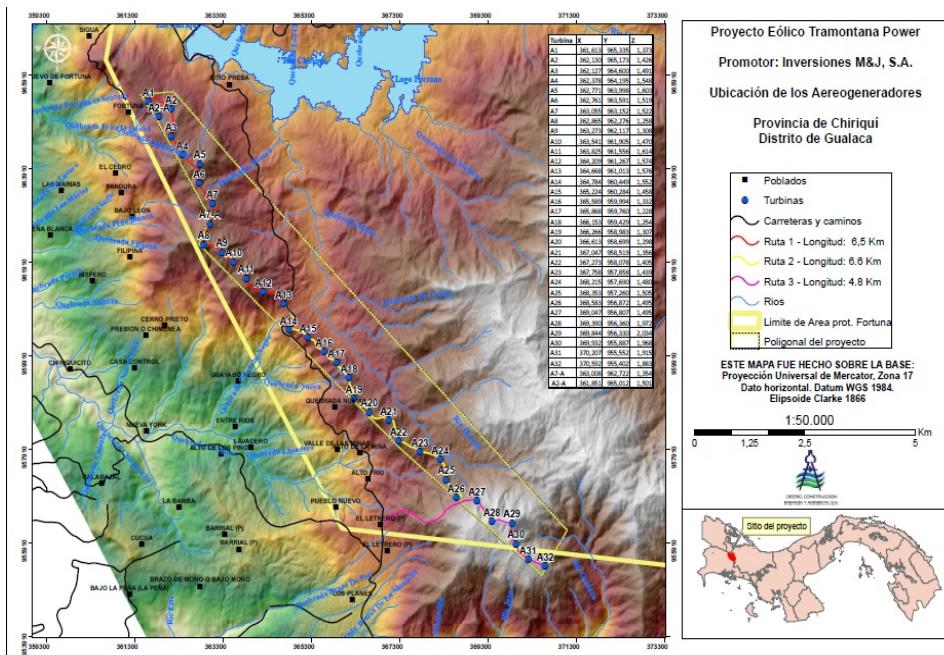




DISEÑO, CONSTRUCCION
ENERGIA Y AMBIENTE, S.A.

Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático



Proyecto Parque Eólico Tramontana Power

MSc. Darysbeth Martínez

MSc. Eduardo Reyes

Noviembre 2020

Tabla de Contenido

CONTEXTO	3
MARCO CONCEPTUAL GENERAL DE LA METODOLOGÍA	5
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	7
PASOS DE LA METODOLOGÍA GENERAL PROPUESTA	7
<i>Paso 1: Contextualización del proyecto respecto al cambio climático</i>	<i>8</i>
<i>Paso 2: Identificación de amenazas y valoración de la exposición.....</i>	<i>9</i>
<i>Paso 3: Análisis de la vulnerabilidad</i>	<i>10</i>
<i>Paso 4: Identificación de opciones de adaptación.....</i>	<i>10</i>
ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA DE DESARROLLO DEL PROYECTO PARQUE EÓLICO TRAMONTANA.	11
CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO.	12
VARIABILIDAD CLIMÁTICA.....	15
CLIMA FUTURO (CAMBIO CLIMÁTICO).....	19
EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO DEL PROYECTO PARQUE EÓLICO TRAMONTANA.....	28
PASO 1: CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO	28
PASO 2: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN.....	31
PASO 3: ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD	35
PASO 4: IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE OPCIONES DE ADAPTACIÓN	41
REFERENCIAS	44

Índice de Tablas

TABLA 1: EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO.	11
TABLA 2: OCURRENCIA DE EVENTOS EL NIÑO Y LA NIÑA.....	17
TABLA 3: LISTADO DE MODELOS DE CIRCULACIÓN GLOBAL DISPONIBLES PARA LA ELABORACIÓN DE ESCENARIOS DE CLIMA FUTUROS.....	21
TABLA 4: ESCENARIOS DE CLIMA GLOBAL PARA LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS PARA PANAMÁ	24
TABLA 5: PRINCIPALES DRIVERS CLIMÁTICOS QUE INCIDIRÍAN EN EL PROYECTO PARQUE EÓLICO TRAMONTANA	34
TABLA 6: INDICADORES DE POBREZA MULTIDIMENSIONAL EN DISTRITO DE GUALACA.	40

Índice de Figuras

FIGURA 1. ILUSTRACIÓN DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CONTRIBUCIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO II AL QUINTO INFORME DE EVALUACIÓN. EL RIESGO DE LOS IMPACTOS CONEXOS AL CLIMA SE DERIVA DE LA INTERACCIÓN DE LOS PELIGROS CONEXOS AL CLIMA.	5
FIGURA 2: LA ADAPTACIÓN PUEDE REDUCIR EL RIESGO, AL REDUCIR LA VULNERABILIDAD Y EN OCASIONES LA EXPOSICIÓN.....	7
FIGURA 3: PLANO GENERAL DEL PROYECTO, ESCALA 1:50,000.....	12
FIGURA 4: MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA 2020	15
FIGURA 5: LLUVIA DIARIA ESTACIÓN VELADERO GUALACA.....	16
FIGURA 6: TEMPERATURA PROMEDIO ESTACIÓN PAJA SOMBRERO	18
FIGURA 7: TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA ESTACIÓN PAJA SOMBRERO	19
FIGURA 8: MAPA DE REGIONES CLIMÁTICA DE PANAMÁ BASADA EN LA PRECIPITACIÓN.....	23
FIGURA 9: ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN AL 2050	27
FIGURA 10: ANOMALÍAS DE TEMPERATURA AL 2050.....	28
FIGURA 11: CONTEXTO DE EVALUACIÓN PARA EL PARQUE EÓLICO TRAMONTANA: PROPUESTA DE LÍMITES DEL SISTEMA.....	29
FIGURA 12: MAPA DE VIVIENDAS AFECTADAS POR INUNDACIONES, DISTRITO DE GUALACA.....	32
FIGURA 13: CADENAS DE IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA PROYECTOS EÓLICOS.....	33
FIGURA 14: MAPA DE ISOYETAS DISTRITO DE GUALACA.....	36
FIGURA 15: MAPA DE PENDIENTES PROYECTO PARQUE EÓLICO TRAMONTANA	37
FIGURA 16: MAPA DE COBERTURA BOScosa AÑO 2020.....	38
FIGURA 17: MAPA DE CARRETERAS Y CAMINOS	39

Contexto

El cambio climático se define como una variación estadística en el estado medio del clima, que persiste durante un período prolongado. Los efectos del cambio climático se observan hoy en día en los medios de vida, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructura.

Los impactos son entendidos como las consecuencias de ese cambio climático tanto en sistemas naturales (impactos físicos) como en sistemas humanos, (impactos agregados), es decir, los impactos totales acumulados en sectores y/o regiones. Según la implementación o no de medidas de adaptación, los mismos se pueden distinguir como impactos potenciales e impactos residuales.

Impactos Potenciales: Todos los impactos que podrían suceder dado un cambio proyectado en el clima, sin tener en cuenta las medidas de adaptación.

Impactos Residuales: Los impactos del cambio climático que pueden ocurrir después de la implementación de medidas de adaptación.

Por otro lado, los impactos del cambio climático en los sistemas geofísicos, incluidas las inundaciones, las sequías y el aumento del nivel del mar pueden causar:

Impactos agregados: Los impactos totales acumulados en sectores y/o regiones. La suma de los impactos precisa un conocimiento sobre la importancia relativa de los impactos en diferentes sectores y regiones.

Para hacer frente a los impactos del cambio climático, la comunidad internacional, acoge el acuerdo de Paris (CoP21 2015), el cual establece en su objetivo limitar el aumento de la temperatura entre 1,5 °C y 2°C al 2100. Para ello, se ha comprometido a movilizar recursos con el fin de implementar medidas para adaptar la infraestructura y la sociedad en general a los efectos del cambio climático.

El análisis detallado del riesgo climático de proyectos de infraestructura, tiene como objetivo principal el aumentar la resiliencia climática de los proyectos para la reducción de los riesgos en sus márgenes de rentabilidad.

Resiliencia es la capacidad de un sistema socio-ecológico para hacer frente a un evento o perturbación peligrosa. Por tanto, la resiliencia climática de un proyecto de infraestructura es la capacidad de dicho proyecto o infraestructura para absorber las tensiones impuestas por el cambio climático. Para este análisis de vulnerabilidad se considerarán el rango de posibles cambios en el clima y los potenciales desastres naturales inducidos, así como las posibilidades de adaptación hacia un estado futuro menos vulnerable.

Para este análisis de vulnerabilidad se recoge una serie de aspectos generales, de aplicación a cualquier proyecto de infraestructura, como son el análisis de la variabilidad climática y el cambio climático, donde se analizarán las tendencias históricas, así como las proyecciones climáticas en la zona geográfica donde se ubica el proyecto.

Como norma general, los grandes proyectos de infraestructura se diseñan y planifican considerando una visión estacionaria del clima (considerando que los valores históricos representan el clima futuro). Sin embargo, la vida útil de estos proyectos (varias décadas) incrementa su susceptibilidad a los impactos del cambio climático, lo que hace que sea indispensable una mirada al clima futuro tanto en el diseño, operación y mantenimiento, como en la rehabilitación de los mismos¹.

En este sentido se incluye una identificación de los drivers o amenazas climáticas más importantes y sus impactos asociados para el sector de la energía eólica y describe los métodos y herramientas más adecuados para llegar a determinar el riesgo asociado a estos drivers climáticos, pero teniendo también presente los impactos agregados de otros drivers no climáticos, entendidos estos como aquellas amenazas no climáticas que también podrían afectar al proyecto Parque Eólico Tramontana.

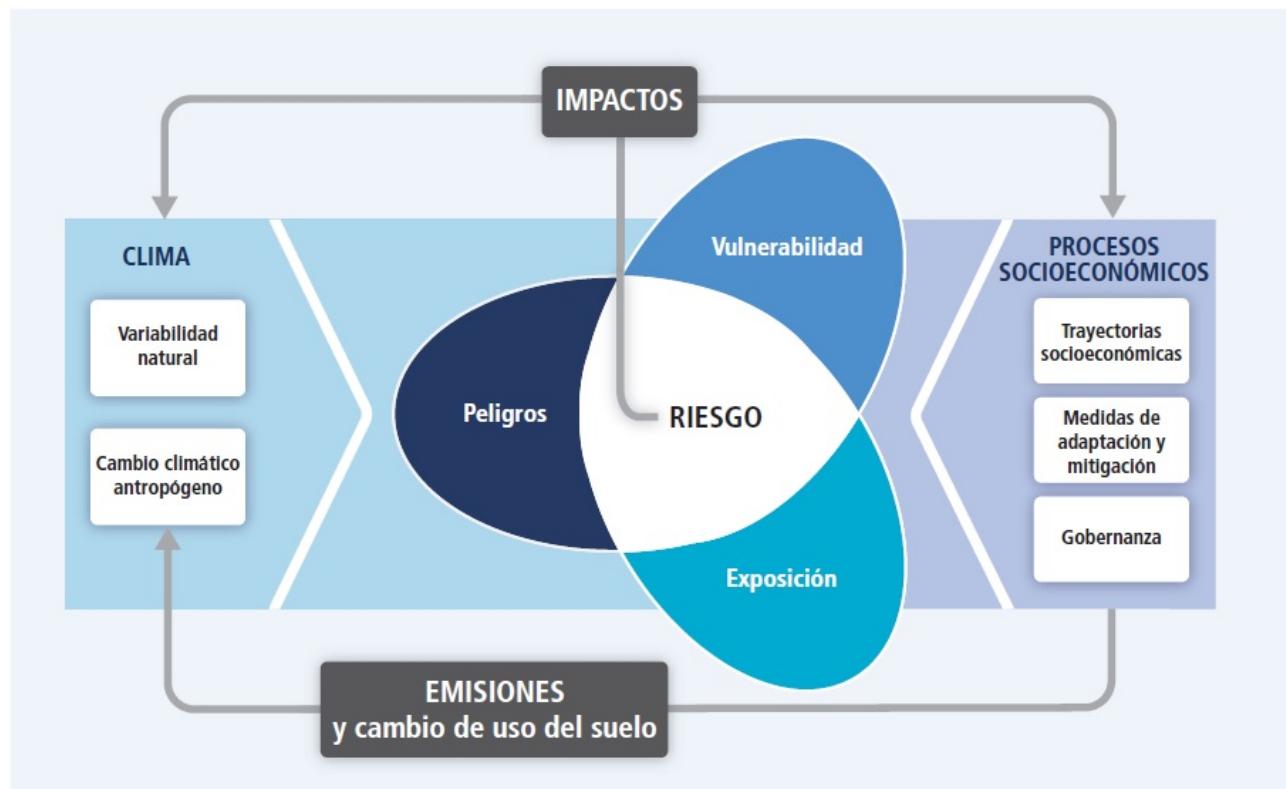
¹ Guía para el Análisis Detallado del Riesgo Climático; CAF 2019

Por último, este análisis contempla la identificación de las posibles opciones de adaptación sobre los parámetros de diseño de la infraestructura o sobre el entorno de la misma, tomando como base los resultados que se han obtenido en los pasos anteriores de evaluación del riesgo.

