Planeación y conexión eléctrica	Proporciona información para la planeación energética y gestiona, cuando aplica, las solicitudes de asignación de capacidad de transporte y conexión al Sistema Interconectado Nacional. Su participación será relevante tanto para la generación renovable como para la demanda de energía de la planta PtX.	Decreto 1258 de 2013; Resolución CREG 075 de 2021 y sus modificaciones
CREG	Regulación del sector eléctrico	Establece las reglas relacionadas con la conexión y el acceso a las redes eléctricas. Estas disposiciones deberán revisarse si el proyecto requiere consumir, generar o entregar energía a través del Sistema Interconectado Nacional.	Ley 143 de 1994; Decreto 1260 de 2013; Resolución CREG 075 de 2021 y sus modificaciones
ANLA	Licenciamiento ambiental de competencia nacional	Interviene, según la distribución legal de competencias y las características de cada componente, en la evaluación, autorización y seguimiento de licencias, permisos y demás instrumentos ambientales, con incidencia sobre el diseño, el cronograma y las obligaciones de manejo.	Decreto 3573 de 2011; Decreto 1076 de 2015
Corpoguajira	Permisos y licenciamiento ambiental regional	Actúa como autoridad ambiental regional en La Guajira y tramita, dentro de sus competencias, licencias, permisos y concesiones relacionados con el uso del agua, vertimientos, emisiones, aprovechamiento forestal y ocupaciones de cauce, entre otros.	Ley 99 de 1993, artículo 31; Decreto 1076 de 2015
UNGRD y Consejos Territoriales de Gestión del Riesgo	Gestión del riesgo	Los instrumentos y lineamientos de gestión del riesgo constituyen un insumo para la localización y el diseño de la infraestructura. La participación de las entidades nacionales y territoriales dependerá de las amenazas identificadas y de sus respectivas competencias.	Ley 1523 de 2012

Entidad	Temática	Relación con los proyectos	Normatividad asociada
DIMAR	Áreas marinas y costeras	Interviene cuando las alternativas contemplan obras u ocupaciones en playas, terrenos de bajamar, aguas marítimas u otros bienes sometidos a su jurisdicción.	Decreto-Ley 2324 de 1984
ICANH	Patrimonio arqueológico	Administra los trámites relacionados con el Programa de Arqueología Preventiva y las intervenciones sobre el patrimonio arqueológico, cuando sean aplicables al proyecto.	Ley 1185 de 2008; Decreto 1080 de 2015, modificado por el Decreto 138 de 2019
Entes territoriales	Ordenamiento y uso del suelo	Los municipios y distritos definen los usos y las restricciones del suelo mediante sus instrumentos de ordenamiento territorial. La compatibilidad de cada alternativa deberá verificarse antes de seleccionar las áreas para el proyecto.	Ley 388 de 1997

Fuente: Elaboración propia con base en la normativa citada en la tabla. Óptima Consultores S.A.S., 2026.

***Nota:** Esta identificación es preliminar. Las autoridades competentes y los trámites aplicables deberán confirmarse cuando se definan la localización, las obras y las actividades que conforman cada alternativa.*

1.4 Componente hídrico y ordenamiento marino-costero

El abastecimiento de agua es uno de los aspectos que debe revisarse desde la comparación inicial de las alternativas de H_2V/PtX. La demanda dependerá de la configuración y capacidad del proyecto, de los procesos asociados a la producción de derivados y de las posibilidades de recirculación o reúso. Por esta razón, los requerimientos estimados deben contrastarse con la oferta disponible, los usos existentes y el comportamiento de las posibles fuentes de abastecimiento. En La Guajira, este análisis deberá realizarse para cada fuente potencial y considerar tanto la variabilidad hídrica como las condiciones establecidas en los instrumentos de planificación y administración del recurso (IDEAM, 2023; Decreto 1076 de 2015).

Para cada alternativa se deberá elaborar un balance preliminar de agua que identifique la fuente de abastecimiento, el caudal requerido, las condiciones de calidad, las pérdidas, las posibilidades de recirculación y los efluentes generados. Cuando se contemplen fuentes continentales, será necesario verificar su disponibilidad y la posibilidad de obtener la respectiva concesión. Si se considera la captación de agua de mar y su desalinización, además de la planta de tratamiento deberán incluirse la infraestructura de captación y conducción, el consumo de energía y el manejo de la salmuera. Aunque esta opción puede disminuir la dependencia de fuentes continentales, su viabilidad dependerá de las condiciones ambientales y técnicas del área seleccionada. Una disposición inadecuada de la salmuera puede modificar localmente la salinidad y afectar los ecosistemas receptores (PNUMA, 2021).

La infraestructura localizada en el litoral o en áreas marinas también deberá ser compatible con los instrumentos de ordenación y manejo de las unidades ambientales costeras, las restricciones asociadas a ecosistemas sensibles y las autorizaciones requeridas para ocupar playas, terrenos de bajamar o aguas marítimas (Decreto-Ley 2324 de 1984; Decreto 1120 de 2013, compilado en el Decreto 1076 de 2015). Asimismo, los vertimientos a cuerpos de agua marina deberán cumplir las condiciones del permiso correspondiente y los parámetros establecidos en la Resolución 883 de 2018.

En consecuencia, la fuente de abastecimiento no debe evaluarse de manera aislada. Su análisis debe incluir la infraestructura requerida, la continuidad del suministro, el manejo de los efluentes y las restricciones ambientales y territoriales de cada alternativa. La Tabla 4. sintetiza los principales factores analizados.

Tabla 4 Aspectos hídricos y marino-costeros que deben revisarse en cada alternativa

Aspecto	*Información necesaria*	*Aplicación*
Fuentes continentales	Oferta disponible, comportamiento estacional, usos existentes, condiciones de calidad y concesiones vigentes.	Permite establecer si una fuente superficial o subterránea podría atender la demanda del proyecto sin desconocer otros usos y restricciones existentes.

Aspecto	Información necesaria	Aplicación
Demanda y balance de agua	Requerimientos por proceso, caudal total, pérdidas, recirculación, reúso y calidad requerida.	Permite comparar la eficiencia en el uso del agua y dimensionar las necesidades reales de abastecimiento de cada alternativa.
Captación de agua de mar y desalinización	Localización de la captación, capacidad de tratamiento, conducción, consumo de energía y volumen de salmuera generado.	Permite determinar los requerimientos adicionales de infraestructura y operación asociados a esta fuente de abastecimiento.
Efluentes y salmueras	Caudal, composición, tratamiento, punto de descarga, condiciones del cuerpo receptor y alternativas de disposición.	Permite identificar las restricciones y medidas de manejo asociadas a los vertimientos industriales y al proceso de desalinización.
Compatibilidad marino-costera	Zonificación de los POMIUAC, ecosistemas sensibles, áreas protegidas, usos existentes y jurisdicción marítima.	Permite descartar áreas incompatibles y establecer los permisos o autorizaciones que requeriría la infraestructura costera o marina.
Continuidad del abastecimiento	Variaciones estacionales, eventos extremos, fallas operativas, almacenamiento y fuentes de respaldo.	Permite evaluar la confiabilidad de cada alternativa y las medidas necesarias para mantener la operación del proyecto.

Fuente: Elaboración propia con base en IDEAM (2023), el Decreto-Ley 2324 de 1984, los decretos 1120 de 2013 y 1076 de 2015, la Resolución 883 de 2018 y PNUMA (2021). Óptima Consultores S.A.S., 2026.

1.5 Gestión de residuos sólidos y líquidos

La evaluación normativa permitió diferenciar cuatro ámbitos principales de gestión para residuos: gestión integral de residuos sólidos, manejo de residuos peligrosos, responsabilidad del generador y estrategias de aprovechamiento y minimización. Los tres primeros presentan un nivel de condicionamiento alto, mientras que las estrategias de aprovechamiento y minimización presentan un nivel medio-alto.

La gestión integral de residuos sólidos exige prever, para cada etapa del proyecto, la segregación en la fuente, el almacenamiento temporal, el transporte, el aprovechamiento y la disposición final, incluida la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD). En esta fase todavía debe verificarse la capacidad regional disponible para atender cada corriente; si resulta insuficiente, será necesario evaluar alternativas de manejo fuera del departamento y sus efectos logísticos y económicos.

Los residuos peligrosos (RESPEL) pueden incluir reactivos, catalizadores, solventes, aceites, lodos y materiales contaminados. Antes de definir la logística de manejo deberá confirmarse la disponibilidad y capacidad de gestores autorizados, así como las condiciones de almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición aplicables a cada corriente.

El punto crítico no es solo la cantidad de residuos generados, sino la posibilidad de manejarlos de forma especializada y trazable. Por eso, la estrategia deberá definirse desde el diseño del proyecto y distinguir las corrientes que pueden gestionarse en la región de aquellas que requerirían soluciones interregionales. En la Tabla 5 resume los aspectos que deben verificarse.

Tabla 5 Síntesis de los principales condicionantes asociados a la gestión de residuos

Ámbito de gestión	Resultado del análisis	Implicación para el proyecto	Nivel de condicionamiento
Gestión integral de residuos sólidos	La capacidad regional disponible debe verificarse para cada corriente y fase del proyecto.	Puede incrementar los requerimientos logísticos y los costos de gestión, y requerir soluciones fuera del departamento.	**Alto**
Residuos peligrosos (RESPEL)	La disponibilidad de gestores autorizados debe confirmarse antes de definir la logística de manejo.	Puede requerir traslado de residuos a otras regiones y condiciones específicas de almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final.	**Alto**
Responsabilidad del generador y trazabilidad	Se requiere control documental y seguimiento integral de los residuos generados.	Exige garantizar la trazabilidad y contratación de gestores autorizados durante la gestión de las diferentes corrientes.	**Alto**
Aprovechamiento y minimización	Se requiere reducir la generación, promover reúso y valorización e incorporar estrategias para residuos especiales como RAEE.	Permite reducir la dependencia de infraestructura externa y optimizar la gestión ambiental del proyecto.	**Medio-Alto**

Fuente: Elaboración propia con base en el diagnóstico regulatorio del estudio y en el Decreto 1076 de 2015. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

1.6 Materiales peligrosos (MATPEL)

El manejo de materiales peligrosos constituye un componente de alta relevancia para el desarrollo de proyectos H_2V/PtX. El análisis normativo permitió identificar cuatro ámbitos principales de condicionamiento, todos clasificados en un nivel alto: almacenamiento y manipulación de sustancias peligrosas, transporte de materiales peligrosos, planes de contingencia y gestión del riesgo químico. Esta clasificación refleja que el manejo de MATPEL no constituye únicamente un requerimiento operativo, sino un componente que debe incorporarse desde las etapas tempranas de estructuración y diseño del proyecto.

La exposición potencial de elementos ambientales y sociales frente a eventos accidentales requiere análisis de riesgo con un nivel de detalle acorde con la configuración tecnológica y territorial que finalmente adopte el proyecto.

El nivel de condicionamiento de los MATPEL depende de las sustancias involucradas, las exigencias de seguridad y gestión del riesgo, y las condiciones logísticas del territorio. La comparación de alternativas deberá considerar el almacenamiento seguro, el transporte especializado, la prevención y atención de emergencias y la evaluación del riesgo tecnológico, de forma articulada con la ruta ambiental del proyecto. La Tabla 6 resume los principales aspectos de manejo.

Tabla 6 Síntesis de los principales condicionantes asociados al manejo de materiales peligrosos (MATPEL)

Ámbito de gestión	Resultado del análisis	Implicación para el proyecto
Almacenamiento y manipulación	Las condiciones de manejo requieren considerar áreas de almacenamiento, tanques, recipientes a presión, ventilación, contención secundaria, detección de fugas, distancias de seguridad y sistemas contra incendio.	Incide directamente en el diseño y configuración de las instalaciones y en los protocolos de operación segura.
Transporte de materiales peligrosos	La movilización terrestre y eventualmente marítima requiere condiciones técnicas y operativas específicas, definición de rutas y medidas de emergencia.	Puede condicionar la logística, las rutas de transporte y los tiempos y costos asociados al suministro y movilización de sustancias.
Planes de contingencia	Se requieren mecanismos de prevención y respuesta, simulacros, coordinación institucional y equipos especializados.	Incide en la preparación del proyecto frente a emergencias y en las capacidades requeridas para responder ante eventos accidentales.

Ámbito de gestión	Resultado del análisis	Implicación para el proyecto
Gestión del riesgo químico y tecnológico	Requiere evaluar escenarios de riesgo, establecer medidas preventivas y de mitigación y determinar posibles zonas de afectación.	Puede influir en la localización, diseño, medidas de seguridad, protección de trabajadores y comunidades y en el contenido de los estudios ambientales aplicables.

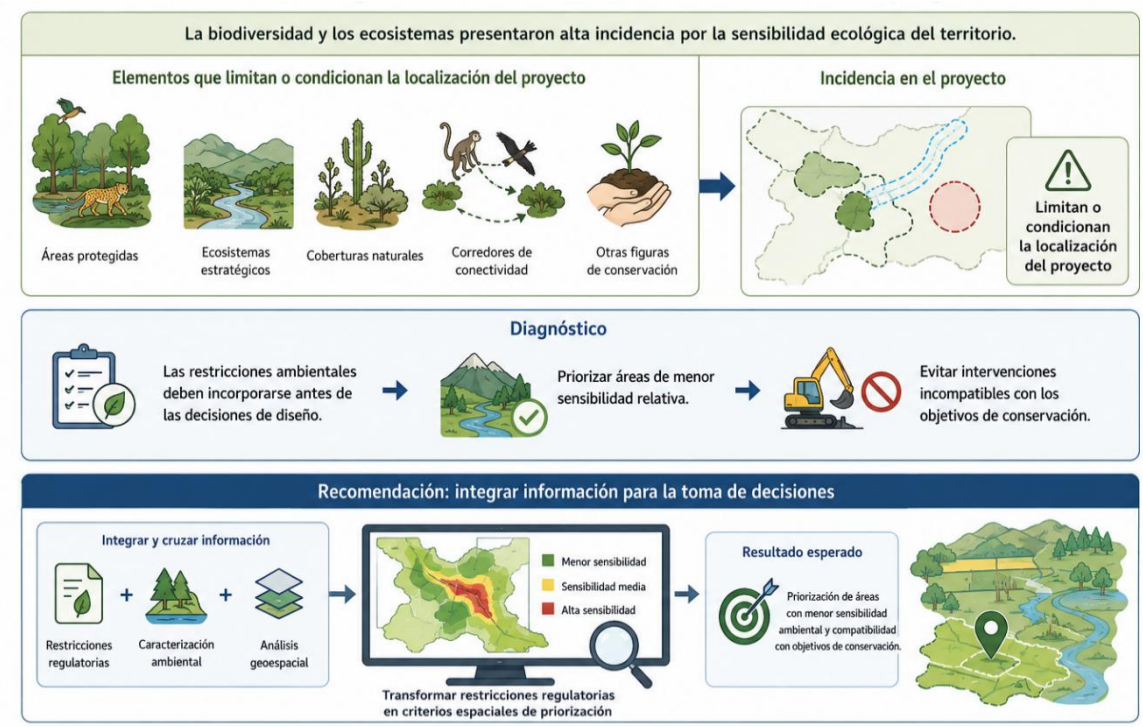
Fuente: Elaboración propia con base en los decretos 1079 de 2015 y 1076 de 2015 y en la Ley 1523 de 2012. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

1.7 Biodiversidad y ecosistemas

La biodiversidad y los ecosistemas presentaron alta incidencia por la sensibilidad ecológica del territorio. Áreas protegidas, ecosistemas estratégicos, coberturas naturales, corredores de conectividad y otras figuras de conservación pueden excluir o restringir la intervención, de acuerdo con su régimen jurídico, importancia ecológica y relación espacial con la infraestructura proyectada.