Marco conceptual general de la metodología

En esta sección se realiza una introducción conceptual de la metodología planteada para analizar el riesgo climático evaluando todos los aspectos que integran este término, en base a la metodología detallada en el quinto Informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) donde este concepto de “riesgo” adquiere un papel protagonista a la hora de evaluar los retos asociados al cambio climático y definir una respuesta para prepararnos frente a los mismos. En la metodología de análisis propuesta, el concepto de “riesgo”, integra las componentes de la vulnerabilidad, la exposición y la amenaza de la forma que se ilustra en la siguiente (Figura 1).

Figura 1. Ilustración de los conceptos básicos de la contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación. El riesgo de los impactos conexos al clima se deriva de la interacción de los peligros conexos al clima.



Fuente Quinto Informe de Evaluación, IPCC Grupo de Trabajo II, 2014

En el mismo informe, el IPCC destaca también que el concepto de vulnerabilidad está caracterizado por las componentes de sensibilidad y capacidad adaptativa.

Cabe destacar que el planteamiento del quinto Informe de evaluación del IPCC presenta una definición que se aproxima a la concepción tradicional del riesgo (por ejemplo, a la recogida en la Guía 73:2009 de ISO), que entiende que dicho término valora tanto la probabilidad de un suceso (concepto que es análogo al periodo de retorno de la amenaza) como la intensidad del suceso, que establece la magnitud de las consecuencias de dicho suceso (concepto que viene determinado, fundamentalmente, por la combinación de las componentes de exposición y vulnerabilidad, aunque depende también de la amenaza).

Este nuevo marco metodológico propuesto por IPCC ha sido revisado en diferentes documentos y en ellos, las relaciones entre los diferentes componentes que integran el concepto de riesgo son matizadas, aunque en todos se coincide en asignar a este concepto un papel central y una visión probabilística. Es decir, en todos ellos se afronta el cálculo del riesgo considerando no solo la magnitud de los posibles impactos y efectos del cambio climático sobre los sistemas, también se considera que el clima se está viendo alterado y, por tanto, la frecuencia de los eventos climáticos, valores medios, etc. se están viendo alteradas, siendo necesario considerar su previsible evolución en los próximos años para poder evaluar el riesgo real al que harán frente los proyectos².

Hay que destacar que en la mayoría de los marcos metodológicos planteados se considera el potencial efecto de la adaptación (Figura 2), y como la implementación de medidas adaptativas puede contribuir a controlar y reducir los riesgos asociados al clima.

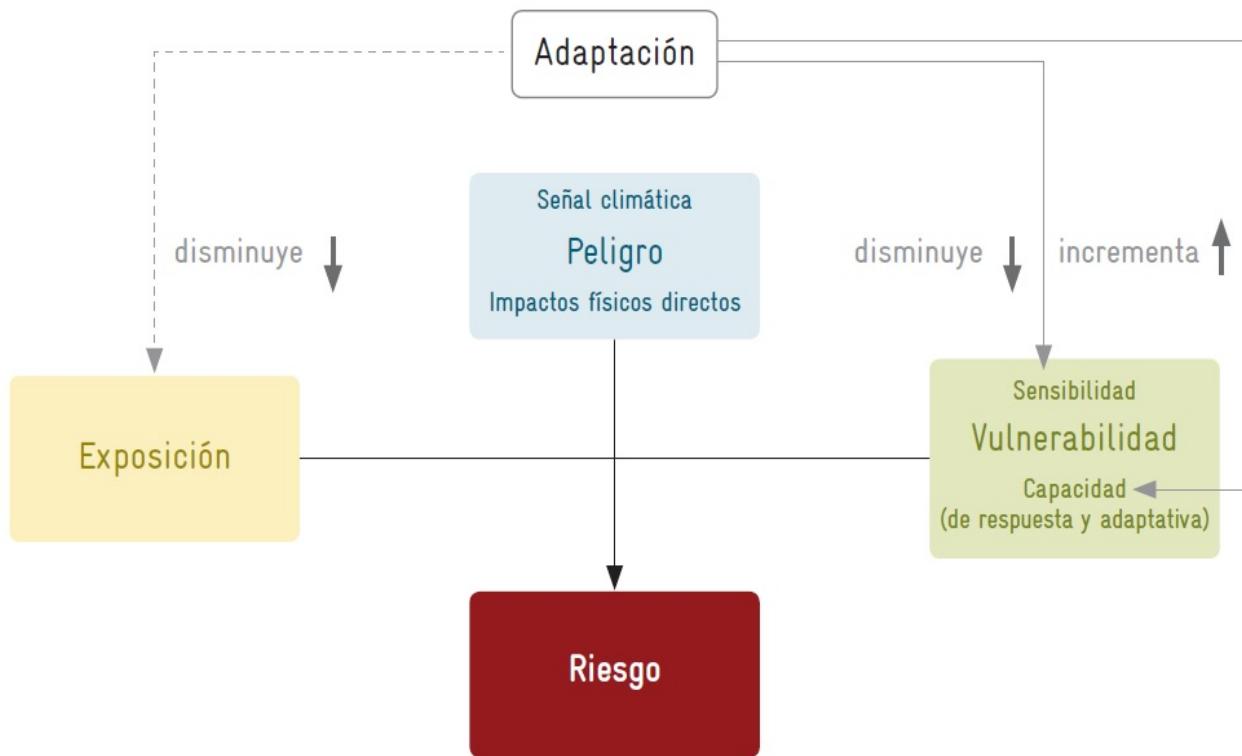
Siguiendo las pautas del Assessment Report 5 (AR5) del IPCC, la Figura 2 muestra la caracterización de las componentes del riesgo bajo dos metodologías recientemente desarrolladas. De acuerdo a “The Vulnerability Sourcebook. Risk Supplement³” se resalta la

² *Suplemento de Riesgo del Libro de la Vulnerabilidad; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) 2017*

³ <https://www.adaptationcommunity.net/vulnerability-assessment/vulnerability-sourcebook/> revisado en octubre 2020

importancia de la adaptación para minimizar el riesgo e incluye la influencia de la misma para modificar las componentes de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

Figura 2: La adaptación puede reducir el riesgo, al reducir la vulnerabilidad y en ocasiones la exposición.



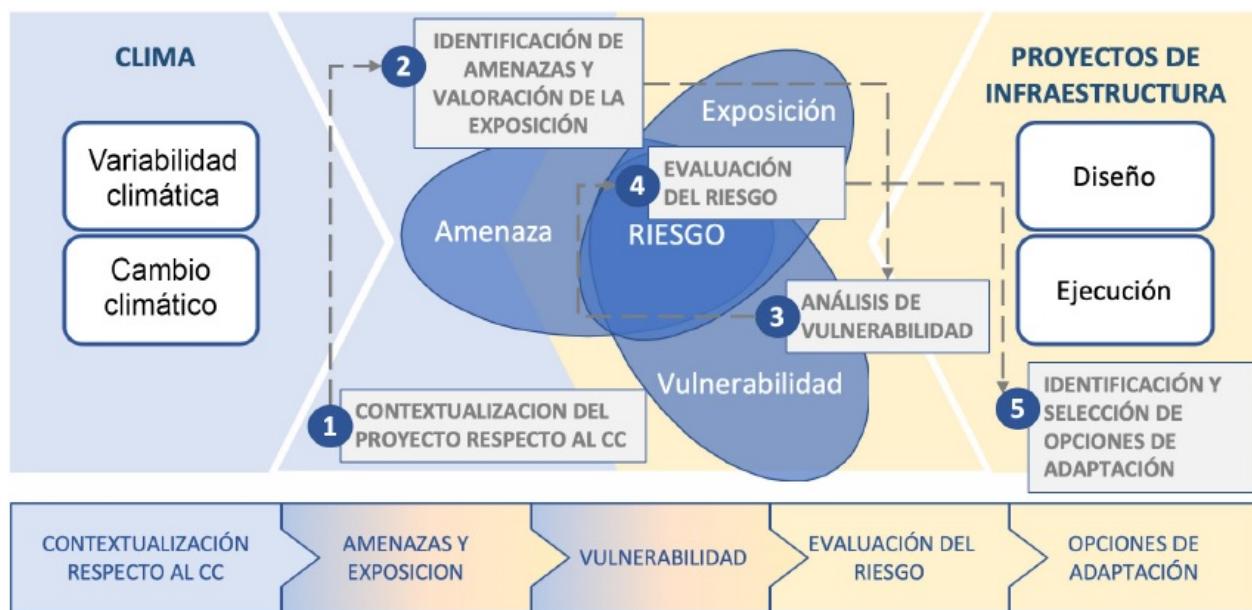
Fuente: Suplemento de Riesgo del Libro de la Vulnerabilidad; GIZ 2017

Descripción general de la metodología propuesta

Pasos de la metodología general propuesta

A continuación, y tomando como base la bibliografía el Estado del Arte se describe brevemente la perspectiva general de la metodología para el análisis detallado del riesgo climático. Esta metodología es aplicable a múltiples sectores, entre ellos, el sector de la Energía Eólica y es desarrollada con mayor grado de detalle en el apartado de Evaluación de vulnerabilidad y riesgo del proyecto. La metodología planteada se estructura en una serie de etapas o fases que quedan recogidas de forma visual en la Figura 3 y se describen a continuación.

Figura 3: Fases o pasos de la metodología genérica en relación con la concepción de riesgo propuesta por IPCC



Fuente: Guía para el Análisis Detallado del Riesgo Climático; CAF 2019

Paso 1: Contextualización del proyecto respecto al cambio climático

En el primer paso del análisis, se identifica el sistema en estudio, delimitando claramente el ámbito que se podrá abarcar, incluyendo no solo el proyecto de infraestructura concreto que se está analizando/evaluando, sino también aquellos elementos que tengan relación con dicho proyecto.

Este planteamiento permite considerar, para cada proyecto concreto, aquellos elementos que determinan su riesgo climático, independientemente de que algunos de ellos formen parte de las actuaciones contempladas en el proyecto estudiado. Esto es así, porque muchos de los impactos del cambio climático pueden tener un efecto indirecto.

Al margen de contribuir a un análisis acertado del riesgo climático, esta aproximación sistemática también permitirá establecer “límites” en torno a la actividad de adaptación, filtrando y priorizando los elementos más relevantes para el proyecto en todo su ámbito de influencia e identificando aquellos que podrían realmente controlarse mediante diferentes intervenciones. De nuevo, estas intervenciones pueden superar los límites físicos del proyecto objeto de estudio.

Paso 2: Identificación de amenazas y valoración de la exposición

En este segundo paso, se identifican y seleccionan las amenazas potenciales a las que está expuesto el proyecto y se recoge toda la información disponible (históricos y proyecciones).

En este paso se debe tener en cuenta en la valoración todas las etapas del proyecto de infraestructura, considerando desde su planificación y construcción, pasando por la financiación y ciclos de vida operacional y de diseño. Con base en el nivel de información disponible y su calidad, se definirá el alcance de la evaluación de las amenazas climáticas, definiendo aspectos como los escenarios y horizontes temporales considerados en el análisis.

Para caracterizar el clima, tanto en su situación actual como considerando escenarios futuros, se deben evaluar períodos de tiempo suficientemente amplios para capturar la variabilidad interanual. Generalmente se considera que estos períodos han de ser de, al menos, 20 o 30 años. Hay que destacar que a la hora de describir el clima cuanto más lejano sea el periodo con respecto al presente, mayor será la incertidumbre asociada.

Una vez identificadas las amenazas, se identificarán las cadenas de impacto relevantes. La generación y caracterización de cadenas de impacto para analizar cada uno de los riesgos climáticos es otro planteamiento clave de la metodología propuesta.

Esta herramienta analítica está destinada a entender, sistematizar y priorizar los factores que determinan el riesgo climático del proyecto Parque Eólico Tramontana. En la misma se identifican todos los elementos que integran el concepto de riesgo.

Una señal climática puede generar un impacto físico directo (p.ej. una lluvia torrencial puede incrementar la escorrentía en un área), así como una secuencia de impactos intermedios que finalmente conducen a que se materialice un riesgo. Continuando con el ejemplo anterior, el incremento de la escorrentía causado por la lluvia torrencial incrementaría el nivel de un río que, a su vez, a varios kilómetros de distancia, podría causar una inundación que dañe un elemento de la infraestructura sensible al agua (p.ej. un equipo eléctrico). De este modo, este

elemento, por su ubicación y características, se encuentra expuesto a las lluvias torrenciales que puedan caer aguas arriba de su localización.

Paso 3: Análisis de la vulnerabilidad

Para comprender este paso, en primer lugar, es importante aclarar uno de los conceptos clave en la adaptación al cambio climático: el concepto de vulnerabilidad. La misma se refiere a la propensión o predisposición de un sistema dado a verse afectado por una amenaza y depende de la sensibilidad o susceptibilidad al daño y de la capacidad para hacerle frente y adaptarse. Es decir:

$$\text{Vulnerabilidad} = f(\text{sensibilidad, capacidad adaptativa})$$

Recordemos que la sensibilidad es el grado en que el sistema de estudio se ve afectado de forma positiva o negativa por la variabilidad de las variables climáticas. La capacidad de adaptación, por su parte, hace referencia a la capacidad de los sistemas para adaptarse a los daños potenciales del cambio climático, aprovechar oportunidades o responder a sus consecuencias.

En este marco, el análisis de vulnerabilidad comprende el proceso por el cual se determina el grado de predisposición del proyecto a verse afectado por la amenaza y es de características particulares, ubicación, posibilidades de intervención y modificación del mismo, etc.

De los dos conceptos que contempla, la sensibilidad puede en muchas ocasiones tratarse de manera cuantitativa, ya que, para muchas actividades, es posible establecer una relación directa entre las variables climáticas (y su cambio) y el comportamiento del proyecto.

Paso 4: Identificación de opciones de adaptación.

Una vez identificados los riesgos del proyecto, el objetivo es tratar de identificar y priorizar qué acciones son necesarias y su factibilidad mediante el análisis de una gama de posibles medidas tanto estructurales como no estructurales para abordar los riesgos climáticos identificados. Dichas medidas serán lo más específicas posible y, siempre que sea viable, se definirán parámetros de referencia cuantificables que permitan su monitoreo y supervisión en el tiempo.

Análisis de la Variabilidad Climática y el Cambio Climático en la Zona de Desarrollo del Proyecto Parque Eólico Tramontana.

El proyecto se localiza en la Provincia de Chiriquí, Distrito de Gualaca en el Corregimiento de Hornito, entre Fortuna, Valle de la Mina y Los Planes, dentro de áreas de la Reserva Forestal de Fortuna. En la tabla continuación, se muestran las coordenadas geográficas en Datum WGS 84, del emplazamiento donde se desarrollará el proyecto:

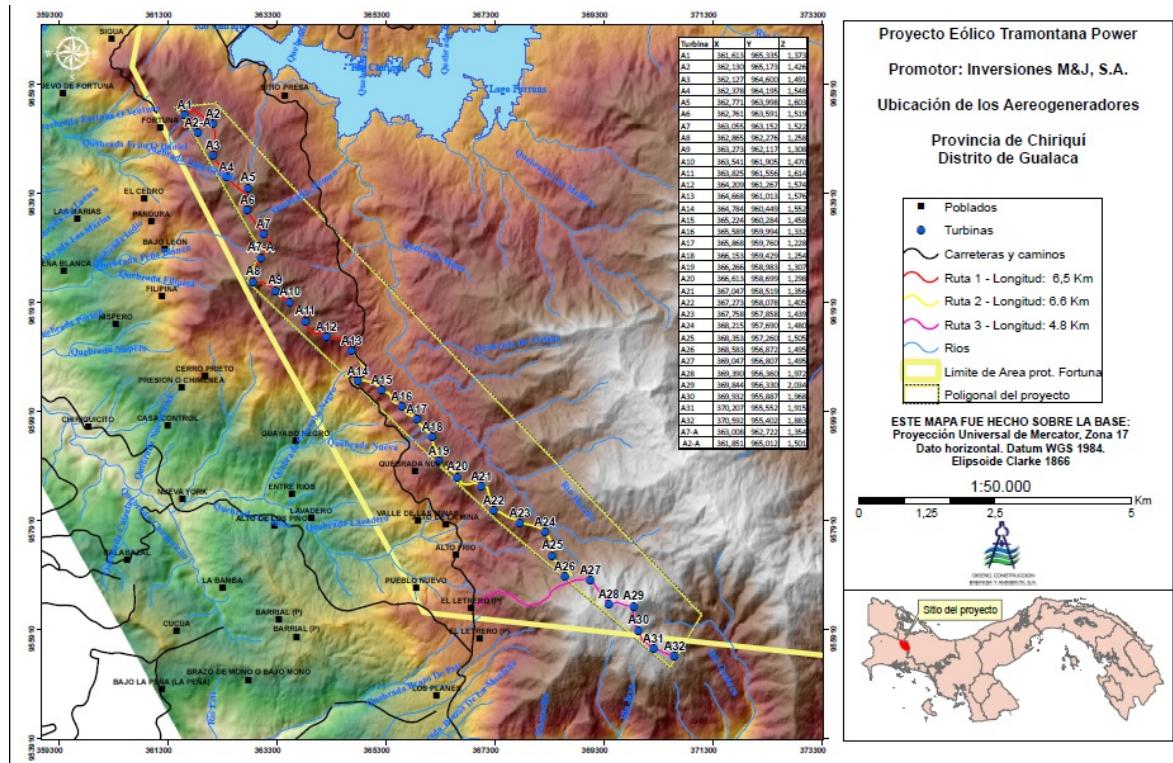
Tabla 1: Emplazamiento del Proyecto.

Punto	Coordenadas Proyección UTM – DATUM WGS 84	
	Este	Norte
1	361454.92	965457.49
2	361741.28	965035.91
3	362821.84	963174.56
4	362982.20	962959.16
5	362925.09	962754.46
6	362868.69	962241.41
7	366305.29	958738.75
8	370519.99	955202.52
9	371091.93	956177.93
10	363590.26	964129.42
11	362223.66	965443.87

Fuente: Resolución AN N° 16097-Elec de ASEP

El emplazamiento de este proyecto se localiza aproximadamente a 27 km de distancia al norte del pueblo de Gualaca, a 52 km del Poblado de Caldera, que a su vez se encuentra a una distancia aproximada de 62.7 km por carretera de la Ciudad de David como se muestra en la figura a continuación.

Figura 3: Plano General del Proyecto, Escala 1:50,000



Fuente: DICEASA, 2020.

Caracterización del Territorio.

Según la clasificación de McKay, la zona donde ubica el proyecto presenta los siguientes tipos de clima:

- Clima tropical de montaña baja; y
- Clima oceánico de montaña baja.

El clima tropical de montaña baja aparece en las montañas de la vertiente del Pacífico situadas arriba de los 900-1,000 msnm. Ocupa un amplio sector montañoso de Chiriquí, principalmente de la Cordillera de Talamanca. Igualmente, se encuentra presente en las cimas más altas de Veraguas, Coclé, Los Santos y Darién. A pesar de que sus totales de precipitación resultan altos, el efecto de foehn⁴ que se produce a principios del año, seca

⁴ Un viento foehn es un tipo de viento seco que baja por la ladera que aparece en el lado de sotavento de una cordillera. Es un viento que impide la lluvia que es el resultado del subsiguiente calentamiento adiabático del aire que ha cedido la mayor parte de su humedad en las laderas de barlovento

considerablemente las vertientes del Pacífico, que crea así condiciones favorables para la incidencia de incendios en las regiones boscosas y de matorrales.

El clima oceánico de montaña baja está presente en las vertientes a barlovento del alisio nòrdico de más de 900-1,000 metros de Bocas del Toro, extendiéndose también a sectores montañosos altos de Boquete y Gualaca en Chiriquí. Es fresco, muy lluvioso y sin estación seca. En Alto Lino, Boquete, a los 1,450 msnm la temperatura promedio anual se estima en 18 °C y los totales pluviométricos son de 3,710 mm al año. Prácticamente no hay estación seca, salvo algunas semanas en febrero.

En atención a la clasificación köppeniana, el clima predominante en casi toda el área del proyecto es el clima tipo Ami, caracterizado por precipitaciones anuales mayores de 2,500 mm. con un relativo período de sequía que se extiende por 2 o 3 meses; las temperaturas medias son mayores a 18 C° todo el año, se presentan en las aéreas más elevadas y montañosas del distrito.

El Distrito se ubica en dos regiones morfo estructurales del relieve. La primera corresponde a las montañas y macizos de origen ígneo denominada Cordillera Central de Panamá, arco montañoso que representa el dorsal del relieve panameño y que a su vez constituye la línea divisoria entre la vertiente del Pacífico y el Mar Caribe. Se trata de un eje de antiguos conos volcánicos del terciario, con altitudes comprendidas entre los 2,000 y 2,200 metros (máximo), sobre el nivel del mar.

La segunda comprende las regiones bajas y planicies. Áreas deprimidas con altitudes hasta 200 metros sobre el nivel del mar, constituidas por rocas sedimentarias marinas de edad terciaria, con topografía plana y poco ondulada y rellenos residuales de colinas. Es de tipo sabana que baja suavemente descansando en la parte más baja de los límites correspondientes al sur del Distrito.

Los ríos que recorren el territorio del Distrito desembocan en la Vertiente del Pacífico y corresponden a la región hidrográfica de Chiriquí Occidental, específicamente al derrame del valle tectónico oriental del Volcán Barú.