En el diagnóstico se estableció que estas condiciones deben incorporarse antes de adoptar decisiones de diseño y localización, priorizando áreas de menor sensibilidad relativa y evitando intervenciones jurídicamente incompatibles o que puedan comprometer los objetivos de conservación identificados. Para este propósito, los condicionantes regulatorios se integraron con la caracterización ambiental y el análisis geoespacial, con el fin de traducirlos en criterios espaciales para la comparación y priorización de alternativas.

Ilustración 2 Criterios ambientales para orientar la localización del proyecto



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

1.8 Cambio climático y gestión del riesgo

El cambio climático y la gestión del riesgo constituyen componentes transversales para la estructuración de proyectos H_2V/PtX, debido a su incidencia sobre la localización, diseño, tecnología, operación y continuidad de las instalaciones. En el análisis realizado, el cambio climático presenta un nivel de condicionamiento medio-alto, mientras que la gestión del riesgo se

clasifica como alto, debido a la exposición del territorio a amenazas naturales y tecnológicas y a las condiciones de respuesta existentes.

En materia de cambio climático, el análisis debe considerar tanto la cuantificación y trazabilidad de las emisiones de gases de efecto invernadero como la adaptación del proyecto a las condiciones del territorio. Para AkuaippaHy será necesario evaluar, entre otros aspectos, el estrés hídrico, las temperaturas extremas, las sequías, las tormentas y la variabilidad climática, porque pueden incidir en la tecnología, la localización de infraestructura crítica y la continuidad operativa.

Estos factores deben incorporarse desde la comparación de alternativas y el diseño conceptual. La evaluación conjunta de amenaza, exposición y vulnerabilidad permitirá reconocer configuraciones con menor exposición relativa y definir medidas de prevención, respuesta y continuidad. La Tabla 7 presenta los aspectos que requieren atención temprana.

Tabla 7 Síntesis de los principales condicionantes asociados al cambio climático y la gestión del riesgo

Ámbito	Resultado del análisis	Implicación para el proyecto	Nivel de condicionamiento
Mitigación y gestión de GEI	El proyecto debe considerar la cuantificación, reducción y trazabilidad de sus emisiones, así como su coherencia con los objetivos de descarbonización.	Incide en la definición tecnológica, cuantificación de GEI y criterios de sostenibilidad del proyecto.	**Medio-Alto**
Adaptación y vulnerabilidad climática	La Guajira presenta exposición a variabilidad climática, estrés hídrico, temperaturas extremas y otros eventos climáticos.	Puede condicionar la selección tecnológica, localización de infraestructura crítica y medidas de resiliencia y continuidad operativa.	**Alto**
Amenazas naturales	Se identifican condiciones de exposición a sequías, eventos eólicos intensos, inundaciones puntuales y otras amenazas asociadas al territorio.	Requiere incorporar criterios de amenaza y vulnerabilidad en la selección de sitios y diseño de infraestructura.	**Alto**
Amenazas tecnológicas y riesgos industriales	La escala industrial y el manejo de insumos energéticos y químicos introducen escenarios de riesgo tecnológico.	Requiere análisis de riesgos, medidas de prevención y mitigación y planes de contingencia.	**Alto**
Capacidad de respuesta y continuidad operativa	La información disponible no permite establecer con suficiente detalle las capacidades locales de respuesta para todos los escenarios de emergencia.	Las capacidades institucionales y operativas deberán verificarse y, cuando sea necesario, complementarse con recursos propios del proyecto.	**Alto**

Fuente: Elaboración propia con base en la Ley 1523 de 2012 y en el diagnóstico climático y de riesgos del estudio. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

1.9 Gestión ambiental, licenciamiento y articulación institucional

La participación de las entidades identificadas no se activa de manera uniforme para todas las alternativas ni configura una ruta única de permisos. Las autoridades y los requerimientos aplicables dependerán de la localización seleccionada, de los componentes que integren el proyecto y de las actividades asociadas a la generación renovable, la producción de H_2V/PtX, el abastecimiento hídrico, el almacenamiento, el transporte y la infraestructura portuaria.

Por esta razón, la ruta de gestión deberá precisarse para cada alternativa y componente de infraestructura, identificando las autoridades competentes, los permisos o autorizaciones aplicables y los aspectos que requieren definición en las siguientes etapas de estructuración. Esta revisión permitirá anticipar posibles requerimientos institucionales y reconocer diferencias entre las alternativas que puedan incidir en su desarrollo.

La intervención de estas entidades no es uniforme para todas las alternativas ni configura una ruta única de permisos. Su intervención dependerá de los componentes que finalmente integren el proyecto, la localización seleccionada y las actividades asociadas a generación renovable, producción de H_2V/PtX, abastecimiento hídrico, almacenamiento, transporte, infraestructura portuaria y demás instalaciones complementarias. La identificación temprana de las competencias institucionales permite anticipar los requerimientos aplicables a cada alternativa, definir las rutas de gestión **correspondientes** y reconocer los aspectos que deberán precisarse durante las siguientes etapas de estructuración del proyecto.

1.10 Resultados e implicaciones para AkuaippaHy

El diagnóstico muestra que la localización y el diseño de AkuaippaHy no dependen de una sola variable. El marco energético favorece el desarrollo del H_2V/PtX, pero cada alternativa deberá responder a restricciones ambientales, hídricas, territoriales, sociales e institucionales que pueden coincidir en un mismo sector.

En la comparación deberán revisarse de manera conjunta la compatibilidad del uso del suelo, el abastecimiento y manejo del agua, la sensibilidad de los ecosistemas, los residuos y materiales peligrosos, la gestión del riesgo y el relacionamiento con comunidades. El diagnóstico sirve para ordenar estas preguntas y señalar cuáles requieren mayor detalle antes de tomar una decisión.

Las condiciones físicas o energéticas favorables de una alternativa no son suficientes para determinar su favorabilidad integral. Su selección debe considerar las restricciones ambientales, territoriales, sociales, institucionales y regulatorias que puedan incidir en su desarrollo.

2 Análisis Geoespacial e integración cartográfica

A partir de los condicionantes del diagnóstico y de la caracterización ambiental, se consolidó y revisó la información espacial generada durante la consultoría. El trabajo incluyó la organización de la cartografía, la revisión de geometrías y sistemas de referencia, la consolidación de geodatabases, la elaboración de mapas temáticos y la representación espacial de los resultados de síntesis y zonificación ambiental.

Se integró la información de los componentes físico y biótico, así como los resultados de sensibilidad y zonificación, para generar una lectura territorial conjunta e identificar condicionantes y restricciones ambientales relevantes para la localización del proyecto. Los productos generados constituyen insumos para la evaluación comparativa de las alternativas y su posterior integración con criterios técnicos, logísticos y de disponibilidad de recursos.

La gestión geoespacial se desarrolló a escala regional para el departamento de La Guajira. La información permite reconocer patrones generales y orientar la selección preliminar de sectores con menores niveles relativos de restricción, pero no tiene el detalle necesario para decisiones prediales, diseños de ingeniería, delimitaciones de campo ni para elaborar directamente un Estudio de Impacto Ambiental.

Esta fase proporciona el soporte cartográfico para la planificación temprana y una base homogénea para comparar territorialmente las alternativas de localización, dentro de la escala y las limitaciones de la información utilizada.

Ilustración 3 Gestión e integración de la información espacial



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

2.1 Fuentes, trazabilidad y control de calidad de la información geoespacial

La actualización de la base cartográfica se realizó mediante una jerarquía de fuentes oficiales, priorizando los actos administrativos y datos emitidos por las autoridades competentes, seguidos por bases de información nacionales y regionales, instrumentos de ordenamiento ambiental y territorial y, finalmente, insumos técnicos derivados de interpretación de imágenes y verificaciones de campo. La selección consideró la competencia de la entidad emisora y la pertinencia de cada fuente para la variable analizada.

La información consolidada incorporó fuentes oficiales de entidades como IGAC, DANE, SGC, IDEAM, Minambiente, ANLA, Corpoguajira, UPME, ANI, Invías, DIMAR, ANM, ANH e ICANH, según el componente analizado, como se resume en la Tabla 8.

Tabla 8 Síntesis de fuentes oficiales prioritarias para el control y actualización de la base SIG

Grupo de información	Principales fuentes oficiales	Aplicación
Cartografía y territorio	IGAC, DANE, entidades territoriales	Límites, centros poblados y referencia territorial
Medio físico	SGC, IDEAM, Corpoguajira	Geología, amenazas, hidrología, clima y recurso hídrico
Biodiversidad y conservación	Minambiente, SIAC, PNN, Instituto Humboldt, Corpoguajira	Ecosistemas, áreas protegidas y conectividad
Social y territorial	DANE, ANT, Ministerio del Interior, entidades territoriales	Asentamientos, territorios étnicos y ordenamiento territorial
Licenciamiento ambiental	ANLA, Corpoguajira	Proyectos licenciados y zonificaciones de manejo
Infraestructura y sectores	UPME, ANI, Invías, DIMAR, ANM, ANH, ICANH	Energía, transporte, logística, minería, hidrocarburos y patrimonio

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes oficiales indicadas en la tabla. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

Como parte del proceso, se realizó un control de calidad y estandarización que incluyó la revisión de geometrías, extensión espacial, atributos, valores nulos, áreas, cobertura territorial y correspondencia entre capas, leyendas, mapas y resultados de la caracterización ambiental. Este control permitió identificar y gestionar inconsistencias y fortalecer la trazabilidad y consistencia interna de la información geoespacial utilizada en los análisis posteriores.

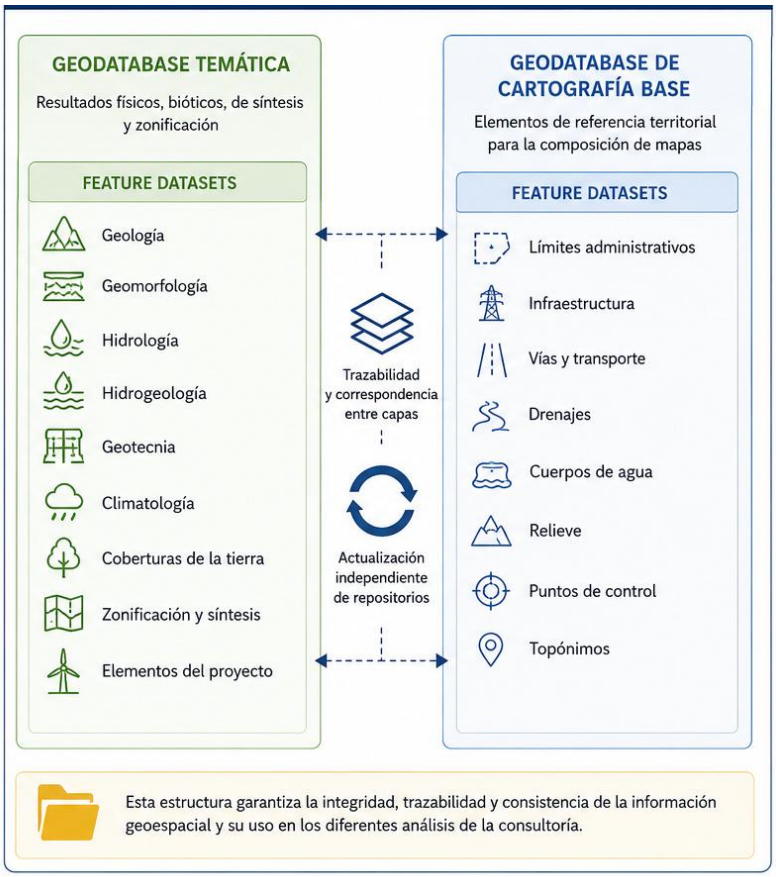
2.2 Estructura del Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG)

El Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG) se estructuró mediante dos geodatabases complementarias: una temática, que reúne la información física, biótica, de síntesis y zonificación; y otra de cartografía base, que contiene los elementos de referencia territorial utilizados para la composición de los mapas. Esta organización permite evitar duplicidades, facilitar la actualización independiente y mantener la trazabilidad de la información geoespacial.

La geodatabase temática incorpora información de geología, geomorfología, hidrología, hidrogeología, geotecnia, climatología, coberturas de la tierra, zonificación y elementos del proyecto. Por su parte, la geodatabase de cartografía base contiene límites administrativos, infraestructura, vías, drenajes, cuerpos de agua, relieve, puntos de control y topónimos. Ambas estructuras conforman la base utilizada para gestionar la información espacial y elaborar los productos cartográficos de la consultoría.

La estructura del MAG consolida los insumos geoespaciales requeridos para la elaboración de la cartografía temática y la gestión de la información territorial del proyecto.