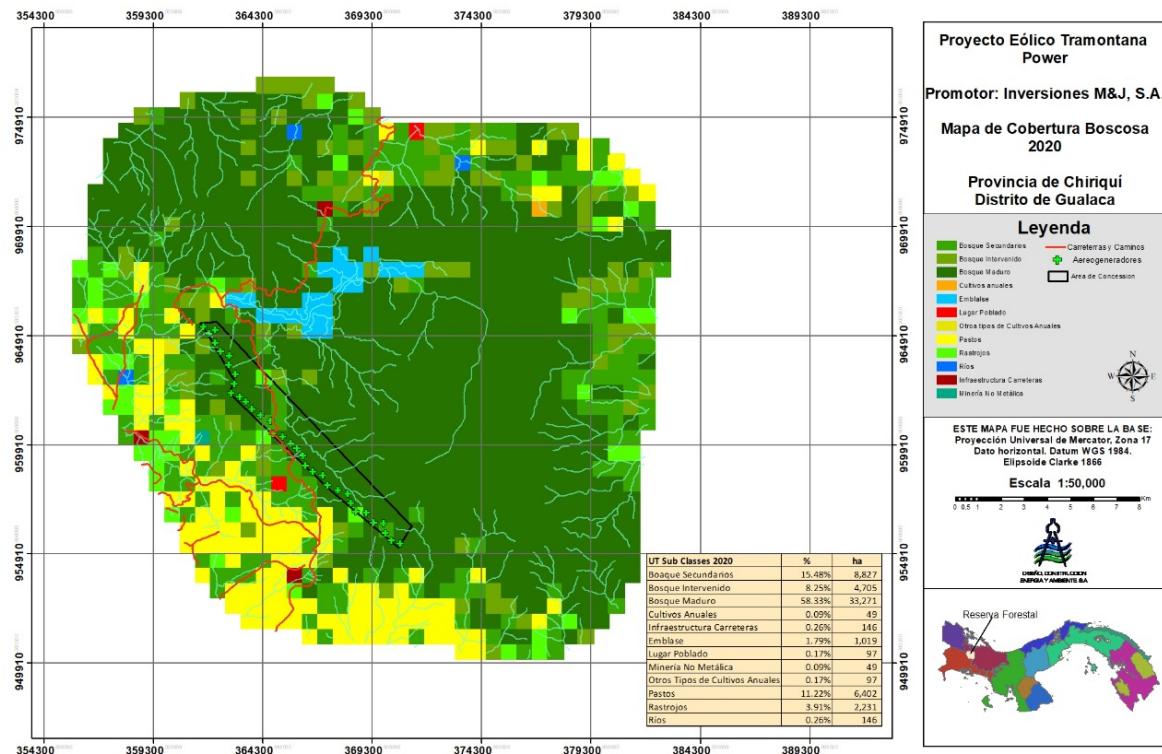
Dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, (SINAP), en Panamá se cuenta con la categorización de Reserva Forestal, con un total de trece (13), una de las cuales es la Reserva Forestal de Fortuna. La misma se ubica 40 kilómetros en línea recta al noroeste de David a 35 kilómetros al suroeste del Volcán Barú. La reserva forestal de Fortuna comprende unas 20,653 hectáreas de superficie territorial (20.653 kilómetros cuadrados), ubicadas donde termina la Cordillera de Talamanca y de allí en parte de la Serranía del Tabasará, entre los distritos de Gualaca y San Lorenzo.

Según el Atlas Ambiental de Panamá, establece que en el distrito de Gualaca se encuentra presente en dos de las ecorregiones terrestres. Los Bosques Montanos de Talamanca, los cuales se localizan en territorio comprendido entre Costa Rica y Panamá, abarcan 15,991 km². Los Bosques húmedos del lado Pacífico del Istmo que se sitúan en territorios de Costa Rica y Panamá. Tienen 28,881 km². En el cual sobresale la diversidad biológica.

En el documento denominado *Inventario de los Humedales Continentales y Costeros de Panamá*, publicado por el Centro Regional Ramsar para la Capacitación e Investigación sobre Humedales para el hemisferio occidental, Panamá 2010; aparecen registrado el Humedal en área protegida denominado Embalse Fortuna, localizado en la Reserva Forestal de Fortuna. El uso más común de los suelos existentes en el distrito de Gualaca es para la ganadería, (de tipo extensiva), con aprovechamiento de pastos naturales y localmente introducidos; también existen áreas con cultivos anuales y/o temporales y otras con cultivos permanentes; asimismo en las partes más altas se encuentran sectores donde existen plantaciones forestales y remanentes de formaciones boscosas.

En el área específica del proyecto Parque Eólico Tramontana predominan las coberturas de Bosque maduro y Bosque Secundario, de acuerdo al mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2020.

Figura 4: Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra 2020



Fuente: DICEASA

Variabilidad Climática.

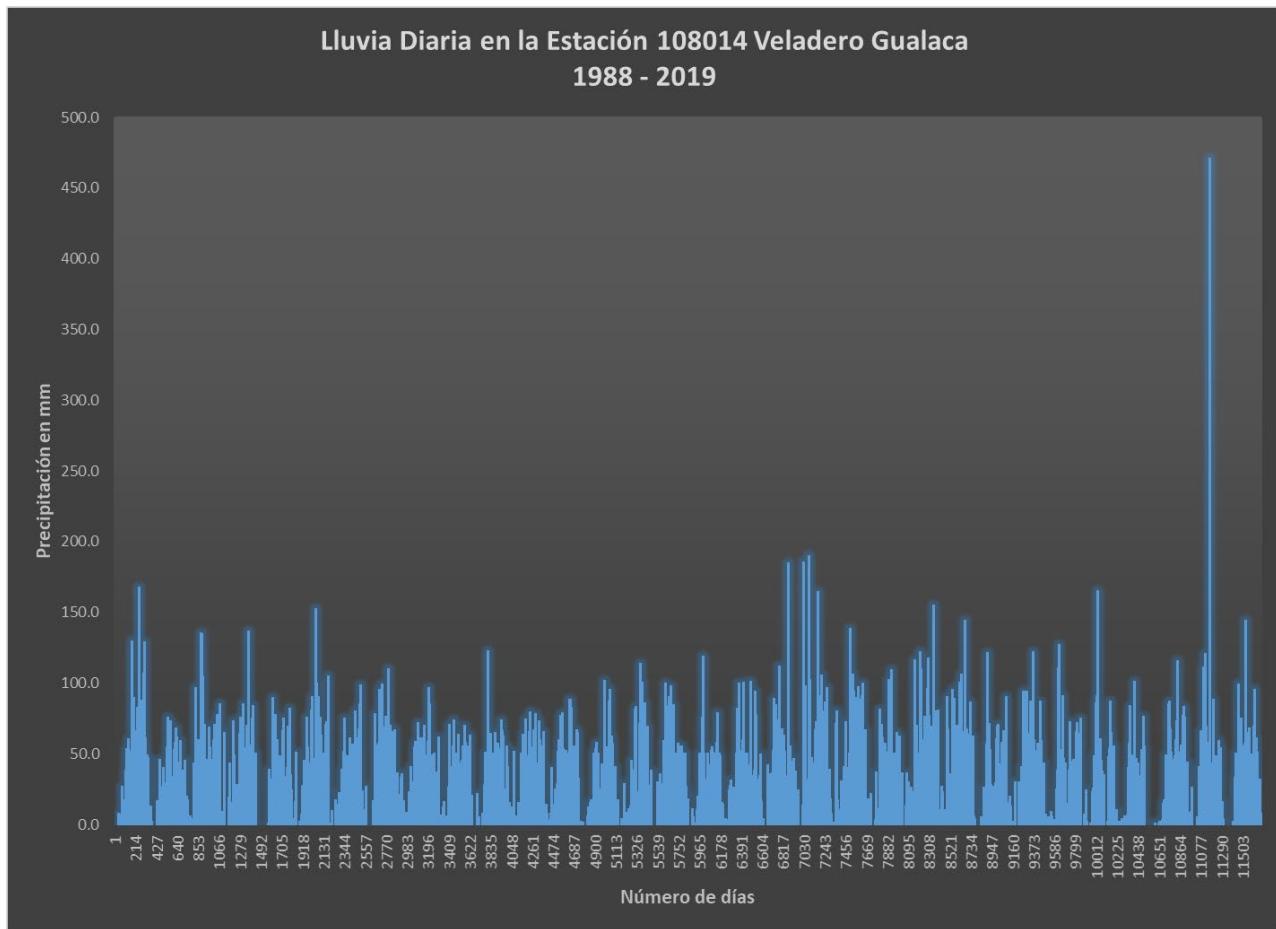
La evaluación del clima actual para el análisis de riesgos puede llevarse a cabo a distintos niveles de detalle dependiendo del nivel de aproximación que se estime más oportuno en el análisis.

Para el caso de este análisis se trabaja con observaciones climáticas de precipitación y temperatura de la estación Veladero Gualaca (108014), que es una estación tipo “C Convencional” con una serie temporal de datos 1998-2019. Registros de estaciones meteorológicas de la gerencia de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A (ETESA).

A continuación podemos ver en la figura 6 el comportamiento de la precipitación en esta estación meteorológica y se puede resaltar eventos climáticos puntuales que sobrepasan hasta tres veces el valor promedio de la precipitación diaria durante la estación lluviosa de la zona,

considerando estos valores como eventos extremos de precipitación marcando una variabilidad climática que tiende al alza en las concentraciones de lluvia diaria en la zona.

Figura 5: Lluvia Diaria Estación Veladero Gualaca



Fuente: DICEASA con datos de ETESA

Haciendo un análisis detallado de los valores registrados podemos identificar que los días en que se tiene mayores precipitaciones y que son superiores a los 150 mm de lluvia (Agosto 27 de 1988 con 167.4mm; Agosto 09 de 1993 con 152.0mm; Octubre 15 de 2006 con 184.5mm; Marzo 17 de 2007 con 185.5mm; Mayo 17 de 2007 con 189.5mm; Agosto 12 de 2007 con 164.2mm; Noviembre 04 de 2010 con 155.2mm; Junio 03 de 2015 con 165.0mm y Julio 22 de 2018 con 471mm) están directamente relacionados con la ocurrencia del Evento meteorológico de La Niña como podemos observar en la tabla 2.

De acuerdo a los datos registrados de precipitación podemos observar que los eventos de variabilidad climática asociados a déficit de lluvia, principalmente sequía, no se llegan a distinguir en los registros, por lo que en el caso de variabilidad climática podemos concluir que la señal que se identifica es la influencia de eventos asociados a lluvias por encima de lo normal y cuando estos coinciden con años de La Niña tienden a ser lluvias que se pueden categorizar como lluvias extremas.

Tabla 2: Ocurrencia de Eventos El Niño y La Niña.

El Niño				La Niña		
Débiles	Moderados	Fuertes	Muy Fuertes	Débiles	Moderados	Fuertes
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84		1999-00
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
2018-19				2017-18		
2019-20						

Fuente: <https://ggweather.com/enso/oni.htm> revisado el 13 de noviembre de 2020.

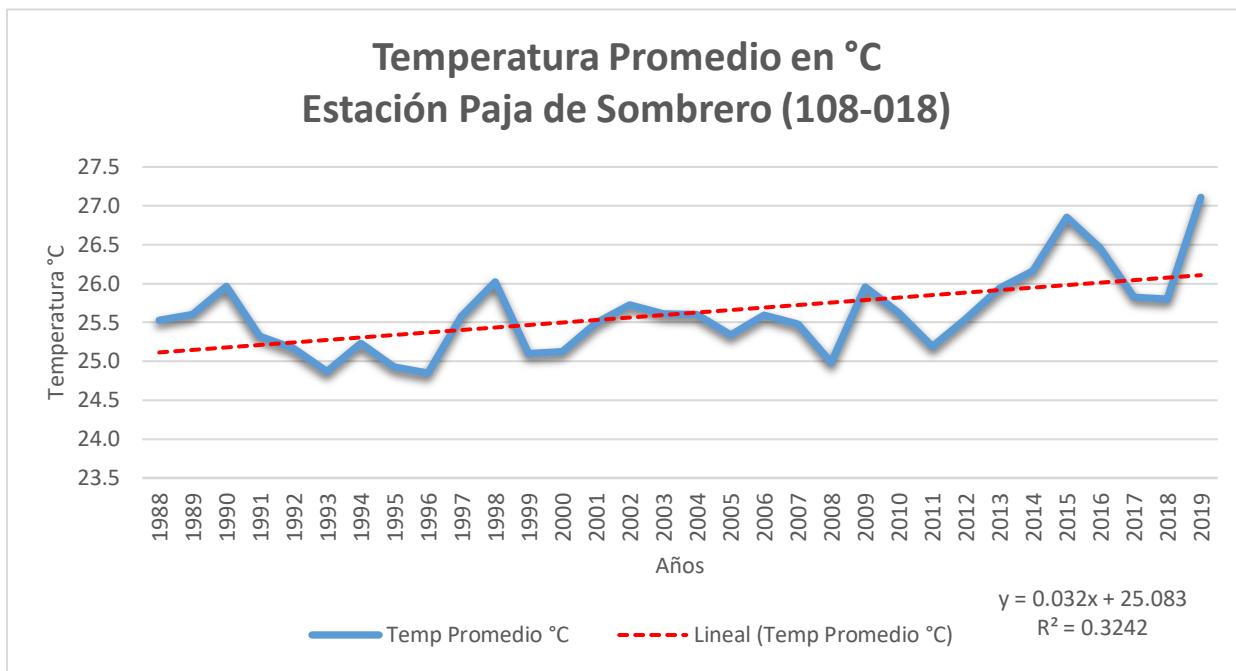
Para el caso de la variable temperatura la estación meteorológica Veladero Gualaca no presenta una serie temporal que permita realizar un análisis confiable por lo que se determinó realizar una evaluación de la estación Paja de Sombrero (108-018) que se encuentra próxima a la zona del proyecto dentro del Distrito de Gualaca, corregimiento de Paja de Sombrero.

Como se puede observar en la figura 7 el comportamiento de las temperaturas promedio muestran un incremento de aproximadamente 1.8°C en el periodo de 31 años de análisis de datos con los que cuenta la estación.

En la figura 8 se puede ver con detalle las temperaturas máximas y mínimas en donde se observa que las temperaturas máximas registran un incremento de aproximadamente 0.3°C mientras que las temperaturas mínimas muestran un valor de cambio de aproximadamente 1.7°C , quedando evidenciado que el aumento de las temperatura promedio está relacionado principalmente al incremento en los valores de las temperaturas mínimas.

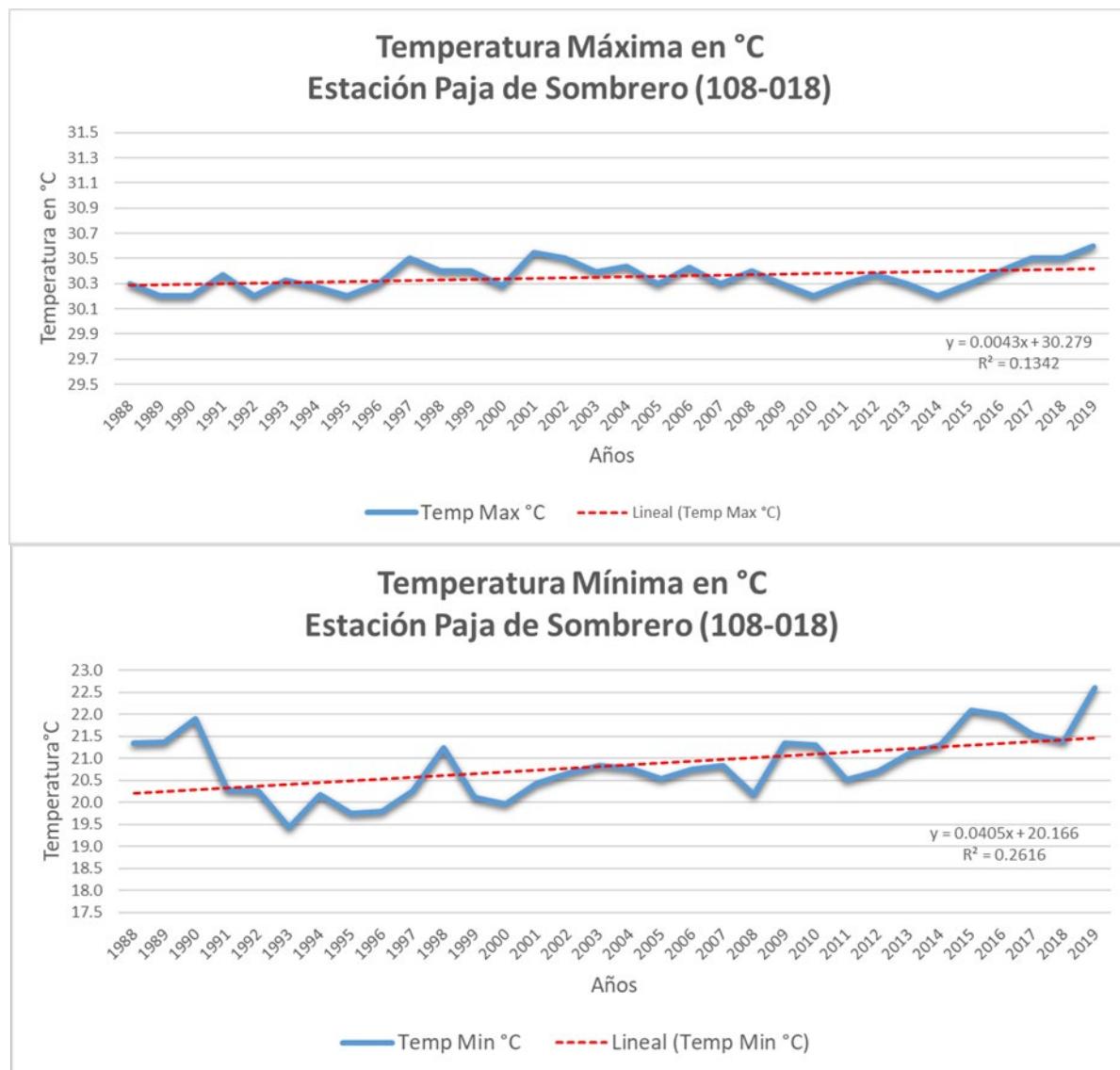
El comportamiento de los datos de temperatura observados en la estación Paja de Sombrero (108-018) es coincidente con la literatura en general en donde se hace referencia a que la señal de incrementos de temperaturas producto del calentamiento global se verá principalmente en las temperaturas mínimas.

Figura 6: Temperatura Promedio Estación Paja Sombrero



Fuente: DICEASA con datos de ETESA

Figura 7: Temperatura Máxima y Mínima Estación Paja Sombrero



Fuente: DICEASA con datos de ETESA

Clima Futuro (Cambio Climático)

La evaluación del clima futuro tiene por objetivo actualizar los valores utilizados para el clima actual, bien las series temporales, bien los estadísticos, a su valor más representativo para el escenario y el periodo horizonte que se esté considerando. Esta actualización se realiza comparando los valores predichos por diversos modelos climáticos (GCM o RCM) para el periodo futuro y para el actual tal para el caso de este análisis se hace una revisión de la última serie de escenarios futuro del clima desarrollados para Panamá mediante la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático.

Es importante destacar aquí tres aspectos importantes de la evaluación del clima futuro para el análisis de impactos y riesgos:

- La primera es recordar que los modelos climáticos presentan sesgos, errores sistemáticos, que hacen que sus predicciones no sean equivalentes a observaciones y que, por tanto, no pueden utilizarse directamente para informar los modelos de impacto.
- Otro punto importante a considerar es el hecho de que las predicciones de los modelos climáticos son agregaciones en el espacio y el tiempo, y por tanto presentan la variable de forma suavizada.
- Por último, es importante destacar que la forma de evaluar correctamente el valor e incertidumbre de los efectos del cambio climático es propagar las predicciones de varios modelos climáticos a través del modelo de impacto para realizar la agregación sobre las predicciones de impacto y no sobre las predicciones de los modelos climáticos.

De acuerdo a su régimen pluviométrico el país se divide en tres regiones bien definidas según Hidrometeorología de ETESA (http://www.hidromet.com.pa/clima_panama.php) de las cuales nos vamos a concentrar en la región pacífica que es a la que corresponde nuestra zona de estudio.

Región Pacífica: Se caracteriza por abundantes lluvias, de intensidad entre moderada a fuerte, acompañadas de actividad eléctrica que ocurre especialmente en horas de la tarde. La época de lluvias se inicia en el mes de mayo y dura hasta noviembre, siendo los meses de septiembre y octubre los más lluviosos; dentro de esta temporada se presenta frecuentemente un período relativamente menos lluvioso conocido como Veranillo, entre julio y agosto. El período entre diciembre y abril corresponde a la estación poco lluviosa. Las máximas precipitaciones en esta región están asociadas directamente a la Zona Intertropical de Convergencia y su combinación con sistemas tropicales como ondas tropicales y cercanías de ciclones tropicales en cualquiera de sus fases, ya sea depresión tropical, tormenta u huracanes.

Para la selección de los Modelos de Circulación General (MCG) (ver tabla 3) a utilizar para los escenarios de Cambio Climático para Panamá, se consideraron los disponibles por medio del proyecto “Climate Model Intercomparison Program” en su quinta generación (CMIP5) disponible en línea⁵.

La información obtenida fueron de datos mensuales existentes para las variables: precipitación, temperaturas (media, máxima y mínima), humedad relativa, presión y dirección y velocidad del viento.

Tabla 3: Listado de Modelos de Circulación Global disponibles para la elaboración de escenarios de clima futuros.

Modelo	Institución	Resolución (º de arco ⁶)
bcc-csm1-1-m	BCC – Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	2.8125x2.7906
CCSM4	NCAR – National Center for Atmospheric Research	1.25x0.9424
CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence	1.875x1.8653
FIO-ESM	FIO – The First Institute of Oceanography, SOA, China	2.81x2.77
GFDL-CM3	NOAA-GFDL – NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	2.5x2
GISS-E2-H	NASA-GISS – NASA Goddard Institute for Space Studies	2.5x2
GISS-E2-R	NASA-GISS – NASA Goddard Institute for Space Studies	2.5x2
HadGEM2-AO	NIMR/KMA – National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration	1.88x1.25
IPSL-CM5A-LR	IPSL - Institut Pierre-Simon Laplace	3.75x1.8947
IPSL-CM5A-MR	IPSL - Institut Pierre-Simon Laplace	2.5x2.5352
MIROC5	MIROC – Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	1.40625x1.4008

⁵ http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data_portal.html

⁶ Un grado de arco equivale aproximadamente a 111 kilómetros.

Modelo	Institución	Resolución (º de arco ⁶)
MIROC-ESM-CHEM	MIROC – Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	2.8125x2.7906
MIROC-ESM	MIROC – Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	2.8125x2.7906
MRI-CGCM3	MRI – Meteorological Research Institute	1.125x1.12148
NorESM1-ME	NCC – Norwegian Climate Centre	2.5x1.8947

Fuente: *Tercera Comunicación Nacional sobre cambio Climático, MiAMBIENTE 2016*

Tomando en cuenta la importancia de reducir la incertidumbre asociada en los datos de registro, así como su aplicación y consideración en la seguridad hídrica, estos escenarios climáticos futuros tomaron en consideración la nueva regionalización climática de Panamá⁷ basada en la cantidad de agua precipitada por mes, por año y días con lluvias por meses (CATHALAC. 2016).