Ilustración 4 Estructura del modelo de almacenamiento geográfico (MAG)



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

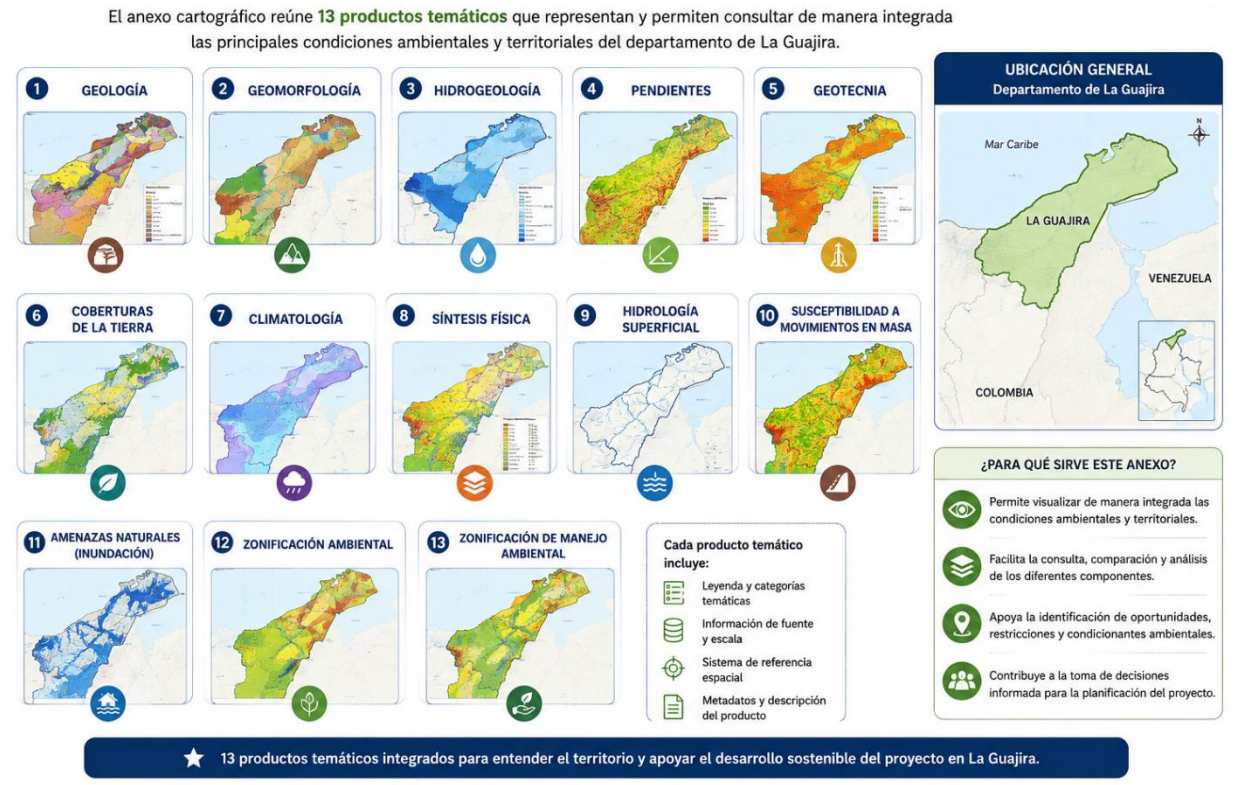
2.3 Elaboración y validación de productos cartográficos

Los mapas temáticos se elaboraron a partir de los resultados de la caracterización física y biótica, verificando para cada componente la correspondencia entre las capas, atributos, clasificación temática, escala, cobertura territorial y descripción técnica. Cuando fue necesario, se realizaron contrastes visuales mediante imágenes satelitales y modelos digitales de elevación para evaluar la consistencia espacial de los productos.

Las capas de síntesis y zonificación conservaron las categorías, reglas y criterios definidos anteriormente, manteniendo la trazabilidad entre la caracterización ambiental y sus productos geoespaciales. La integración permitió consolidar una representación espacial homogénea de las principales variables ambientales y facilitar su consulta, comparación e interpretación territorial.

Antes de su consolidación, los productos cartográficos fueron revisados para verificar la correspondencia entre atributos, leyendas, fuentes y resultados técnicos de la caracterización, así como su continuidad espacial y legibilidad.

Ilustración 5 Productos cartográficos elaborados



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La Tabla 9 se presentan las reglas de integración cartográficas, las cuales permiten asegurar criterios homogéneos para la incorporación de la información física, biótica y territorial dentro de la base geoespacial del proyecto.

Tabla 9 Síntesis de las reglas de integración cartográfica

Grupo de información	Principales productos	Tratamiento y control	Resultado
Medio físico	Geología, geomorfología, pendientes, hidrogeología y geotecnia	Homologación temática y verificación de escala, atributos y cobertura	Cartografía física integrada
Medio biótico	Coberturas, ecosistemas y áreas protegidas	Integración de capas y control de geometrías y vigencia	Cartografía biótica consolidada
Cartografía territorial	Límites, centros poblados, vías, drenajes e infraestructura	Estandarización y control de la información disponible	Base territorial estandarizada
Síntesis y zonificación	Síntesis físico-biótica y zonificación preliminar de sensibilidad y restricciones	Conservación de criterios y verificación de correspondencia entre capas, tablas y mapas	Productos trazables para el análisis territorial

Fuente: Elaboración propia a partir del protocolo de integración y control de calidad geoespacial del estudio. Óptima Consultores S.A.S. (2026)

2.4 Aportes del análisis geoespacial a la evaluación territorial

La integración de la información física, biótica y territorial en una base geoespacial homogénea permitió consolidar una visión conjunta del departamento de La Guajira e identificar preliminarmente patrones asociados a las condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas, climáticas y ecosistémicas del territorio.

Los productos generados permiten reconocer restricciones, sensibilidades y condicionantes ambientales, incluyendo áreas de exclusión, sensibilidad de coberturas, condiciones asociadas al recurso hídrico, necesidades potenciales de compensación y elementos de riesgo físico y climático. Estos resultados constituyen insumos para la evaluación de los polígonos priorizados y la valoración de criterios ambientales dentro del proceso de comparación de alternativas.

2.5 Trazabilidad entre la caracterización y los productos geoespaciales

La consolidación final vinculó los resultados de la caracterización ambiental con las capas temáticas, los documentos de mapa y los productos cartográficos, manteniendo la correspondencia entre la información técnica y su representación espacial.

La geodatabase temática integra los resultados de los componentes físico, biótico, climático, hidrológico y de sensibilidad ambiental, mientras que la geodatabase de cartografía base proporciona los elementos territoriales necesarios para su representación y contextualización. La Tabla 10 sintetiza la relación entre los resultados de la caracterización y los productos geoespaciales generados.

Tabla 10 Síntesis de la relación entre los componentes de la caracterización y los productos geoespaciales

Componente	Principal resultado	Producto geoespacial
Coberturas y sensibilidad biótica	Distribución de coberturas y niveles de sensibilidad	Mapas de coberturas y sensibilidad
Geología y geomorfología	Unidades geológicas, geomorfológicas y condiciones de favorabilidad	Mapas geológicos y geomorfológicos
Pendientes y geotecnia	Condiciones morfométricas, estabilidad y aptitud física	Mapas de pendientes y zonificación geotécnica
Hidrogeología	Unidades hidrogeológicas y condiciones relativas asociadas a las aguas subterráneas	Mapa hidrogeológico
Climatología	Distribución de precipitación, temperatura y zonas climáticas	Mapa de zonificación climática

Componente	Principal resultado	Producto geoespacial
Hidrología	Unidades hidrográficas y sistemas de drenaje	Mapas y productos hidrológicos
Síntesis geosférica	Integración de condiciones físicas y aptitud relativa	Mapa de síntesis física
Sensibilidad ambiental territorial	Integración de criterios de exclusión y restricciones	Mapa de sensibilidad y zonificación preliminar de restricciones

Fuente: Elaboración propia a partir de los productos geoespaciales desarrollados para el estudio. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

Esta estructura mantiene la correspondencia entre los análisis ambientales, la información geográfica y los productos cartográficos, y proporciona una base común para la interpretación territorial y la evaluación posterior de las alternativas de localización.

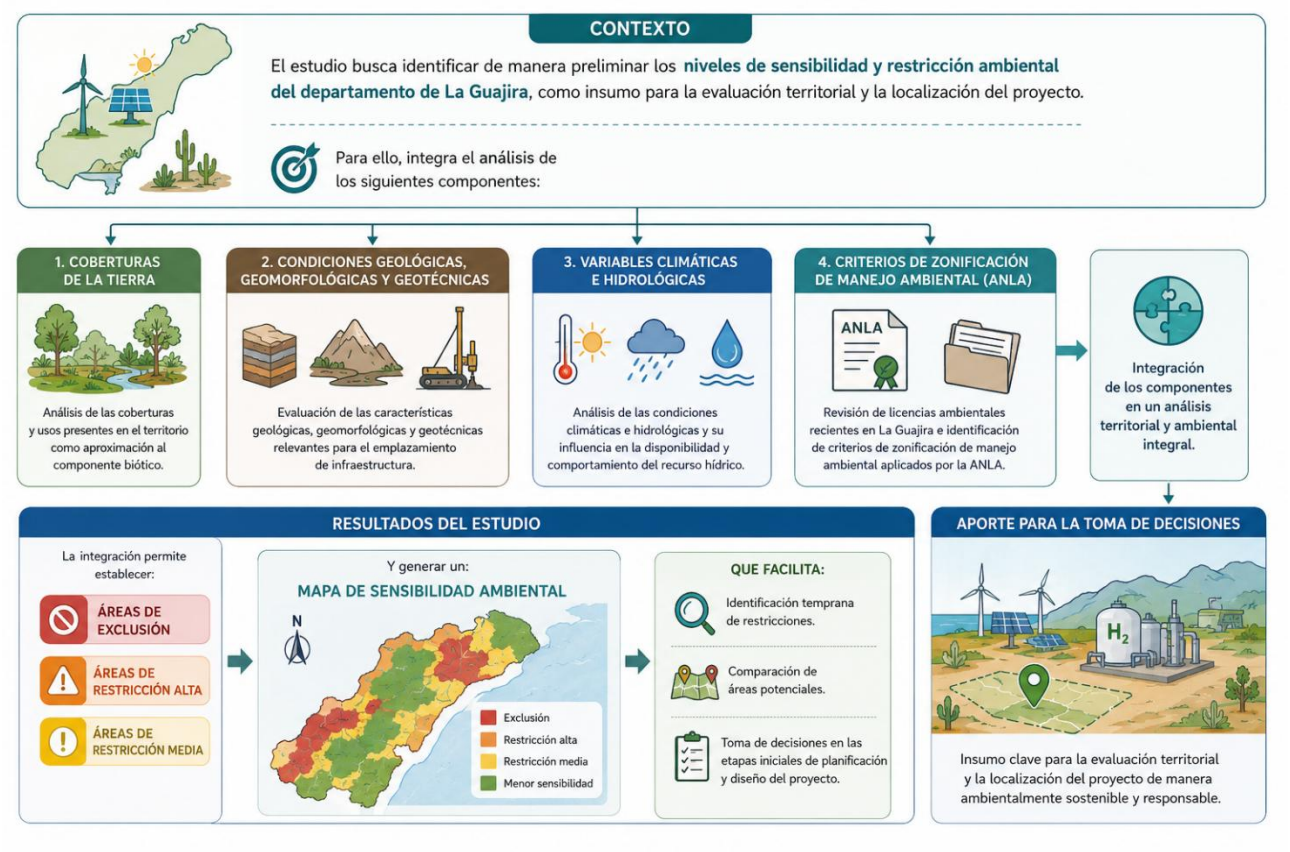
3 Caracterización Ambiental y Sensibilidad Territorial de la Guajira.

Esta sección presenta la caracterización ambiental utilizada para interpretar las condiciones del territorio y evaluar preliminarmente su sensibilidad frente a la localización de la infraestructura de AkuaippaHy. La caracterización complementa el diagnóstico regulatorio y se apoya en la información geoespacial consolidada para reconocer la distribución territorial de los principales condicionantes físicos y bióticos.

La evaluación integró el análisis de las coberturas de la tierra, las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas, y las variables climáticas e hidrológicas. Como referencia complementaria se revisaron criterios de zonificación de manejo contenidos en licencias ambientales recientes del departamento; su aplicación a AkuaippaHy dependerá de la pertinencia territorial y técnica de cada criterio.

La integración de estos componentes permitió clasificar preliminarmente el territorio en áreas de exclusión, restricción alta y restricción media, y generar un mapa de sensibilidad ambiental que facilite la identificación temprana de restricciones, la comparación de áreas potenciales y la toma de decisiones durante las etapas iniciales de planificación y diseño del proyecto.

Ilustración 6 Enfoque metodológico para la evaluación de la sensibilidad ambiental del territorio



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

3.1 Medio biótico

La caracterización de las coberturas de la tierra se realizó con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), a partir de imágenes satelitales del periodo 2020–2024, herramientas SIG y verificación en campo. El análisis se desarrolló a escala 1:25.000 y permitió valorar la sensibilidad biótica de las coberturas identificadas. La resume los principales grupos y su sensibilidad relativa.

Tabla 11 resume los principales grupos y su sensibilidad relativa.

Tabla 11 Principales coberturas de la tierra y su sensibilidad biótica en el área de estudio

Grupo de cobertura	Representatividad / referencia	Sensibilidad	Relevancia ambiental
Coberturas naturales y seminaturales	Predominantes	Media – Muy alta	Categoría agregada que comprende coberturas con funciones asociadas a biodiversidad, conectividad ecológica, regulación hídrica y soporte de ecosistemas.
Coberturas boscosas	Bosques abiertos bajos: 3,92 %; Bosques de galería y riparios: 3,96 %	**Muy alta**	Ecosistemas estratégicos para biodiversidad, regulación hídrica y conectividad.
Herbazales	Participación importante	Media – Alta	Asociados a procesos de sucesión ecológica y soporte de biodiversidad.
Tierras desnudas y degradadas	7,77%	**Baja**	Sectores con mayor intervención y menor funcionalidad ecológica relativa.
Territorios artificializados	1,54%	Baja	Asociados con urbanización, infraestructura y transformación del territorio.

Grupo de cobertura	Representatividad / referencia	Sensibilidad	Relevancia ambiental
Zonas de extracción minera	0,76%	Baja	Cobertura antrópica que evidencia transformación y presión sobre el uso del suelo.
Superficies de agua	0,92%	—	Baja representatividad, pero alta importancia para regulación hídrica y ecosistemas asociados.

Fuente: Elaboración propia con base en la interpretación de coberturas y en la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010). Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La caracterización permitió identificar una alta representatividad de coberturas naturales y ecosistemas de importancia ecológica, junto con sectores intervenidos y coberturas de menor sensibilidad. Esta información constituye un insumo para establecer niveles diferenciados de sensibilidad y restricción ambiental y orientar la evaluación territorial y la comparación de alternativas de localización del proyecto.