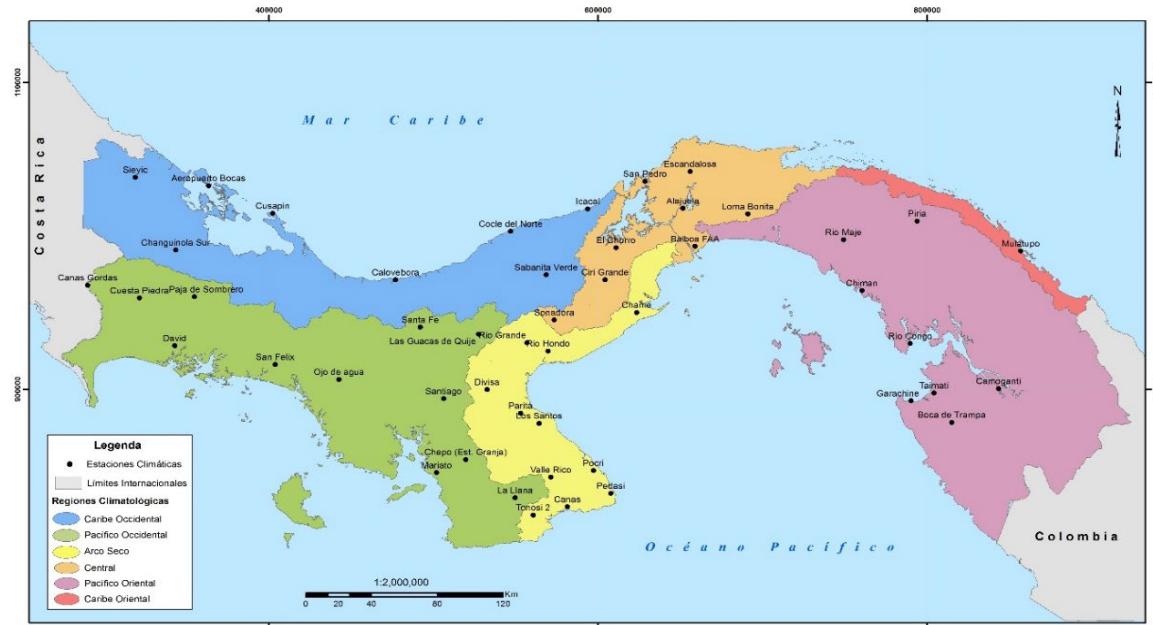
Como criterio de selección para las regiones se consideró, cantidad de lluvias por meses, y por días que permitió hacer una división de zonas donde está bien definido el periodo poco lluvioso o seco y el más lluvioso, y de ahí se determinó que en cinco regiones se podía seleccionar ambos periodos aunque con características diferentes una regiones donde la estación seca es muy corta y extremadamente seca y otras más largas no tan secas entre otras características. Además se observó que en una región del país se presentan lluvias durante todo el año.

Tomando en consideración que el régimen anual de la temperatura en Panamá puede considerarse como estable, y que sólo es motivo de varianza el efecto orográfico, entonces la variable de la precipitación es el mayor y más importante elemento de la variabilidad climática. De hecho, las variaciones en la pluviosidad tanto en el espacio como en el tiempo, permite la coexistencia de distintos tipos climáticos intertropicales.

⁷ CATHALAC, 2016. Una nueva Regionalización Climática de Panamá como aporte a la seguridad hídrica, trabajo de la División de Investigación Aplicada y Desarrollo. Panamá. ISSN en trámite

De esta manera, en la actualidad se cuenta con una regionalización del país con seis regiones climatológicas (ver figura 9).

Figura 8: Mapa de Regiones Climática de Panamá Basada en la Precipitación



Fuente: CATHALAC 2016

Las regiones que se identifican son las siguientes:

- **Región Caribe Occidental:** Esta región abarca toda la porción caribeña desde Bocas del Toro, parte de comarca Ngabe-Bugle, Veraguas y costa abajo de Colón.
- **Región Pacífico Occidental:** Esta región cubre Chiriquí, parte interior de comarca Ngabe-Bugle, interior y sur de Veraguas, porción oeste de Herrera y Los Santos.
- **Región del Pacifico Central:** Esta región incluye las porciones este de Los santos, Herrera, sur de Coclé y sur de gran parte de Panamá Oeste. (Arco Seco de Panamá)
- **Región Central:** Esta región abarca toda la porción del centro del territorio de las provincias de Coclé, Panamá oeste, Panamá metro y resto de la provincia de Colón hasta su frontera con comarca Guna Yala.
- **Región Pacifico Oriental:** Esta región comprende gran parte de la provincia de Panamá este, comarcas Madugandí, Wargandí, las Emberas Wounaan y Darién.

- **Región Caribe Oriental:** Esta región se refiere solo la porción que cubre la comarca Guna Yala.

De igual manera que en la definición del régimen pluviométrico del país definido por ETESA, para efectos de este estudio vamos a concentrar el análisis en el resultado de los escenarios de clima futuro para la región Pacífico Occidental.

En base a la disponibilidad de información, se consideraron los datos de 8 modelos de circulación general (ver tabla 4) los cuales:

- Son los que presentan mayor disponibilidad de sus datos,
- Presentan información para cada uno de los 4 Escenarios de Emisión llamados Trayectoria de Concentración Representativa (RCP por sus siglas en inglés) recomendados por el IPCC, es decir, RCP2.6, RCP4.0, RCP6.0 y RCP8.5; y
- Muestran una representatividad de los diferentes Centros climáticos que aportan al IPCC en términos de los Modelos de Circulación General.

Tabla 4: Escenarios de Clima Global para la generación de escenarios climáticos futuros para Panamá

Centro Modelador	Modelo	Institución
CMCC	CMCC-CESM	Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici
CNRM-CERFACS	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre European de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique
MIROC	MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
MPI-M	MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology
MRI	MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute
NASA GISS	GISS-E2-R	NASA Goddard Institute for Space Studies
NCC	NorESM1-M	Norwegian Climate Centre
Met Office	HadGEM2-ES	Hadley Centre

Fuente: CATHALAC 2016

De acuerdo al análisis de los datos históricos la variabilidad climática interanual de las precipitaciones en la región Pacífico Occidental presenta mayor movilidad en cuanto a

acumulados anuales de lluvias que van desde 2,200 hasta 3,400 mm aproximadamente con un promedio anual de 3,100 mm. Siendo los años con eventos El Niño donde se registran los menores acumulados anuales como ejemplo el año de 1997, seguido por 1992 y 2002.

Mientras que los años con mayores acumulados de precipitaciones se corresponden con años neutros y transición a La Niña con un máximo en el 2010 con casi 3,800 mm. Correspondiéndose esta evidencia con los resultados expuestos en el componente anterior sobre variabilidad climática y los resultados del análisis de las lluvias de la estación Veladero Gualaca.

Teniendo presente que la variabilidad interanual articula las variaciones climatológicas que hacen presencia de año en año, uno de los fenómenos enmarcados dentro de este tipo de variabilidad es el fenómeno del Niño – Niña (ENSO) y que queda claramente evidenciada la influencia que tiene el Evento la Niña en la climatología de la región.

En el caso de las temperaturas esta región presenta como promedio una temperatura media de 24.0 grados Celsius, la temperatura máxima es de 28.6 grados Celsius y una temperatura mínima de 19.4 grados Celsius. Al igual que la región anterior se destacan algunos máximos que se corresponden con años de eventos El Niño sobre todo los clasificados como eventos moderados y fuertes. En esos años las temperaturas para esta región suben como promedio entre 0.5 a 0.7 grados Celsius.

Para el caso de los resultados de escenarios de clima futuro a representar en este análisis se va a considerar un horizonte temporal al 2050 y el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero del IPCC RCP8.5, teniendo esto en consideración tenemos que para el caso de la región Pacífico Occidental podemos resaltar los siguientes resultados:

- Durante los meses de mayor precipitación (mayo-junio y sep-oct) los eventos extremos de lluvias podrán ocurrir, de manera muy similar a lo que climáticamente se ha manifestado.

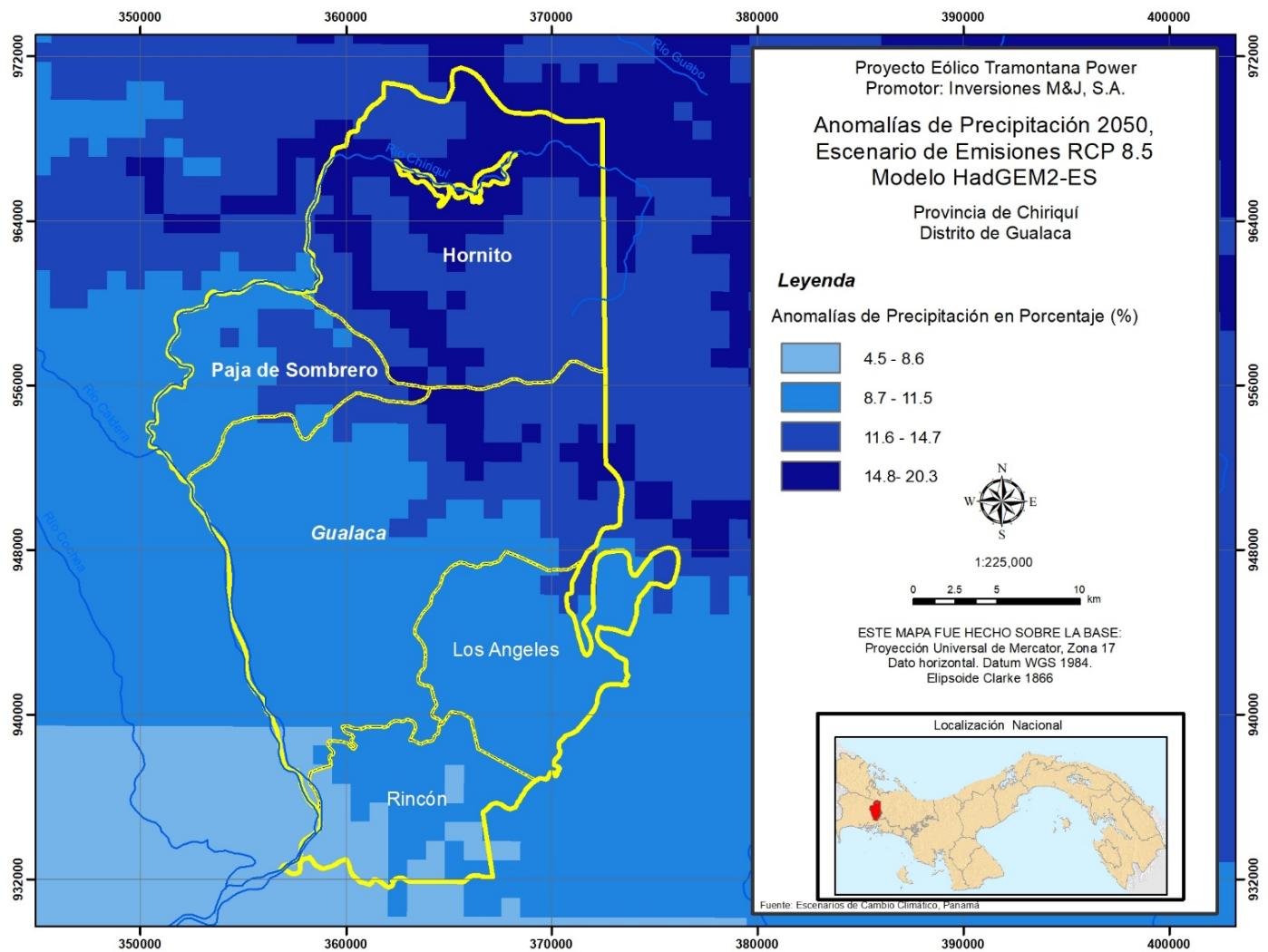
- La región presentaría una anomalía positiva en la precipitación con valores mayores de hasta 5.60% , lo que representa un acumulado promedio de precipitación de 3,028.64 mm anuales.
- Bajo un RCP8.5, las condiciones hacia el 2050 tenderán rango de cambio que oscilan entre 1°C y 2.4°C. Los valores de cambio más altos lo indican los modelos CCSM4, MPI-ESM-LR y el NorESM1-M.

En base a los resultados de los escenarios de cambio climático para la región Pacífico Occidental en contraste con los eventos de clima actual podemos indicar que hay una relación directa en cuanto al comportamiento de la precipitación tendiente al alza, producto de eventos extremos asociados a la variabilidad climática que se presenta año a año durante la temporada de Huracanes del Atlántico Tropical.

Para acercar los resultados generados por los escenarios de cambio climático se ha procedido a desarrollar un ejercicio más puntual considerando como límite espacial el Distrito de Gualaca teniendo los resultados que a continuación se representan en el mapa de la Figura 10 , como se puede observar en el mapa el modelo señala un incremento de la precipitación en valor entre los 4.5 a los 20.3 por ciento lo que significaría lluvias promedio de entre los 2,600mm a los 3,000mm aproximadamente, mientras que en el mapa de la Figura 11 con los valores de las anomalías en temperatura promedio podemos indicar que de igual forma se observa un incremento que va entre los 2.7°C a los 3.2°C lo que se traduce en temperaturas promedio modeladas al 2050 entre los 29.7°C a los 30.2°C.

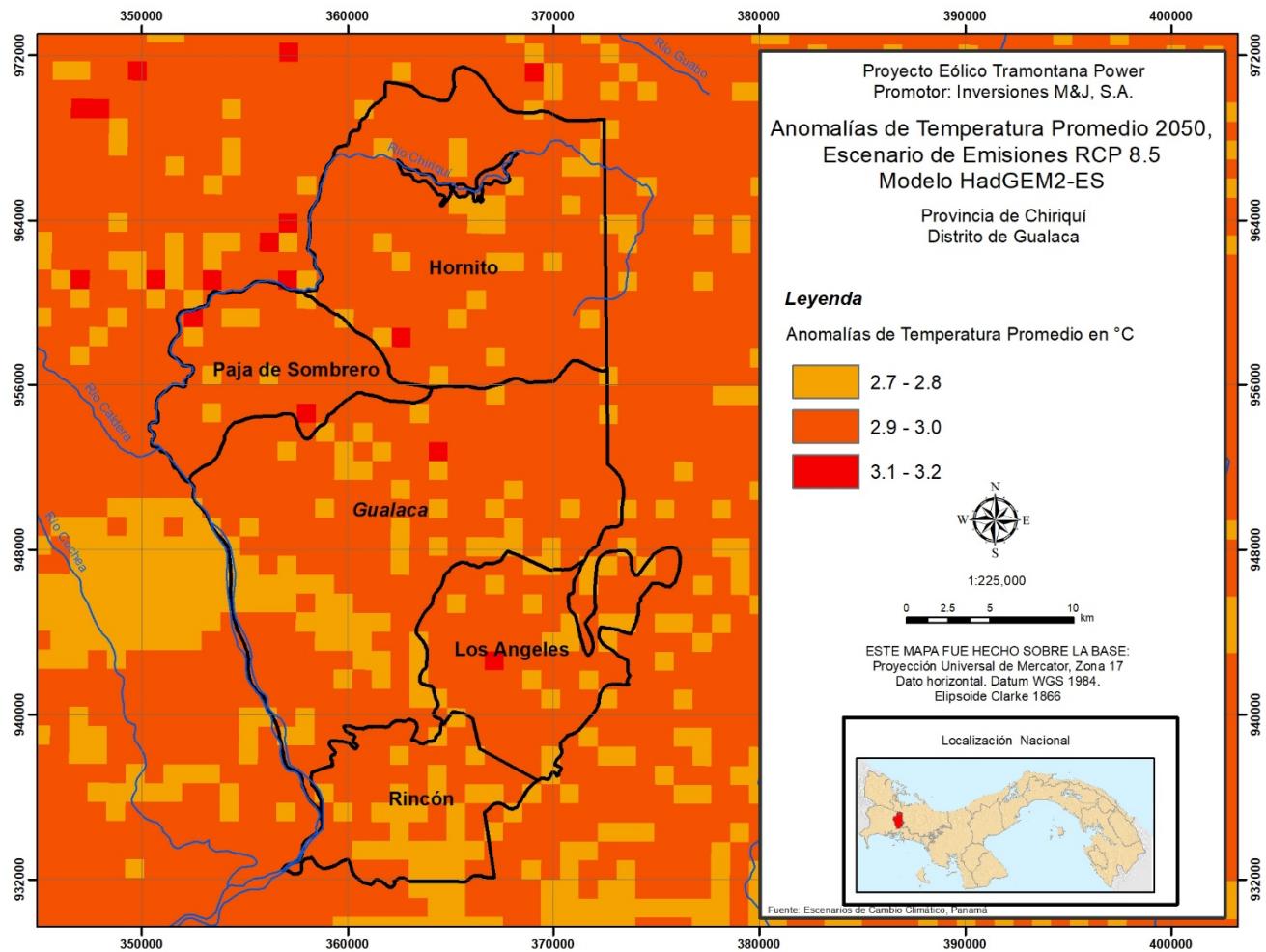
La corrida de estos escenarios al 2050 se realizó considerando un escenario de emisiones RCP 8.5 y sobre la base del modelo HadGEM2-ES, los cuales forman parte de la última generación de escenarios de cambio climático generados para Panamá.

Figura 9: Anomalías de Precipitación al 2050



Fuente: DICEASA 2020

Figura 10: Anomalías de Temperatura al 2050



Fuente: DICEASA 2020

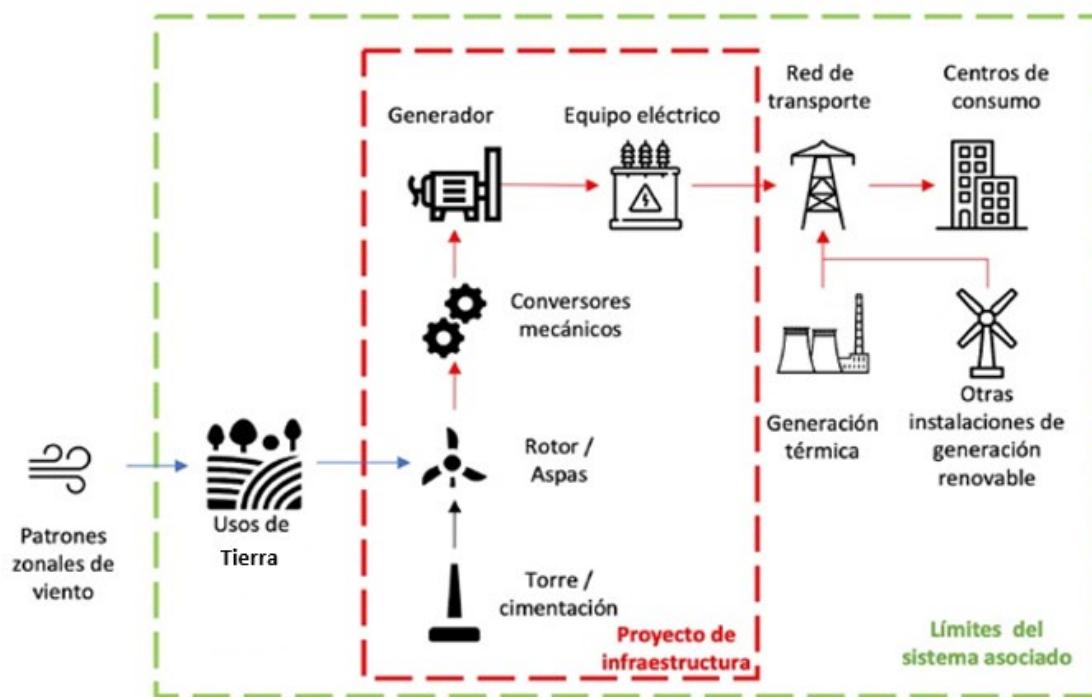
Evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo del Proyecto Parque Eólico Tramontana

Paso 1: Contextualización del proyecto

Una infraestructura de este tipo se puede presentarse como un sistema en el cual se agrupan las distintas partes que lo conforman y que mantiene ciertas interrelaciones con otros elementos externos a la propia infraestructura del proyecto. Debido a estas interrelaciones, cualquier impacto sobre una de las partes puede implicar un impacto sobre otros elementos o, incluso, sobre el conjunto del sistema.

El contexto para la evaluación de riesgos climáticos para el Parque Eólico Tramontana quedaría definido de manera esquemática como representa la figura siguiente.

Figura 11: Contexto de evaluación para el Parque Eólico Tramontana: propuesta de límites del sistema
 Fuente: Guía para el Análisis Detallado del Riesgo Climático; CAF 2019



Tal y como se observaba en el esquema las características concretas del proyecto que están asociadas a este análisis de vulnerabilidad y riesgo es el desarrollo de las infraestructuras para las torres de aerogeneradores.

Desde una perspectiva territorial, más allá del estudio del relieve del entorno del parque de aerogeneradores, la evolución de los usos de tierra del entorno tiene impacto sobre la rugosidad del terreno y por ende, sobre las características del recurso eólico que determinará el diseño de la infraestructura. En este sentido se puede citar el Atlas Eólico Europeo que define clase de rugosidad a partir de la longitud de rugosidad. A modo de ejemplo, un paisaje con mucho arbolado y edificios se considera de alta rugosidad (clase 3 ó 4), una pista de hormigón sería baja rugosidad (clase 0.5) y la superficie del mar tendría una rugosidad de clase 0, en este sentido este un valor a tener presente durante el análisis de vulnerabilidad y riesgo que veremos más adelante en el estudio.

Luego de esta contextualización general podemos definir algunas características propias del proyecto Parque Eólico Tramontana contempla la construcción y operación de una Central de Generación de Eólica de 160MW de potencia, compuesto por 32+2 aerogeneradores /WTG) de 5 MW cada uno.

El emplazamiento del proyecto se ubica en un área de 1,893 hectáreas, concesionada por la ASEP, mediante Resolución AN-16097-Elec del 25 de mayo de 2020.

El área de estudio se desarrolló en una huella directa representativa del proyecto que incluye aproximadamente 52 hectáreas de impactos que van desde temporales hasta permanentes. Es probable que la huella real del proyecto sea menor, pero se ubicaría dentro del corredor propuesto, y por supuesto dentro del área concesionada.

El área de estudio se definió con base a 1.0 hectárea centrado en las ubicaciones representativas de aerogeneradores; un corredor de 4-6 metros de ancho centrado en los caminos de acceso del proyecto, la línea de recolección eléctrica y la línea de transmisión de generación; las áreas de impacto temporal y la subestación del proyecto. La huella exacta de los aerogeneradores individuales dentro del sitio del proyecto se determinaría durante el diseño de ingeniería final y se estima que no sea mayor a 1 Ha, pero generalmente se colocaría a lo largo de las crestas del emplazamiento propuesto hacia el lado oeste.