La clasificación de sensibilidad ambiental de las coberturas de la tierra, realizada tomando como referencia la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, evidencia un territorio con una importante presencia de ecosistemas naturales y seminaturales. La categoría de sensibilidad alta representa la mayor proporción del área de estudio, con 918.119,35 ha (44,65 %), seguida de la sensibilidad media, con 515.863,89 ha (25,09 %), y la sensibilidad muy alta, con 311.284,34 ha (15,14 %). En conjunto, las áreas con sensibilidad alta y muy alta representan aproximadamente el 60 % del territorio, reflejando la importancia ecológica de las coberturas naturales y seminaturales y sus funciones asociadas a la biodiversidad, regulación hídrica, provisión de hábitat y conectividad ecológica.

Las áreas de sensibilidad media (25,09 %) corresponden principalmente a coberturas parcialmente transformadas o con dinámicas sucesionales intermedias, en las que persisten funciones ecosistémicas y oportunidades para el manejo sostenible y el fortalecimiento de la conectividad. Por su parte, las categorías de sensibilidad baja (13,59 %) y muy baja (1,53 %) se concentran en áreas con mayor grado de intervención, uso productivo o transformación artificial, donde la relevancia ecológica relativa es menor.

Espacialmente, los niveles de muy alta sensibilidad se concentran principalmente en sectores asociados a la Serranía de la Macuira, en el norte del departamento, y a la transición de ecosistemas y gradientes de humedad de la Sierra Nevada de Santa Marta, al sur. Las áreas de alta sensibilidad se encuentran ampliamente distribuidas y corresponden, entre otras, a arbustales densos y abiertos y herbazales arbolados, característicos de las condiciones áridas y xerofíticas de La Guajira. La distribución obtenida muestra que la sensibilidad biótica es un criterio relevante para comparar áreas de localización, pero las categorías asignadas no determinan por sí solas una exclusión o una declaración de viabilidad ambiental. La Tabla 12 presenta la clasificación general

Tabla 12 Síntesis de la sensibilidad ambiental de las coberturas de la tierra

Sensibilidad	Características principales	Área (ha)	Área (%)
Muy alta	Coberturas naturales estratégicas, con alta integridad ecológica y funciones ecosistémicas críticas.	311.284,34	15,14%
Alta	Ecosistemas naturales o seminaturales de importancia ecológica, con funciones ambientales relevantes.	918.119,35	44,65%
Media	Coberturas parcialmente transformadas, con funciones ecosistémicas moderadas y capacidad de recuperación.	515.863,89	25,09%
Baja	Áreas intervenidas o de uso productivo, con funciones ecológicas modificadas y menor sensibilidad relativa según los criterios aplicados.	279.375,52	13,59%
Muy baja	Coberturas altamente transformadas o artificializadas, con menor relevancia ecológica relativa.	31.545,43	1,53%
Total		**2.056.188,51**	**100%**

Fuente: Elaboración propia a partir de la valoración de coberturas realizada para el estudio, con base en IDEAM (2010). Óptima Consultores S.A.S. (2026).

El 84,88 % del área de estudio presenta sensibilidad ambiental entre media y muy alta, mientras que únicamente el 15,12 % corresponde a áreas de sensibilidad baja o muy baja.

3.2 Medio físico - componentes geosféricos

La caracterización física integró los componentes geológico, geomorfológico e hidrogeológico mediante cartografía a escala 1:100.000, información del Servicio Geológico Colombiano, modelos digitales de elevación y análisis geoespacial. Los resultados permiten reconocer diferencias territoriales útiles para una evaluación preliminar, pero deberán verificarse en los sitios que se prioricen.

Desde el componente geológico, La Guajira presenta una alta complejidad tectónica y litológica, asociada a la interacción de las placas Caribe y Suramericana y a la presencia de los dominios de la Península de La Guajira, la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá–valle Cesar-Ranchería.

Ilustración 7 Favorabilidad geológica preliminar



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La evaluación identificó condiciones de mayor favorabilidad relativa en depósitos cuaternarios, especialmente terrazas y planicies aluviales, y en rocas sedimentarias del Terciario, de acuerdo con los criterios geológicos y topográficos aplicados. Las rocas metamórficas presentan favorabilidad media, mientras que las unidades ígneas y algunas sedimentitas jurásicas y triásicas presentan menor favorabilidad relativa, asociada principalmente a pendientes, meteorización y condiciones de estabilidad. Esta clasificación regional deberá verificarse mediante estudios geológicos y geotécnicos específicos para los sitios y componentes seleccionados.

El componente geomorfológico evidenció una marcada diversidad de paisajes, resultado de la interacción de procesos tectónicos, denudativos, eólicos, marino-costeros y aluviales. El análisis morfométrico mostró que las pendientes bajas (0–7

%) predominan en llanuras aluviales y costeras, mientras que las mayores pendientes se concentran en los sistemas montañosos, constituyendo un factor relevante para la evaluación preliminar de las condiciones del terreno.

El análisis hidrogeológico organizó las unidades según sus condiciones de porosidad y permeabilidad, con base en los insumos geológicos e hidrogeológicos utilizados por el estudio. Se identificaron sistemas asociados principalmente a depósitos aluviales, formaciones sedimentarias porosas y unidades fracturadas en sectores montañosos.

La disponibilidad y la dinámica del agua subterránea varían entre la Alta, Media y Baja Guajira. En esta fase, la hidrogeología se utilizó como un criterio de potencial relativo y no como prueba de disponibilidad para abastecer el proyecto. Cualquier aprovechamiento deberá demostrar cantidad, calidad y sostenibilidad mediante estudios específicos. La Tabla 13 resume las unidades identificadas.

Tabla 13 Síntesis de Unidades hidrogeológicas del área de estudio

Calificación	Potencial de agua subterránea	Unidades principales	Relevancia para la localización
1 – Muy baja	Muy bajo o nulo	Rocas ígneas y metamórficas	Menor potencial relativo, sujeto a las condiciones de fracturamiento y meteorización de las unidades.
2 – Baja	Bajo	Unidades con limitada capacidad hidrogeológica	Condiciones menos favorables para el aprovechamiento de agua subterránea.
4 – Alta	Alto	Rocas sedimentarias, areniscas y rocas calcáreas	Condiciones relativamente favorables para la presencia de acuíferos, sujetas a verificación hidrogeológica.
5 – Muy alta	Muy alto	Sedimentos cuaternarios	Mayor potencial hidrogeológico relativo según la clasificación aplicada, sujeto a verificación de disponibilidad, calidad y sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia con base en la cartografía geológica e hidrogeológica del Servicio Geológico Colombiano (2016, 2023). Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La zonificación geotécnica integró variables de litología, pendiente, morfodinámica y condiciones geomorfológicas, permitiendo identificar sectores con condiciones relativas diferenciadas para la implantación de infraestructura. Los resultados indican una mayor favorabilidad preliminar en zonas aluviales y sedimentarias recientes, mientras que las áreas montañosas con pendientes elevadas pueden presentar mayores requerimientos de evaluación, estabilización y manejo. En la Tabla 14 sintetiza el componente geosférico y la favorabilidad física relativa del territorio.

Tabla 14 Síntesis integrada del componente geosférico

Nivel de favorabilidad física	Principales condiciones territoriales	Implicación para la localización
Mayor favorabilidad	Planicies aluviales, terrazas cuaternarias y unidades sedimentarias terciarias	Condiciones preliminarmente favorables según los criterios regionales aplicados, sujetas a la evaluación de amenazas y condiciones geotécnicas locales
Favorabilidad intermedia	Sectores con condiciones geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas o geotécnicas intermedias	Requieren evaluación detallada y medidas de manejo
Menor favorabilidad	Zonas montañosas estructurales, litologías ígneas y metamórficas altamente meteorizadas y pendientes pronunciadas	Mayores condicionamientos físicos y posibles requerimientos de estabilización

Fuente: Elaboración propia con base en la caracterización geológica, geomorfológica, hidrogeológica y geotécnica del estudio. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

3.3 Medio físico – componentes climatológico e hidrológico

- **Caracterización climática**

La caracterización climática se elaboró a partir de series históricas de estaciones meteorológicas del IDEAM. Se revisaron la completitud y homogeneidad de los registros, los valores atípicos y los datos faltantes. Los resultados describen un clima predominantemente cálido, árido a semiárido y con marcada estacionalidad, condicionado por la dinámica de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

El régimen de precipitación presenta bajos acumulados y alta variabilidad temporal, con concentración de las lluvias en los periodos abril–junio y septiembre–noviembre. Espacialmente, los mayores acumulados se concentran hacia el occidente y suroccidente del departamento, asociados principalmente a la influencia orográfica de la Sierra Nevada de Santa Marta, mientras que los sectores norte, centro y nororiental presentan menores precipitaciones.

Las condiciones térmicas en el departamento son relativamente homogéneas y cálidas durante el año, con temperaturas ligeramente menores hacia el occidente y suroccidente debido a la influencia de la altitud. Estas condiciones, combinadas con una evapotranspiración potencial elevada, producen déficits hídricos climáticos recurrentes durante los periodos secos.

La Tabla 15 resume el comportamiento regional de las variables analizadas. El brillo solar presenta valores medios anuales entre 6,5 y 8,4 horas por día, con los registros más altos principalmente en estaciones cercanas a la costa; estos valores constituyen una referencia preliminar para el análisis del recurso solar.

Tabla 15 Variables climáticas

Variable	Comportamiento regional	Implicación
Precipitación	Baja, estacional y variable; mayores acumulados al occidente y suroccidente	Condiciona el balance hídrico y la disponibilidad relativa del recurso superficial
Temperatura	Condiciones cálidas durante todo el año, con variaciones espaciales asociadas a la altitud	Alta demanda evaporativa
Evapotranspiración	Elevada, cercana a 1.500–1.800 mm/año	Déficit hídrico recurrente
Brillo solar	Alto; aproximadamente 6,5–8,4 h/día	Referencia regional para la evaluación preliminar del recurso solar
Viento	Predominio E–ENE, velocidades medias cercanas a 5,8 m/s	Referencia regional para la evaluación preliminar del recurso eólico

Fuente: Elaboración propia con base en series históricas oficiales del IDEAM consultadas mediante DHIME. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

- **Balance hídrico y vientos**

El balance hídrico evidencia un déficit hídrico recurrente, debido a que la evapotranspiración potencial supera la precipitación durante buena parte del año. Las lluvias se concentran en periodos específicos, generando excedentes temporales y respuestas rápidas de escorrentía, mientras que durante los periodos secos el almacenamiento hídrico disminuye rápidamente. El régimen de vientos presenta predominio de las direcciones E–ENE, asociadas a los vientos alisios, con velocidades medias cercanas a 5,8 m/s .Este comportamiento constituye una referencia regional para el análisis del potencial eólico e influye en las condiciones de dispersión atmosférica.

El balance hídrico muestra un déficit recurrente, porque la evapotranspiración potencial supera la precipitación durante buena parte del año. Las lluvias se concentran en periodos específicos y generan excedentes temporales y respuestas rápidas de escorrentía; durante los periodos secos, el almacenamiento disminuye con rapidez. Predominan los vientos E–ENE,

- **Hidrología**

La hidrología regional se caracteriza por una red de drenaje predominantemente intermitente y estacional, conformada principalmente por arroyos y corrientes que presentan flujo durante los periodos lluviosos. Esta condición responde al régimen climático árido y semiárido y a la concentración temporal de las precipitaciones.

En el análisis se incluyeron las principales unidades hidrográficas de la zona reconocidas por el IDEAM, entre ellas los arroyos Uareteha, Mouasiro, Juluapua y Taray, el río Paraguachón y los drenajes directos al Caribe, así como parámetros morfométricos relacionados con el área, perímetro, densidad de drenaje, sinuosidad y configuración de la red hidrográfica.

Los resultados muestran baja permanencia de caudales, periodos prolongados de estiaje y respuestas rápidas ante lluvias intensas, condiciones que pueden favorecer avenidas súbitas en cauces intermitentes. El sistema superficial incluye corrientes temporales y cuerpos de almacenamiento, algunos con influencia marina y condiciones salobres. La Tabla 16 presenta las características hidrológicas identificadas.

Tabla 16 Características hidrológicas

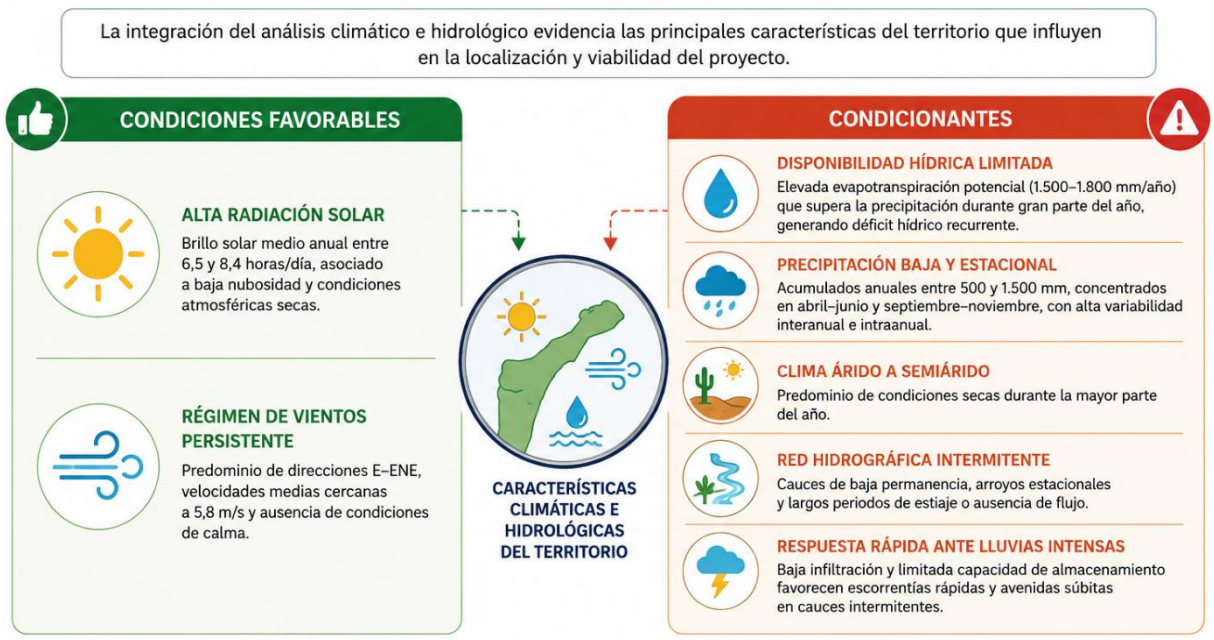
Aspecto	Resultado principal
Régimen hidrológico	Intermitente y estacional
Drenaje	Predominio de arroyos y drenajes costeros directos
Respuesta a lluvias	Rápida, con potencial de avenidas súbitas
Periodos secos	Largos periodos de estiaje o ausencia de flujo
Cuerpos de agua	Sistemas lóticos temporales y sistemas lénticos dispersos
Gestión	Varias unidades hidrográficas no cuentan con POMCA adoptado

Fuente: Elaboración propia con base en información hidrológica del IDEAM (2023) y en los instrumentos de ordenación de cuencas consultados para el estudio. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

- Síntesis climática e hidrológica

La caracterización climática e hidrológica evidencia un territorio con condiciones regionales relevantes para el aprovechamiento de los recursos solar y eólico, pero con limitaciones estructurales asociadas a la disponibilidad y regulación del recurso hídrico. La precipitación baja y estacional, la elevada evapotranspiración y el carácter intermitente de la red hidrográfica constituyen factores relevantes para la planificación de proyectos intensivos en agua.

Ilustración 8 Síntesis del análisis ambiental del territorio



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

- **Integración del análisis ambiental territorial**

La integración permite reconocer dónde coinciden condiciones relativamente favorables y dónde la superposición de restricciones aumenta la complejidad de localización, como se resume en la Tabla 17.

Tabla 17 Síntesis del análisis ambiental del territorio

Componente	Aspectos evaluados	Principal resultado	Aporte a la evaluación territorial
Medio biótico	Coberturas de la tierra y sensibilidad ambiental	Predominio de coberturas naturales y seminaturales; cerca del 60 % del área presenta sensibilidad alta o muy alta.	Identifica las principales restricciones ecológicas y áreas de mayor sensibilidad.
Medio geosférico	Geología, geomorfología, pendientes, geotecnia e hidrogeología	Mayor favorabilidad física relativa en terrazas cuaternarias y unidades sedimentarias; mayores limitaciones en zonas montañosas y de pendiente pronunciada.	Permite diferenciar preliminarmente las condiciones físicas del territorio.
Climático e hidrológico	Precipitación, temperatura, radiación solar, vientos, balance hídrico y red hidrográfica	Condiciones regionales favorables para los recursos solar y eólico, pero disponibilidad hídrica limitada, precipitación estacional y drenajes intermitentes.	Identifica condiciones energéticas regionales y condicionantes asociados al recurso hídrico.
Integración territorial	Superposición y análisis conjunto de los componentes	Identificación de sectores donde convergen condiciones favorables y restricciones ambientales, físicas e hídricas.	Orienta la priorización y comparación preliminar de alternativas de localización.

Fuente: Elaboración propia a partir de la integración de los componentes biótico, geosférico, climático e hidrológico del estudio. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La integración de los componentes permite identificar áreas donde coinciden menor sensibilidad biótica, mayor aptitud física y condiciones hídricas relativamente favorables, así como sectores donde la superposición de restricciones incrementa la complejidad para el emplazamiento del proyecto.

3.4 Sensibilidad ambiental del territorio

La sensibilidad ambiental del departamento de La Guajira se determinó mediante la revisión de siete (7) proyectos licenciados recientemente por la ANLA, seleccionados considerando su representatividad espacial, vigencia de las licencias y diversidad sectorial. Los proyectos analizados corresponden a un proyecto de transporte de hidrocarburos, dos parques eólicos y cuatro líneas de transmisión eléctrica, a partir de cuyos actos administrativos se revisaron las respectivas Zonificaciones de Manejo Ambiental.

La revisión permitió identificar 26 criterios de sensibilidad ambiental, clasificados en áreas de exclusión, intervención con restricción alta e intervención con restricción media. La espacialización de estos criterios se realizó mediante un análisis por máximos, tomando como referencia las categorías de manejo establecidas previamente por la autoridad ambiental.

La zonificación evidencia una alta sensibilidad ambiental del territorio departamental, con más del 99 % del área clasificada como exclusión o intervención con restricción alta. Estas categorías se relacionan principalmente con la presencia de ecosistemas estratégicos, áreas protegidas, rondas hídricas, zonas de inundación y áreas con amenazas naturales, que representan los principales condicionantes para la localización de infraestructura industrial.

La Tabla 18 presenta las diferencias municipales identificadas. Dibulla y Riohacha tienen la totalidad de su territorio en categorías de exclusión o restricción alta; en Dibulla, además, se concentra la mayor proporción de áreas de exclusión por la influencia de la Sierra Nevada de Santa Marta. Manaure y Maicao presentan proporciones de exclusión inferiores al 25 %, mientras que algunos municipios del sur muestran una participación relativa mayor de áreas con restricción media o baja.

Tabla 18 Síntesis de los resultados de sensibilidad ambiental por territorio

Ámbito	Resultado principal
Departamento de La Guajira	> **99 %** del territorio en exclusión o restricción alta
Dibulla	Alta proporción de exclusión; totalidad del municipio en exclusión o restricción alta
Riohacha	Totalidad del municipio en exclusión o restricción alta
Manaure y Maicao	Menor proporción de áreas de exclusión, inferior al 25 %
Municipios del sur	Mayor participación relativa de áreas con restricción media y baja

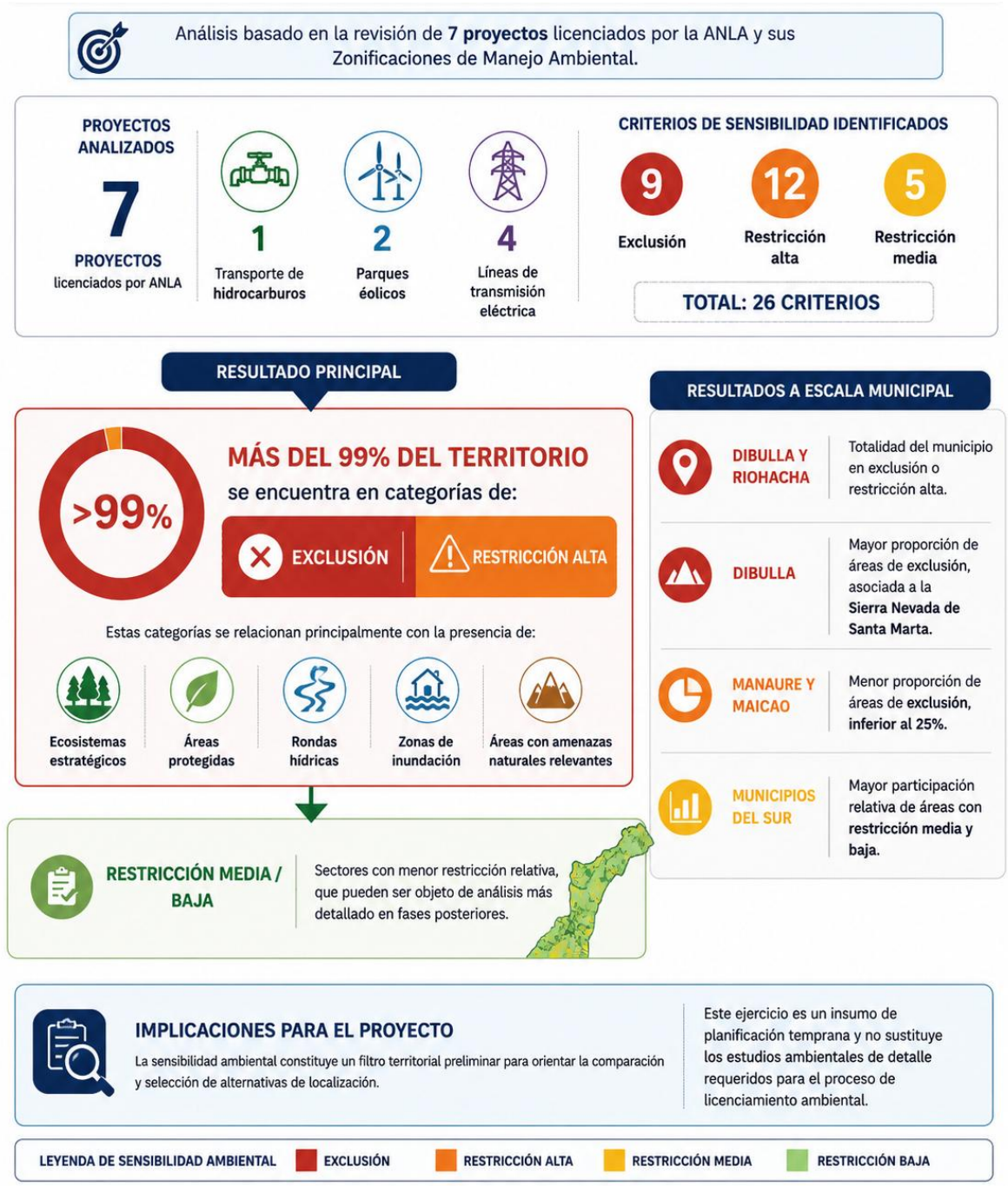
Fuente: Elaboración propia con base en la zonificación de sensibilidad construida a partir de los actos administrativos de siete proyectos licenciados por la ANLA y de los insumos territoriales del estudio. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

- **Implicaciones del proyecto**

Los resultados evidencian que la localización de infraestructura H_2V/PtX enfrenta condicionantes ambientales significativos en gran parte del departamento. Las áreas con restricción media y baja representan sectores relativamente más favorables para continuar con el análisis de alternativas, siempre que se incorporen medidas de manejo y se cumplan los requerimientos ambientales y regulatorios aplicables.

El mapa de sensibilidad constituye, por tanto, un insumo de planificación temprana para identificar sectores con menor restricción relativa y orientar la selección y comparación preliminar de áreas potenciales. En fases posteriores será necesario complementar y validar estos resultados mediante información primaria, trabajo de campo y estudios ambientales específicos.

Ilustración 9 Sensibilidad ambiental del territorio de la Guajira



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

3.5 Interpretación de resultados e implicaciones para el proyecto AkuaippaHy

Los análisis ambientales, físicos, hídricos y regulatorios desarrollados para el departamento de La Guajira permitieron construir una lectura territorial integrada de la sensibilidad ambiental, orientada a identificar condiciones favorables y restrictivas para el desarrollo del proyecto AkuaippaHy.

El mapa de sensibilidad evidencia una alta presencia de áreas con sensibilidad y restricción ambiental, asociadas principalmente a ecosistemas naturales y estratégicos, áreas protegidas, rondas hídricas, zonas con amenazas naturales y otros elementos de importancia ambiental. No obstante, el territorio presenta diferencias espaciales y se identifican sectores con restricción media y baja, generalmente relacionados con áreas con mayor transformación del paisaje o usos productivos consolidados.

Para la selección preliminar deberán priorizarse sectores con menor restricción y evitar áreas de exclusión o restricción alta. El mapa no define la localización final: reduce el universo de análisis y debe leerse junto con la disponibilidad de agua y energía, la conectividad logística, la infraestructura existente y las condiciones socioterritoriales. La Tabla 19, se presenta las condiciones identificadas para la toma de decisión de la localización preliminar del proyecto.

Tabla 19 Principales implicaciones para la localización

Aspecto	Resultado / condición identificada	Implicación para el proyecto
Sensibilidad ambiental	Alta presencia de áreas de exclusión y restricción alta	Diferenciar las exclusiones jurídicamente aplicables de las restricciones y sensibilidades que requieren evaluación adicional.
Ecosistemas y biodiversidad	Presencia de ecosistemas naturales y estratégicos	Minimizar la fragmentación y afectación de hábitats y funciones ecosistémicas.
Recurso hídrico	Condiciones áridas, disponibilidad hídrica limitada y alta demanda potencial del proyecto	Evaluar tempranamente la disponibilidad, calidad y sostenibilidad de las fuentes de abastecimiento.
Condiciones físicas	Sectores con diferentes condiciones geotécnicas, geomorfológicas y de amenaza	Profundizar la evaluación de estabilidad, inundación, erosión y condiciones constructivas.
Condiciones socio-territoriales	Presencia de comunidades y territorios étnicos	Incorporar tempranamente aspectos de participación, gestión territorial y requerimientos sociales aplicables.
Localización	Sectores con restricción media y baja representan áreas de interés preliminar	Utilizarlos como punto de partida para la comparación y evaluación detallada de alternativas.

Fuente: Elaboración propia a partir de la caracterización ambiental, la zonificación de sensibilidad y el análisis territorial del estudio. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

El análisis orienta la selección temprana de áreas potenciales mediante la identificación de sectores con menor restricción relativa. Sus resultados corresponden a una herramienta de planificación regional y deberán validarse con información primaria, trabajo de campo, análisis específicos para cada componente de infraestructura y los estudios ambientales requeridos para la definición y el licenciamiento del proyecto.

4 Evaluación ambiental comparativa de Alternativas

La evaluación ambiental constituye un insumo para la comparación de las alternativas de localización del proyecto AkuaippaHy, al permitir identificar y valorar los principales impactos, riesgos y condicionantes asociados a cada configuración territorial. El análisis complementa los criterios técnicos, logísticos y económicos considerados para definir cuál alternativa reúne mejores condiciones relativas para avanzar a factibilidad y estudios de mayor detalle.

Para el proyecto AkuaippaHy se evaluaron dos configuraciones territoriales, considerando el conjunto de infraestructura requerido para su desarrollo, incluyendo generación de energía renovable, transmisión eléctrica, producción de hidrógeno verde y e-metanol, aprovechamiento de CO_2 biogénico, infraestructura portuaria, abastecimiento de agua y obras auxiliares.

La evaluación aplicó una metodología común a las dos alternativas e incluyó las etapas de preconstrucción, construcción, operación y desmantelamiento. También se revisaron los riesgos ambientales asociados a eventos que podrían afectar el entorno natural o social. Los resultados permiten reconocer diferencias en la naturaleza y distribución territorial de los impactos potenciales, así como los componentes que requieren mayor profundización antes de seleccionar una alternativa.

Ilustración 10 Objetivos de la evaluación ambiental comparativa



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

4.1 Metodología de evaluación ambiental

La evaluación ambiental comparativa se desarrolló bajo un enfoque de ingeniería conceptual, con el propósito de identificar, valorar y comparar los impactos ambientales potenciales asociados a las dos alternativas de configuración territorial del proyecto AkuaippaHy. El ejercicio no corresponde a un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), sino a una evaluación preliminar orientada a identificar diferencias en el desempeño ambiental y apoyar la selección de la alternativa que deberá profundizarse en las siguientes etapas.

.

El análisis consideró la totalidad de los componentes requeridos para el desarrollo del complejo de producción de hidrógeno verde y e-metanol, incluyendo generación de energía renovable, transmisión eléctrica, complejo industrial, abastecimiento de agua, suministro de CO_2 biogénico, infraestructura portuaria y obras auxiliares. Para cada alternativa se evaluaron las etapas de preconstrucción, construcción, operación y desmantelamiento, considerando sus posibles efectos sobre los medios abiótico, biótico y socioeconómico.