Entre los componentes que incluirá el proyecto podemos señalar los siguientes que forman parte de este análisis de vulnerabilidad, como se ha detallado previamente en el diseño general del proyecto (Figura 12)

- Aproximadamente 32+2 aerogeneradores capaces de generar de 2 a 5 MW de electricidad cada uno erigidos sobre torres de tubos de acero colocadas sobre cimientos de hormigón, así como las plataformas de aerogeneradores asociados, las áreas de preparación temporal y los transformadores;
- Un enlace de generación en 115 kV que será conectando con el sistema de transmisión de ETESA existente en la subestación de Fortuna;
- Subestación del proyecto ubicada en el sitio;

- Un sistema de recolección de electricidad subterránea que conecta los aerogeneradores entre sí y con la subestación del proyecto;
- Un sistema de comunicación subterráneo (cable de fibra óptica) adyacente al sistema de recolección;
- Un sistema de Adquisición de Datos y Control de Supervisión (SCADA) entre cada aerogenerador, la subestación y entre la subestación del proyecto y la subestación de ETESA para monitorear y controlar la energía de salida del proyecto y la transmisión de energía al sistema;
- Hasta tres torres meteorológicas permanentes;

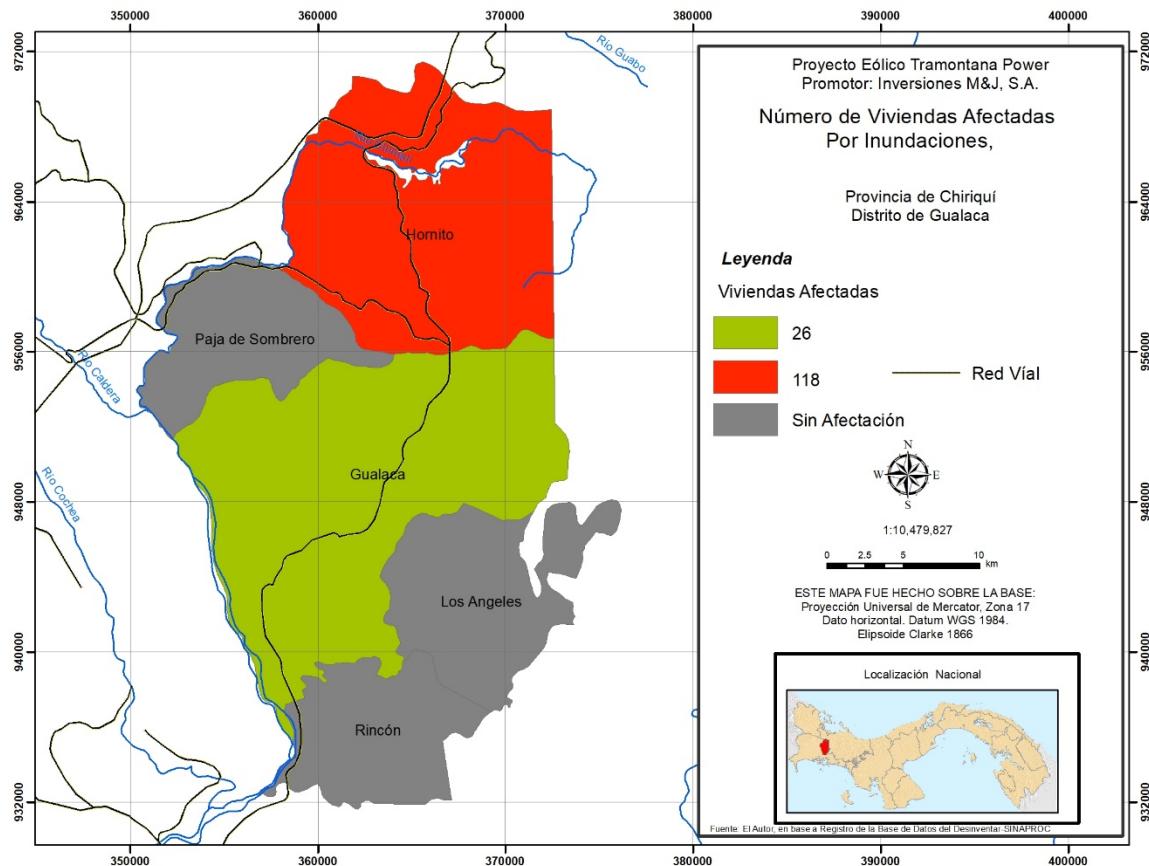
[Paso 2: Identificación de amenazas y valoración de la exposición](#)

Para la identificación de las amenazas y la valoración de la exposición del proyecto Parque Eólico Tramontana se ha identificado una cadena de impacto para cada una de las amenazas de origen climático identificadas para el proyecto.

En base al análisis de la variabilidad climática y la información meteorológica existente en el área del proyecto se puede identificar las siguientes amenazas de origen climático que se asocian al proyecto Parque Eólico Tramontana

- Inundaciones: en base a los datos de la base de Desinventar que es administrada por el Sistema Nacional de Protección Civil, institución oficial encargada de atender los impactos de los eventos hidrometeorológicos, en el Distrito de Gualaca se ha generado una afectación de 144 viviendas por inundaciones, distribuidas de la siguiente manera: 26 viviendas en el corregimiento de Gualaca y 118 viviendas en el corregimiento de Hornito. En la figura 13 podemos observar el mapa con la distribución de estas inundaciones.

Figura 12: Mapa de Viviendas Afectadas por Inundaciones, Distrito de Gualaca.



Fuente DICEASA 2020 en base a DesInventar

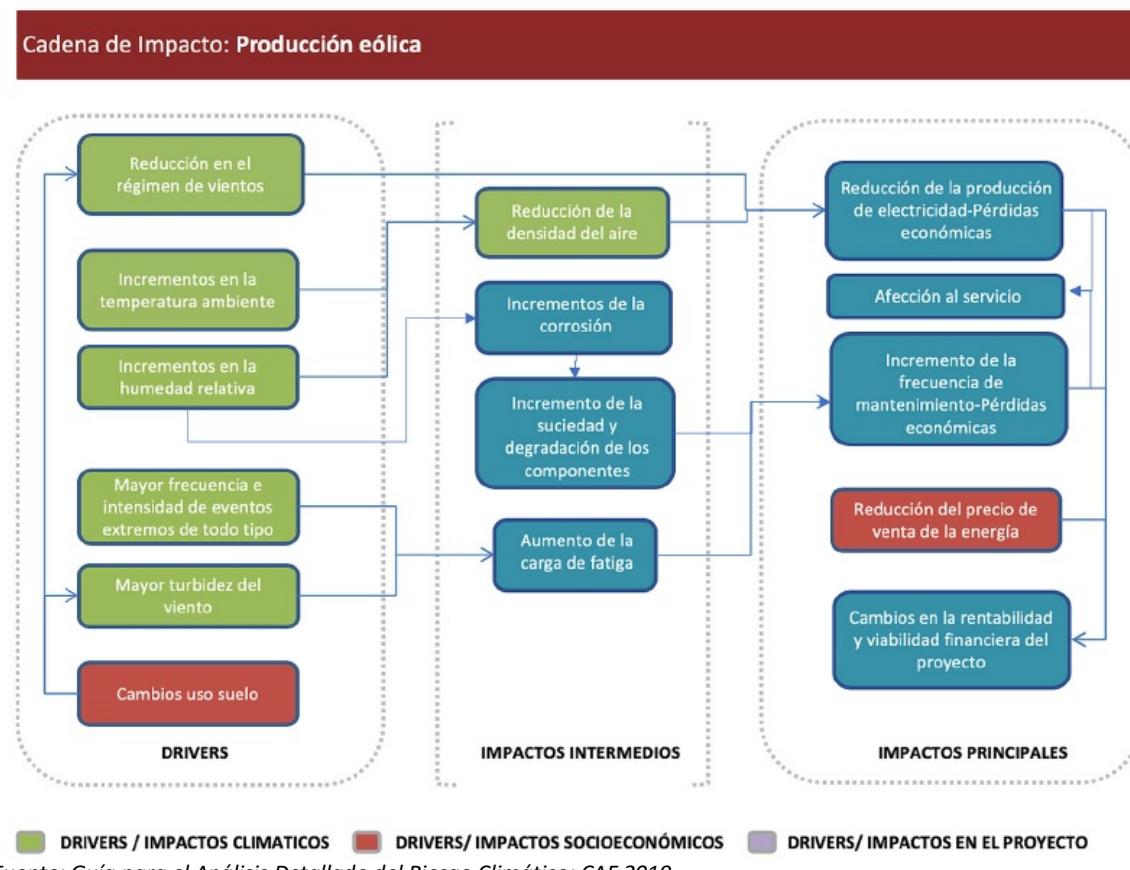
- Deslizamientos: De igual manera para el caso de los deslizamientos se evaluó la base de datos DesInventar con su información para el Distrito de Gualaca y en este sentido se pudo encontrar que las afectaciones por deslizamiento se dan en el corregimiento Cabecera del mismo nombre generando una afectación de 150 viviendas.
- Incremento de la temperatura: El incremento de la temperatura queda de manifiesto luego de analizar los registros de temperatura de la estación Paja de Sombrero en donde se evidencia un incremento de las temperaturas mínimas.

Las dos primeras amenazas están asociadas a eventos extremos de precipitación ya identificados en el análisis de la variabilidad climática, los valores registrados en DesInventar para el período 1990 - 2015 y a los resultados de los escenarios de cambio climático que indican un incremento en las precipitaciones durante la estación lluviosa y que más adelante en la cadena de impactos lo identificamos como “*Mayor frecuencia e intensidad de eventos*

“extremos” y la tercera amenaza (temperatura) está relacionada directamente con los resultados de los escenarios de cambio climático que señalan un incremento de temperatura en el área de emplazamiento del proyecto y en el mismo orden se identifica en la cadena de impactos como “*Incremento en la temperatura ambiente*”.

En la figura 14 se presentan las principales cadenas de impacto que pueden afectar a un proyecto eólico y cuyos impactos relacionados a este proyecto sobre la base de las amenazas ya identificadas se describen con mayor detalle.

Figura 13: Cadenas de impacto del cambio climático para proyectos eólicos



De acuerdo a la cadena de impacto identificada en la figura anterior se identifican los siguientes drivers climáticos asociados al proyecto Parque Eólico Tramontana.

- **Mayor frecuencia e intensidad en eventos extremos:** este parámetro implica un aumento de la carga de fatiga que al final se traduce en un incremento en la frecuencia

de mantenimiento por lo que es determinante en la selección del aerogenerador y su vida útil.

- **Incremento en la temperatura ambiente:** este parámetro implica una reducción de la densidad del aire y, por tanto, se traduce en una reducción de la producción de electricidad del proyecto.

Sobre la base de los drivers identificados podemos relacionarlos en los siguientes grupos impactos:

- Reducción de la vida útil de la infraestructura
- Incremento en los costos de mantenimiento
- Reducción en la producción de electricidad.

Como se puede observar, los principales impactos del cambio climático que podrían tener una influencia sobre las infraestructuras del proyecto Parque Eólico Tramontana se podrían agrupar en (i) Impacto sobre la producción de energía; (ii) Impacto sobre la vida útil de la infraestructura y (iii) Impacto sobre la operación y el mantenimiento, traduciéndose los mismos en impactos en la rentabilidad del proyecto.

A continuación tabla resumen de los principales drivers climáticos que estarían influyendo sobre el proyecto

Tabla 5: Principales drivers climáticos que incidirían en el proyecto Parque Eólico Tramontana

Proyecto	Driver climático	Efecto/Impactos Intermedio	Impacto económico/Consecuencia
Parque Eólico Tramontana Power	Temperatura ambiente	Cambio en la densidad del aire y por tanto en la generación de energía eólica.	Cambios en el rendimiento económico del proyecto. Integridad de la infraestructura – rentabilidad del proyecto. Puede afectar al servicio.
	Eventos extremos	Carga de las turbinas y daños a infraestructura (palas).	Integridad de la infraestructura – rentabilidad del proyecto. Puede afectar al servicio si la infraestructura resulta dañada.

Fuente. DICEASA 2020

Paso 3: Análisis de la vulnerabilidad

Los componentes de la vulnerabilidad se relacionan a la exposición y sensibilidad de las amenaza (variabilidad climática y cambio global antropogénico, así como de otras amenaza naturales y antropogénicas), lo que conlleva a un impacto potencial, que es reflejo del ambiente y del entornos social, que intervienen en la sensibilidad y en la capacidad adaptación.

La vulnerabilidad se expresa como un concepto múltiple en cuanto a su definición y diagnóstico, aunque prácticamente su cálculo es casi imposible. A nivel espacial y de áreas prioritarias, necesitadas de intervenciones, el término vulnerabilidad refiere a una situación aproximada y posible.

No posee un valor arbitrario sino que depende de los tipos y estimaciones de amenaza existentes, de la escala de estudio y de la profundidad y orientación metodológica del mismo.

Por lo general para medir la vulnerabilidad se escogen algunos de sus componentes y se trabaja en función en de variables y/o indicadores, para propósitos de cálculos, se recurre a fórmulas o ecuaciones para determinar la vulnerabilidad.

La fórmula propuesta por el IPCC, 2014, señala que la vulnerabilidad es función de los componente exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