La evaluación relacionó las actividades del proyecto con los componentes ambientales que podrían verse afectados. Luego se aplicó una valoración semicuantitativa, adaptada de Conesa (2010) y Arboleda (2008) y ajustada a los criterios definidos para este estudio. Así fue posible comparar las dos alternativas con una misma escala de análisis.

La comparación se orientó a identificar impactos, riesgos y condicionantes diferenciales, sin sustituir los estudios de línea base, evaluación de impactos y definición de medidas de manejo requeridos en etapas posteriores.

Ilustración 11 Metodología de evaluación ambiental



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

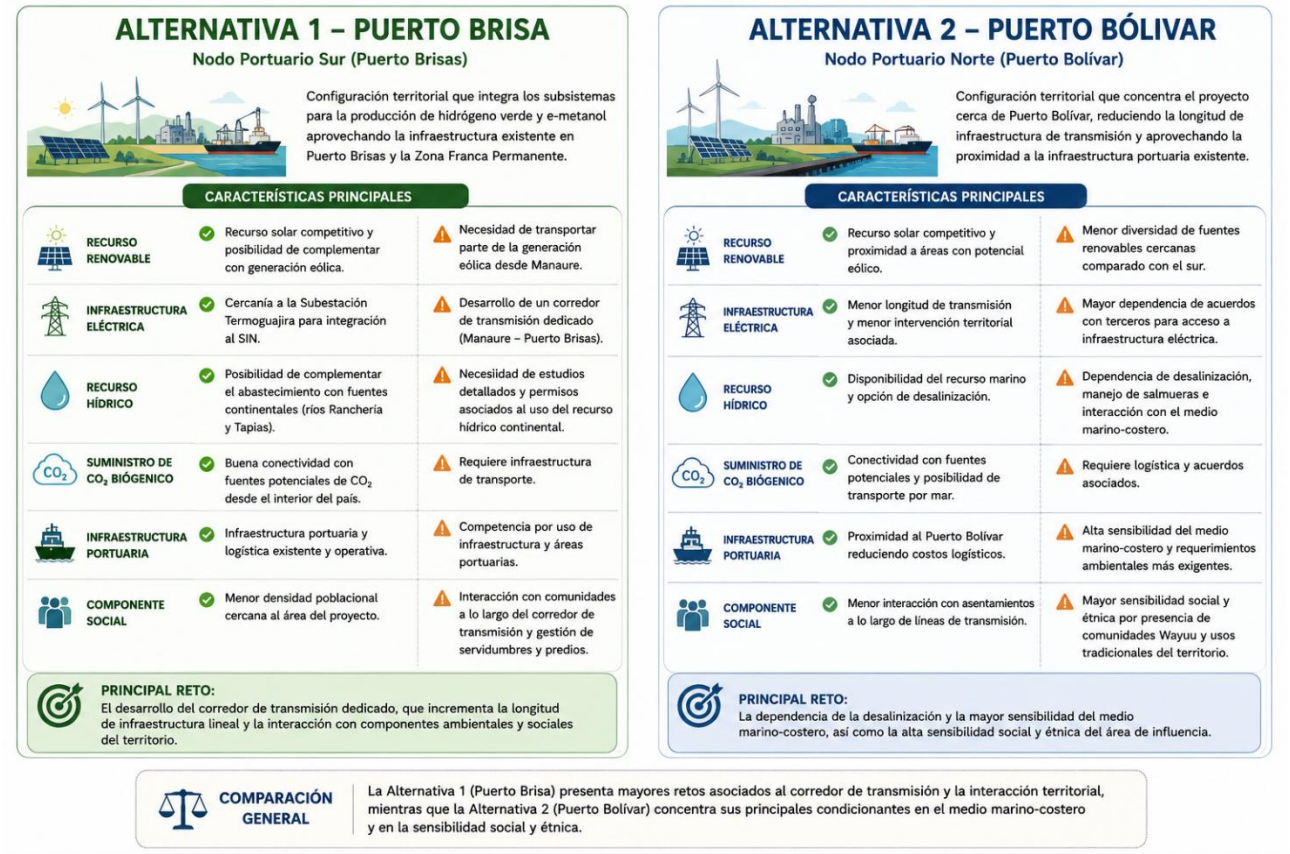
4.2 Evaluación ambiental de las alternativas

La evaluación ambiental se desarrolló de manera independiente para las dos alternativas del proyecto AkuaippaHy y posteriormente se realizó una comparación de sus principales impactos, riesgos y condicionantes ambientales y sociales. El análisis consideró las etapas de construcción, operación y desmantelamiento, así como los componentes asociados a generación renovable, transmisión eléctrica, producción de hidrógeno verde y e-metanol, abastecimiento de agua, suministro de CO_2 biogénico, infraestructura portuaria y obras auxiliares.

La Alternativa 1 – Puerto Brisa presenta ventajas relacionadas con la disponibilidad de infraestructura portuaria y logística existente, la posibilidad de complementar el abastecimiento hídrico mediante fuentes continentales y una conexión favorable con infraestructura energética y fuentes potenciales de CO_2 biogénico. Su principal condicionante corresponde al corredor de transmisión Manaure–Puerto Brisa, cuya mayor longitud incrementa la ocupación territorial y la interacción con coberturas naturales, predios, comunidades y ecosistemas.

La Alternativa 2 – Puerto Bolívar presenta como principal ventaja una configuración más concentrada, con menor longitud de infraestructura de transmisión y, por tanto, menor intervención territorial asociada a obras lineales. Sin embargo, concentra mayores condicionantes en el medio marino-costero, debido a la dependencia de la desalinización, el manejo de salmueras y la interacción con la infraestructura portuaria. Además, presenta una mayor interacción potencial con comunidades Wayuu y usos tradicionales del territorio, así como una mayor dependencia de acuerdos con terceros para el acceso a infraestructura portuaria y eléctrica.

Ilustración 12 Características principales de alternativas evaluadas



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La Tabla 20 compara las principales condiciones bióticas, físicas, socioeconómicas y de riesgo identificadas para las alternativas.

Tabla 20 Comparación de condiciones bióticas, socioeconómicas y riesgos

Aspecto	Alternativa 1 – Puerto Brisa	Alternativa 2 – Puerto Bolívar
Medio biótico	Mayor exposición asociada a la extensión del corredor de transmisión, con potencial transformación de coberturas y afectación de hábitats.	Mayor intervención potencial sobre coberturas naturales, estimada en 672,18 ha (6,04 %), dentro del ámbito evaluado.
Dinámica física asociada	Posibles alteraciones de drenajes, erosión y sedimentación relacionadas con la infraestructura terrestre y lineal.	Posibles alteraciones de drenajes, erosión y sedimentación asociadas a las intervenciones requeridas.
Componente socioeconómico	Principales retos relacionados con la gestión predial, servidumbres y relacionamiento con comunidades a lo largo del corredor de transmisión.	Mayor interacción potencial con comunidades Wayuu, usos tradicionales del territorio y áreas que podrían requerir la determinación de procedencia de consulta previa.
Riesgos comunes	Sustancias peligrosas, derrames, ocupación territorial y relacionamiento social.	Sustancias peligrosas, derrames, ocupación territorial y relacionamiento social.
Riesgos diferenciales	Mayor exposición asociada a la intervención terrestre y la infraestructura lineal.	Mayor exposición asociada a la captación y desalinización de agua de mar, manejo de salmueras, sensibilidad social y dependencia de infraestructura de terceros.
Principal reto	Manejar los efectos territoriales, ambientales y sociales derivados del corredor de transmisión.	Gestionar la interacción marino-costera y social/étnica, junto con los requerimientos asociados a la desalinización.

Fuente: Elaboración propia a partir de la evaluación ambiental comparativa de las dos alternativas. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La comparación muestra perfiles de condicionamiento diferentes: Puerto Brisa concentra mayores retos asociados al corredor terrestre y la infraestructura lineal, mientras que Puerto Bolívar concentra retos marino-costeros, sociales y de articulación con infraestructura de terceros.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** reúne las condiciones ambientales que comparten las dos alternativas. Las diferencias se explican principalmente por la localización, la longitud de la infraestructura de transmisión y la interacción con el medio marino y el componente social.

Tabla 21 Condiciones ambientales comunes a las alternativas

Medio / factor	Condición común en ambas alternativas	Implicación ambiental común
Recurso energético	Disponibilidad de recursos renovables solar y eólico para el abastecimiento energético del proyecto.	Permite sustentar la producción de hidrógeno verde, pero requiere considerar la interacción de la infraestructura energética con el territorio.
Medio físico terrestre	Presencia de suelos y terrenos susceptibles de intervención por la implantación del complejo industrial y la infraestructura eléctrica.	Las obras pueden generar movimientos de tierra, compactación, modificación del drenaje, erosión y ocupación permanente del suelo.
Recurso hídrico	Abastecimiento de agua para el proceso industrial.	Se requiere una gestión adecuada del recurso hídrico, incluyendo captación, tratamiento, consumo y manejo de efluentes.
Medio marino-costero	Interacción con el medio marino-costero, principalmente por su localización portuaria y actividades asociadas al abastecimiento de agua y operación portuaria.	Se deben controlar las posibles alteraciones sobre la calidad del agua, ecosistemas acuáticos e hidrobiota.

Medio / factor	Condición común en ambas alternativas	Implicación ambiental común
Coberturas vegetales y hábitats	Presencia de coberturas naturales y seminaturales, incluyendo ecosistemas xerofíticos y hábitats para flora y fauna.	La implantación de infraestructura puede generar remoción de cobertura, transformación de hábitats y afectación de la conectividad ecológica.
Fauna	Presencia potencial de fauna aérea y terrestre	Las actividades constructivas y la operación de infraestructura pueden generar perturbación, desplazamiento y riesgos de interacción con fauna.
Infraestructura de transmisión	Infraestructura de transmisión eléctrica para conectar la generación renovable con el complejo industrial.	Genera intervención del territorio, establecimiento de servidumbres y potenciales efectos sobre suelo, cobertura vegetal, paisaje, fauna y comunidades.
Infraestructura portuaria	Articulación con infraestructura portuaria existente para las actividades logísticas y de exportación.	Reduce la necesidad de construir infraestructura portuaria completamente nueva, pero genera interacciones asociadas al tráfico, operación logística, ruido, emisiones y posibles contingencias.
Componente socioeconómico	Presencia de comunidades y actores territoriales	Se requiere gestión social temprana, participación, gestión predial, manejo de expectativas y, cuando corresponda, procesos de consulta previa.
Uso y ocupación del territorio	Ocupación del territorio para infraestructura industrial, energética, hídrica y logística.	Puede generar cambios en el uso del suelo, restricciones, conflictos por usos existentes y modificación del paisaje.
Calidad del aire y ruido	Las etapas de construcción y operación generan potenciales emisiones atmosféricas, material particulado y ruido.	Se requiere manejo y seguimiento de las emisiones y niveles de presión sonora, especialmente durante las actividades constructivas y logísticas.

Fuente: Elaboración propia a partir de la evaluación ambiental comparativa de las dos alternativas. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La Tabla 22 resume las condiciones críticas de cada alternativa. En Puerto Brisa, el principal reto es la gestión territorial de la infraestructura lineal; en Puerto Bolívar, la atención se concentra en el medio marino, la desalinización y el componente social.

Tabla 22 Exclusiones y condiciones críticas de las alternativas

	Puerto Brisa	Puerto Bolívar
Principal característica territorial	Mayor extensión terrestre por la línea de transmisión	Mayor concentración de infraestructura
Medio de mayor interacción	Terrestre	Marino-costero
Principal sensibilidad	Flora, fauna, paisaje, suelo y territorio	Agua marina, hidrobiota y componente social
Principal ventaja	Infraestructura y disponibilidad hídrica relativa	Línea de transmisión corta y proximidad al puerto
Principal reto	Corredor de transmisión	Desalinización y gestión social

Fuente: Elaboración propia a partir de la evaluación ambiental comparativa de las dos alternativas. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

4.3 Evaluación de impactos ambientales potenciales

La evaluación ambiental comparativa permitió identificar y valorar los impactos potenciales asociados a las dos alternativas del proyecto AkuaippaHy, considerando las etapas de preconstrucción, construcción, operación y desmantelamiento y los medios abiótico, biótico y socioeconómico. Las alternativas comparten la configuración tecnológica central del proceso productivo, pero difieren en la localización y disposición de la infraestructura asociada.

Para cada alternativa se identificaron 408 interacciones entre las actividades del proyecto y los componentes ambientales, de las cuales 341 corresponden a impactos negativos y 67 a impactos positivos. De los 341 impactos negativos identificados, se identificó que 63,3% corresponde a la fase de construcción y montaje. Predominan los impactos de importancia moderada e irrelevante, mientras que se identificaron 26 interacciones de importancia severa (7,6 %) y no se registraron impactos críticos.

Ilustración 13 Síntesis de impactos potenciales identificados para cada alternativa

ASPECTO	ALTERNATIVA 1 Puerto Brisas	ALTERNATIVA 2 Puerto Bolívar
Total de interacciones identificadas	408	408
Interacciones negativas evaluadas	341 (83,6 % del total)	341 (83,6 % del total)
Interacciones positivas	67 (16,4 % del total)	67 (16,4 % del total)
Principal fase de impacto (interacciones negativas)	Construcción y montaje (63,3 %)	Construcción y montaje (63,3 %)
Impactos severos (interacciones negativas)	26 (7,6 %)	26 (7,6 %)
Principal ámbito de condicionamiento	Medio terrestre e infraestructura lineal	Medio marino-costero y componente social
Principal reto ambiental	Línea de transmisión Manaure – Puerto Brisas y su interacción con coberturas naturales, predios, accesos y comunidades.	Captación y desalinización de agua de mar, manejo de salmueras y sensibilidad social y étnica (comunidades Wayuu).
Ventaja ambiental relativa	Menor presión sobre el medio marino y mayor flexibilidad asociada a la infraestructura portuaria.	Menor intervención terrestre por la menor longitud de la línea de transmisión.
Resultado general	Ambientalmente viable, condicionada al manejo de la infraestructura lineal.	Ambientalmente viable, condicionada al manejo del medio marino y social.

Nota metodológica: Para cada alternativa se identificaron 408 interacciones entre las actividades del proyecto y los componentes ambientales, de las cuales 341 corresponden a impactos negativos y 67 a impactos positivos. La valoración de importancia ambiental se concentró en los impactos negativos.

Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

Nota: La expresión «ambientalmente viable» incluida en la ilustración corresponde únicamente al resultado preliminar de la comparación y no constituye una declaración de viabilidad ambiental.

Los impactos severos se relacionan principalmente con la afectación de fauna, ecosistemas y hábitats terrestres y acuáticos, condiciones geológicas, entorno cultural y conflictos socioambientales.

En la Alternativa 1 – Puerto Brisa, los principales condicionantes se concentran en el medio terrestre, especialmente por la construcción y operación de la línea de transmisión Manaure–Puerto Brisa, cuya mayor longitud incrementa la ocupación territorial y la interacción con coberturas naturales, predios, accesos y comunidades. Como ventaja relativa, presenta menores presiones sobre el medio marino y una mayor flexibilidad asociada a la infraestructura portuaria.

En la Alternativa 2 – Puerto Bolívar, la menor longitud de la línea de transmisión reduce la intervención sobre el territorio continental; sin embargo, adquieren mayor relevancia los impactos asociados al medio marino y al componente socioeconómico, particularmente por la captación de agua de mar, la desalinización, el manejo de salmueras y la interacción con comunidades Wayuu y sus usos tradicionales del territorio.

Que las dos alternativas tengan el mismo número de interacciones no significa que sus efectos sean equivalentes. Cambian los receptores afectados, la extensión, la localización y las posibilidades de prevención y manejo. La evaluación permite diferenciar

los perfiles ambientales y territoriales de las alternativas. La selección deberá considerar conjuntamente los resultados ambientales, técnicos, logísticos, hídricos y socio-territoriales y someter la alternativa priorizada a estudios de mayor detalle.

La menor longitud de la línea de transmisión asociada a la Alternativa 2 reduce la extensión de las intervenciones lineales respecto de la Alternativa 1, esta condición no elimina las afectaciones terrestres asociadas a la huella directa de los demás componentes del proyecto. Por su parte, la Alternativa 1 presenta como principal reto el desarrollo de un corredor de transmisión entre las áreas de generación renovable localizadas en Manaure y el complejo industrial ubicado en Puerto Brisas. Esta configuración implica una mayor longitud de infraestructura lineal y, en consecuencia, una mayor interacción potencial con los componentes ambientales y sociales del territorio, constituyéndose en el principal elemento diferenciador frente a la alternativa localizada en Puerto Bolívar. No obstante, al tratarse de una infraestructura cuya localización, diseño y manejo pueden ser gestionados directamente por el desarrollador, este aspecto se considera técnicamente manejable mediante una adecuada planificación y optimización del corredor, acompañada de una gestión predial oportuna y un relacionamiento temprano con las comunidades presentes en el área de influencia.

En la Tabla 23 se presenta una síntesis de la comparación ambiental de las alternativas evaluadas.

Tabla 23 Síntesis de la comparación ambiental de las alternativas evaluadas

Criterio	Alternativa 1 – Puerto Brisa	Alternativa 2 – Puerto Bolívar	Valoración
Conexión eléctrica	Línea dedicada Manaure–Puerto Brisa, con una separación de referencia de ~75 km y mayor ocupación territorial.	Línea de conexión de aproximadamente 13–15 km entre generación y complejo industrial.	Favorece A2
Medio abiótico	Mayor intervención terrestre por infraestructura lineal; menor presión sobre el medio marino.	Menor intervención terrestre; mayor dependencia de captación de agua de mar y manejo de salmueras.	Sin diferencia significativa
Medio biótico	Mayor interacción con coberturas, flora, fauna y conectividad terrestre.	Menor afectación terrestre; mayor relevancia de ecosistemas marino-costeros e hidrobiota.	Sin diferencia significativa
Medio socioeconómico	Mayor ocupación predial y relacionamiento asociado a la línea de transmisión.	Menor ocupación territorial, pero mayor sensibilidad por interacción con comunidades indígenas.	Sin diferencia significativa
Infraestructura portuaria	Infraestructura multipropósito existente, sujeta a verificar las adecuaciones requeridas y las condiciones de acceso.	Infraestructura especializada existente, sujeta a acuerdos de acceso y a las adecuaciones requeridas.	Favorece A1
Proceso industrial y generación renovable	Misma configuración tecnológica; contempla nuevos parques solar y eólico conectados mediante red dedicada.	Misma configuración tecnológica; contempla nuevos parques solar y eólico concentrados y conectados mediante línea corta.	Sin diferencias significativas
Viabilidad ambiental	No se identificó una exclusión definitiva; requiere demostrar el manejo de la infraestructura lineal.	No se identificó una exclusión definitiva; requiere demostrar el manejo de los componentes marino y social.	Requieren estudios posteriores

Fuente: Elaboración propia a partir de la evaluación ambiental comparativa de las dos alternativas. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La Tabla 24 resume los principales riesgos ambientales y sociales. En Puerto Brisa predominan los riesgos asociados a la intervención terrestre; en Puerto Bolívar adquieren mayor peso el medio marino-costero y el componente social.

Tabla 24 Principales riesgos ambientales y sociales asociados a las alternativas

Riesgo	Puerto Brisa	Puerto Bolívar
Intervención territorial	Alta	Moderada
Coberturas/hábitats	Alta	Alta
Medio marino	Moderada	Alta
Conflicto social	Alta	Alta
Infraestructura de terceros	Baja-moderada	Alta
Desalinización/salmuera	Baja	Alta
Impactos acumulativos	Alta	Alta

Fuente: Elaboración propia a partir de la identificación preliminar de riesgos de las dos alternativas. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

La Tabla 25 reúne las verificaciones que deben resolverse antes de seleccionar una alternativa. Para Puerto Brisa deberá demostrarse la viabilidad ambiental, predial y social del corredor de transmisión; para Puerto Bolívar, la del sistema hídrico-marino, la infraestructura de terceros y la gestión étnica.

Tabla 25 Consolidación de supuestos, limitaciones, vacíos de información y verificaciones pendientes

Alternativa	Debe evitarse	Debe demostrarse / verificarse
Puerto Brisa	Ecosistemas sensibles, sitios culturales y sectores incompatibles con el corredor.	Viabilidad ambiental, predial y social de la línea de transmisión.
Puerto Bolívar	Ecosistemas sensibles, áreas marino-costeras y sitios culturales Wayuu.	Viabilidad de captación/desalinización, manejo de salmuera, infraestructura de terceros y gestión étnica.

Fuente: Elaboración propia a partir de los supuestos, vacíos y verificaciones identificados en la evaluación. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

5 Conclusiones

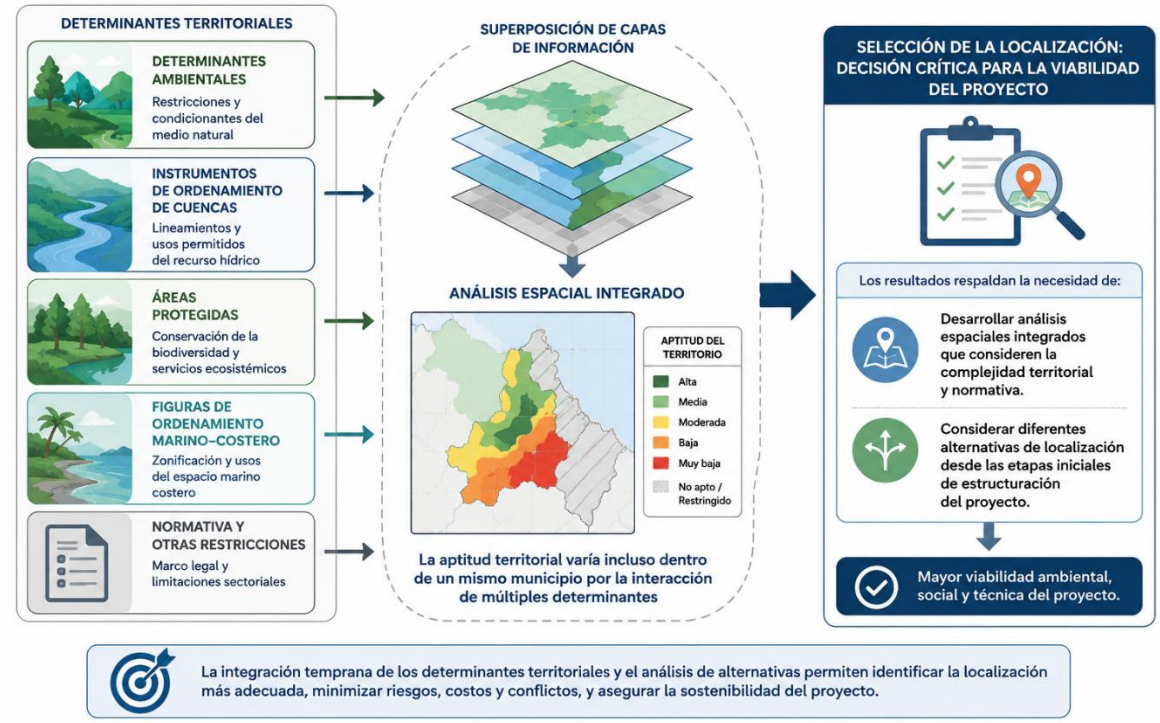
5.1 Condicionantes y sensibilidad del territorio

AkuaippaHy está condicionado por factores normativos, ambientales, territoriales, institucionales y sociales. La superposición de instrumentos ambientales, sectoriales y de ordenamiento territorial puede modificar la localización, la configuración y la ruta de permisos del proyecto, así como los tiempos y riesgos de su estructuración.

Dentro de este contexto, los principales condicionantes se concentran en los componentes ambiental, hídrico, territorial y socioeconómico, asociados principalmente a la sensibilidad ambiental del territorio, la disponibilidad del recurso hídrico y la presencia de comunidades étnicas. Estos factores deberán ser considerados desde las etapas tempranas de planificación, particularmente en la definición de alternativas de localización y configuración tecnológica, así como en la identificación de los requerimientos de licenciamiento ambiental y de gestión social.

La selección de la localización constituye, por tanto, una decisión crítica para la viabilidad del proyecto, dado que la aptitud territorial presenta variaciones incluso dentro de un mismo municipio como consecuencia de la superposición de determinantes ambientales, instrumentos de ordenamiento de cuencas, áreas protegidas y figuras de ordenamiento marino-costero. En este sentido, los resultados obtenidos respaldan la necesidad de desarrollar análisis espaciales integrados y de considerar diferentes alternativas de localización desde las etapas iniciales de estructuración.

Ilustración 14 Importancia de la selección de localización



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

Además, la gestión institucional y regulatoria requiere un enfoque anticipado y articulado entre las entidades sectoriales, autoridades ambientales y autoridades territoriales. La definición temprana del alcance del proyecto y de la autoridad ambiental competente resulta fundamental para orientar la ruta de permisos y licenciamiento, evitar reprocesos y reducir posibles retrasos asociados a la gestión de trámites.

Finalmente, la gestión del riesgo de desastres se identifica como un componente transversal y de alta incidencia para el desarrollo de proyectos H_2V/PtX en La Guajira. En etapas posteriores será necesario profundizar en la caracterización de las amenazas naturales y tecnológicas, la evaluación de escenarios de riesgo bajo condiciones climáticas extremas, las capacidades locales de respuesta y la incorporación de proyecciones de cambio climático, fortaleciendo además la articulación con el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

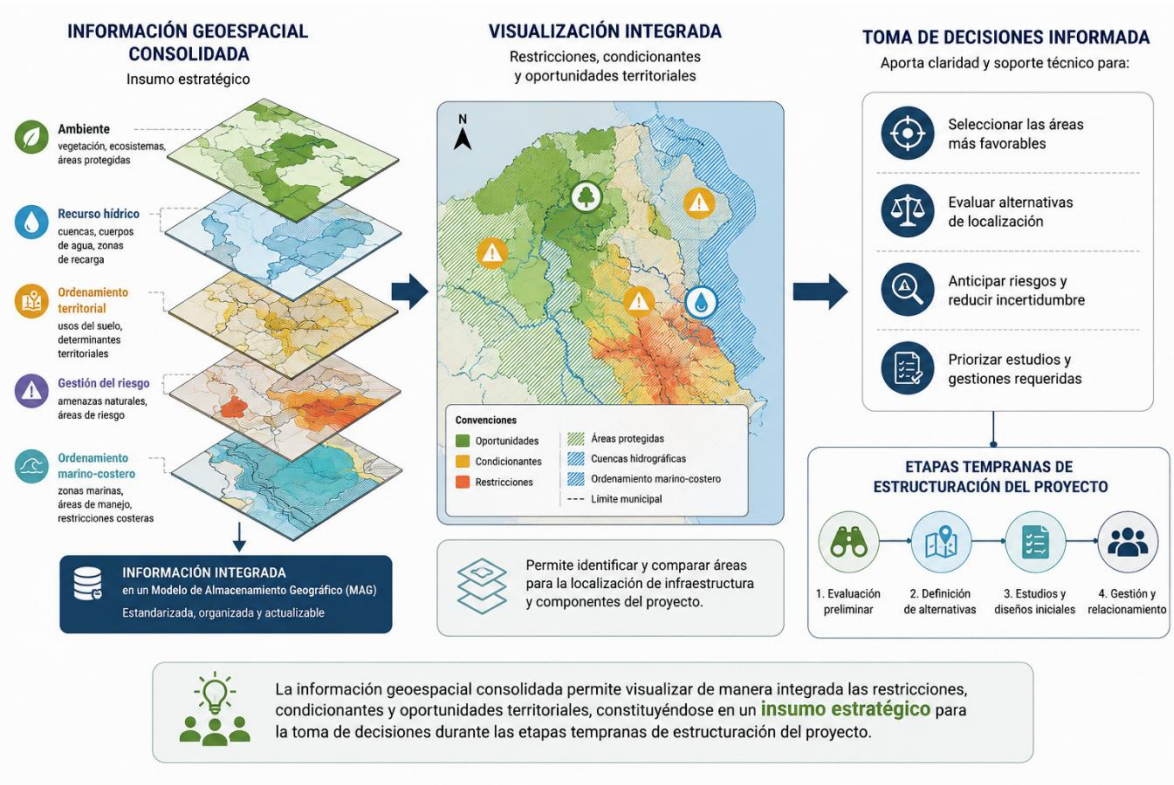
5.2 Análisis geoespacial y orientación para la localización

El análisis geoespacial reunió en una misma base la información física, biótica, territorial y de zonificación. El Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG), la cartografía temática y las capas de síntesis permiten consultar y actualizar los insumos del proyecto y comparar áreas de localización con criterios comunes.

Con esta información fue posible reconocer sectores con distintos niveles de restricción relativa. La zonificación sirve para orientar la evaluación multicriterio de los polígonos priorizados y para identificar, desde una etapa temprana, dónde coinciden condiciones favorables y restricciones que requieren mayor estudio.

El resultado es una herramienta regional de planificación, no una definición de la localización ni un sustituto de los estudios ambientales. Las áreas con menor restricción deberán validarse con información primaria, trabajo de campo y análisis específicos, especialmente en hidrogeología, biodiversidad y caracterización social.

Ilustración 15 Insumo estratégico para la toma de decisiones



Fuente: Elaboración propia con apoyo de herramientas de inteligencia artificial, a partir de información técnica suministrada por Óptima Consultores S.A.S. (2026).

5.3 Evaluación comparativa de alternativas

La evaluación de las alternativas partió de un análisis conceptual y se desarrolló con el propósito de identificar y comparar las condiciones ambientales, territoriales, técnicas y sociales asociadas a las dos configuraciones propuestas para el proyecto AkuaippaHy. En este contexto, la evaluación no corresponde a un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), sino a un análisis comparativo orientado a reconocer las principales diferencias entre las alternativas y determinar aquellos aspectos que pueden favorecer o condicionar su desarrollo, como insumo para la selección de las alternativas con mejores condiciones para avanzar hacia las siguientes etapas del proyecto.

La evaluación ambiental comparativa evidencia que las dos alternativas analizadas presentan un comportamiento tecnológico equivalente, al compartir la configuración asociada a la producción de hidrógeno verde (H_2V) y e-metanol, así como el desarrollo de infraestructura de generación renovable y portuaria. Las principales diferencias identificadas entre las alternativas no se derivan del proceso productivo, sino de las condiciones territoriales, ambientales y sociales asociadas a la configuración espacial de cada una.

La metodología para la evaluación de las alternativas se fundamentó en la identificación de los componentes que conforman cada alternativa conceptual y de las actividades requeridas durante las etapas de construcción, operación y desmantelamiento. A partir de esta información, se analizaron las posibles interacciones de cada alternativa con los componentes abiótico, biótico y socioeconómico, así como con los elementos asociados a la infraestructura de conexión, generación renovable, proceso industrial e infraestructura portuaria.

Para realizar la Zonificación de Manejo Ambiental, se partido de lineamientos aprobados y/o establecidos por la ANLA para el departamento de La Guajira, se analizaron siete (7) proyectos licenciados, correspondientes a un (1) proyecto de

hidrocarburos asociado a transporte, dos (2) proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales (Parques eólicos) y cuatro (4) proyectos de transmisión de energía eléctrica (Líneas de transmisión).

La Alternativa 1 – Puerto Brisa presenta una mayor interacción con el medio terrestre, principalmente como consecuencia de la infraestructura de transmisión eléctrica requerida para conectar las áreas de generación renovable con el complejo industrial. La mayor longitud de los recorridos en esta infraestructura implica una ocupación territorial más extensa y una mayor interacción potencial con coberturas vegetales, uso del suelo, paisaje, conectividad ecológica y actores sociales localizados a lo largo del corredor. No obstante, esta alternativa presenta una menor presión relativa sobre el medio marino y menores desafíos asociados a los componentes derivados de la captación de agua de mar y el manejo de salmueras.

La Alternativa 2 – Puerto Bolívar reduce de manera significativa la intervención asociada a la infraestructura lineal, debido a la menor longitud conceptual de la conexión entre el área de generación y el complejo industrial. Esta configuración disminuye la interacción con el medio terrestre, particularmente con coberturas naturales, uso del suelo y elementos de conectividad ecológica. Sin embargo, adquieren mayor relevancia los condicionantes asociados al medio marino y al componente social, especialmente aquellos relacionados con la captación de agua de mar, el manejo de salmueras y la interacción con comunidades indígenas, como la Wayuu, presentes en el área de influencia.

En la Tabla 26 se realiza una síntesis de la comparación de criterios de las alternativas.

Tabla 26 Síntesis de comparación de alternativas

Criterio	Alternativa 1 – Puerto Brisa	Alternativa 2 – Puerto Bolívar
Principal presión	Medio terrestre	Medio marino y social
Infraestructura lineal	Mayor	Menor
Coberturas/uso del suelo	Mayor interacción	Menor interacción
Medio marino	Menor presión relativa	Mayor importancia
Componente social	Menores desafíos preliminares	Mayor sensibilidad por comunidades indígenas
Infraestructura portuaria	Mayor flexibilidad preliminar	Requiere acuerdos y adecuaciones

Fuente: Elaboración propia a partir de la evaluación comparativa de las alternativas. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

En materia portuaria, la Alternativa 1 contempla el uso de Puerto Brisa, una infraestructura multipropósito que requeriría adecuaciones para el almacenamiento y la exportación de e-metanol. La Alternativa 2 considera Puerto Bolívar, cuyo uso dependerá de acuerdos de acceso y de las adecuaciones específicas del proyecto. Con la información disponible, Puerto Brisa presenta una ventaja preliminar por su mayor flexibilidad operativa, esta condición deberá confirmarse en la siguiente etapa.

En el nivel de análisis alcanzado no se identificó una condición que permita descartar de manera definitiva alguna de las alternativas. Esto no equivale a declarar su viabilidad ambiental. Puerto Brisa deberá demostrar el manejo de la infraestructura lineal y sus interacciones terrestres. Puerto Bolívar, el manejo de los componentes marino y social, incluida la captación de agua, la salmuera y la relación con comunidades indígenas.

La comparación tampoco establece una superioridad ambiental absoluta. Puerto Bolívar reduce la infraestructura lineal y la intervención terrestre, mientras que Puerto Brisa presenta una presión marina relativa menor y, de forma preliminar, menos condicionantes sociales. La selección final deberá ponderar estos factores junto con los criterios técnicos, territoriales, sociales, ambientales y de implementación.

A partir de los resultados obtenidos se realizó una comparación integral de las alternativas, considerando tanto las diferencias en la interacción con los componentes ambientales como las condiciones asociadas a la infraestructura requerida para su desarrollo. Para facilitar la interpretación de los resultados, se empleó una semaforización comparativa, tal como se muestra en la Tabla 27, en la cual se identifican los criterios que favorecen a una alternativa, aquellos en los que no se presentan

diferencias significativas y aquellos aspectos que requieren especial consideración durante las siguientes etapas de diseño y planificación.

La Alternativa 2 es favorecida por la menor longitud de conexión, mientras que la Alternativa 1 presenta ventaja en la infraestructura portuaria, para los demás criterios se señala que no existen diferencias significativas o que ambas alternativas son viables.

Tabla 27 Semaforización comparativa de las alternativas.

Criterio	A1 – Puerto Brisas	A2 – Puerto Bolívar	Resultado comparativo
Infraestructura de conexión	Línea dedicada ~75 km; mayor interacción territorial.	Línea de conexión ~13–15 km.	**Favorece A2**
Medio abiótico	Mayor intervención terrestre, menor presión marina.	Menor intervención terrestre, mayor interacción marina.	**Sin alternativa favorecida**
Medio biótico	Mayor interacción con ecosistemas terrestres.	Menor interacción terrestre, mayor relevancia marino-costera.	**Sin alternativa favorecida**
Medio socioeconómico	Mayor ocupación predial e interacción territorial.	Menor ocupación, mayor sensibilidad por relacionamiento con comunidades indígenas.	**Sin alternativa favorecida**
Infraestructura portuaria	Puerto multipropósito con posibilidad de adecuación.	Puerto especializado en carbón, requiere acuerdos y adecuaciones.	**Favorece A1**
Proceso industrial	Configuración tecnológica equivalente.	Configuración tecnológica equivalente.	**Sin diferencias**
Generación renovable	Solar en Puerto Brisa 1 y eólico en Manaure, conexión dedicada.	Solar y eólicos concentrados en Puerto Bolívar, conexión corta.	**Sin diferencias**
Viabilidad ambiental	Viable, condicionada al manejo de la infraestructura lineal.	Viable, condicionada al manejo marino y social.	**Favorece Ambas Alternativas**

Fuente: Elaboración propia a partir de la evaluación comparativa de las alternativas. Óptima Consultores S.A.S. (2026).

5.4 Consideraciones para las siguientes etapas

A partir de los resultados de la evaluación comparativa de alternativas, se identifican los siguientes aspectos que deberán ser profundizados en las siguientes etapas del proyecto:

- Disponibilidad y gestión del recurso hídrico: Profundizar en la estimación de la demanda de agua, las fuentes potenciales de abastecimiento, su disponibilidad y las alternativas de uso eficiente, reúso y manejo. Para la Alternativa 2, se deberá prestar especial atención a la captación de agua de mar y al manejo de las salmueras.
- Infraestructura de conexión y ocupación territorial: Precisar el trazado y la longitud definitiva de las líneas de conexión, así como las servidumbres requeridas, cruces, coberturas intervenidas, ecosistemas sensibles, ocupación predial y posibles interacciones con comunidades. Este aspecto resulta especialmente relevante para la Alternativa 1, debido a la mayor longitud de la conexión entre Manaure y Puerto Brisas.
- Ecosistemas y biodiversidad: Profundizar en la caracterización de coberturas naturales y seminaturales, flora, fauna y conectividad ecológica en las áreas potencialmente intervenidas. Para la Alternativa 1 adquiere mayor relevancia la interacción con ecosistemas terrestres, mientras que en la Alternativa 2 deberá profundizarse adicionalmente en la hidrobiota y los ecosistemas marino-costeros.
- Condiciones socioeconómicas y territoriales: Precisar la ocupación predial, las dinámicas territoriales, la presencia de comunidades y pueblos indígenas y los posibles requerimientos de participación, relacionamiento y gestión social asociados a cada alternativa.
- Evaluar con mayor detalle la capacidad, condiciones operativas, requerimientos de adecuación y viabilidad de las instalaciones portuarias para el almacenamiento y exportación de e-metanol. Para la Alternativa 2, será necesario

profundizar adicionalmente en las condiciones de acceso, los acuerdos requeridos y las adecuaciones específicas asociadas al uso de Puerto Bolívar.

- Verificar la compatibilidad de las áreas propuestas con los instrumentos de ordenamiento territorial, determinantes ambientales, áreas de especial importancia ambiental y demás restricciones aplicables.
- Identificar y precisar los permisos, autorizaciones, trámites y demás requerimientos regulatorios que puedan condicionar el desarrollo de los componentes de cada alternativa.
- La gestión del riesgo de desastres deberá mantenerse como un componente transversal durante las siguientes fases del proyecto. Se considera necesario profundizar en la caracterización cuantitativa de las amenazas naturales y tecnológicas, evaluar escenarios de riesgo bajo condiciones climáticas extremas, identificar capacidades locales de respuesta y posibles brechas, y fortalecer la articulación institucional con el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. La incorporación de proyecciones de cambio climático permitirá mejorar la evaluación de las condiciones futuras que puedan incidir sobre la viabilidad técnica, social y ambiental de los proyectos H_2V/PtX.
- Los resultados de la evaluación territorial y ambiental deberán articularse con la definición progresiva de la huella del proyecto, los corredores técnicos, las interfaces hídricas y las zonas de exclusión, procurando que la configuración definitiva reduzca conflictos territoriales y ambientales y facilite la gestión de los permisos requeridos.
-

6 Referencias

Arboleda, J. A. (2008). Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín, Colombia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2021). Resolución CREG 075 de 2021: Disposiciones y procedimientos para la asignación de capacidad de transporte en el Sistema Interconectado Nacional.

Conesa Fernández-Vítora, V. (2010). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental (4.ª ed.). Mundi-Prensa.

Congreso de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental.

Congreso de Colombia. (1994). Ley 143 de 1994: Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad.

Congreso de Colombia. (1997). Ley 388 de 1997: Por la cual se modifica la Ley 9.ª de 1989 y la Ley 3.ª de 1991 y se dictan otras disposiciones.

Congreso de Colombia. (2008). Ley 1185 de 2008: Por la cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 y se dictan otras disposiciones.

Congreso de Colombia. (2012). Ley 1523 de 2012: Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres.

Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Congreso de Colombia. (2021). Ley 2099 de 2021: Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética.

Dirección General Marítima. (1984). Decreto-Ley 2324 de 1984: Por el cual se reorganiza la Dirección General Marítima y Portuaria.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/publicacion-jue-23032023-1200

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s. f.). DHIME: Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos. https://www.ideam.gov.co/dhime

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). Decreto 3570 de 2011: Por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). Decreto 3573 de 2011: Por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Decreto 1120 de 2013: Por el cual se reglamentan las Unidades Ambientales Costeras y las comisiones conjuntas.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto 1076 de 2015: Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales. Resolución 1402 de 2018.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución 883 de 2018: Parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a aguas marinas.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Ministerio de Cultura. (2015). Decreto 1080 de 2015: Decreto único reglamentario del sector cultura, modificado por el Decreto 138 de 2019.

Ministerio de Minas y Energía. (2012). Decreto 381 de 2012: Por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Minas y Energía.

Ministerio de Minas y Energía. (2021). Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia.

Ministerio de Minas y Energía. (2022). Decreto 1476 de 2022: Disposiciones para promover la innovación, investigación, producción, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno.

Ministerio del Interior. (2019). Decreto 2353 de 2019: Por el cual se modifica la estructura del Ministerio del Interior y se crea la Dirección de la Autoridad Nacional de Consulta Previa.

Ministerio de Transporte. (2015). Decreto 1079 de 2015: Decreto único reglamentario del sector transporte.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2024). Reglamento (UE) 2024/1689, de 13 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial. Diario Oficial de la Unión Europea.

Presidencia de la República de Colombia. (2013). Decreto 1260 de 2013: Por el cual se modifica la estructura de la Comisión de Regulación de Energía y Gas.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). Five things to know about desalination. https://www.unep.org/news-and-stories/story/five-things-know-about-desalination

Servicio Geológico Colombiano. (2016). Mapa hidrogeológico de La Guajira.

Servicio Geológico Colombiano. (2023). Mapa Geológico de Colombia 2023, escala 1:1.500.000.

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2013). Decreto 1258 de 2013: Por el cual se modifica la estructura de la Unidad de Planeación Minero-Energética.

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2022). Plan Energético Nacional 2020–2050.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2018). Plan municipal para la gestión del riesgo: Municipio de Uribia.



The International Hydrogen Ramp-up Programme (H2Uppp) supports entrepreneurial engagement in the ramp-up of hydrogen in the Global South and is a funding programme of the:

Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

Implemented by:

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH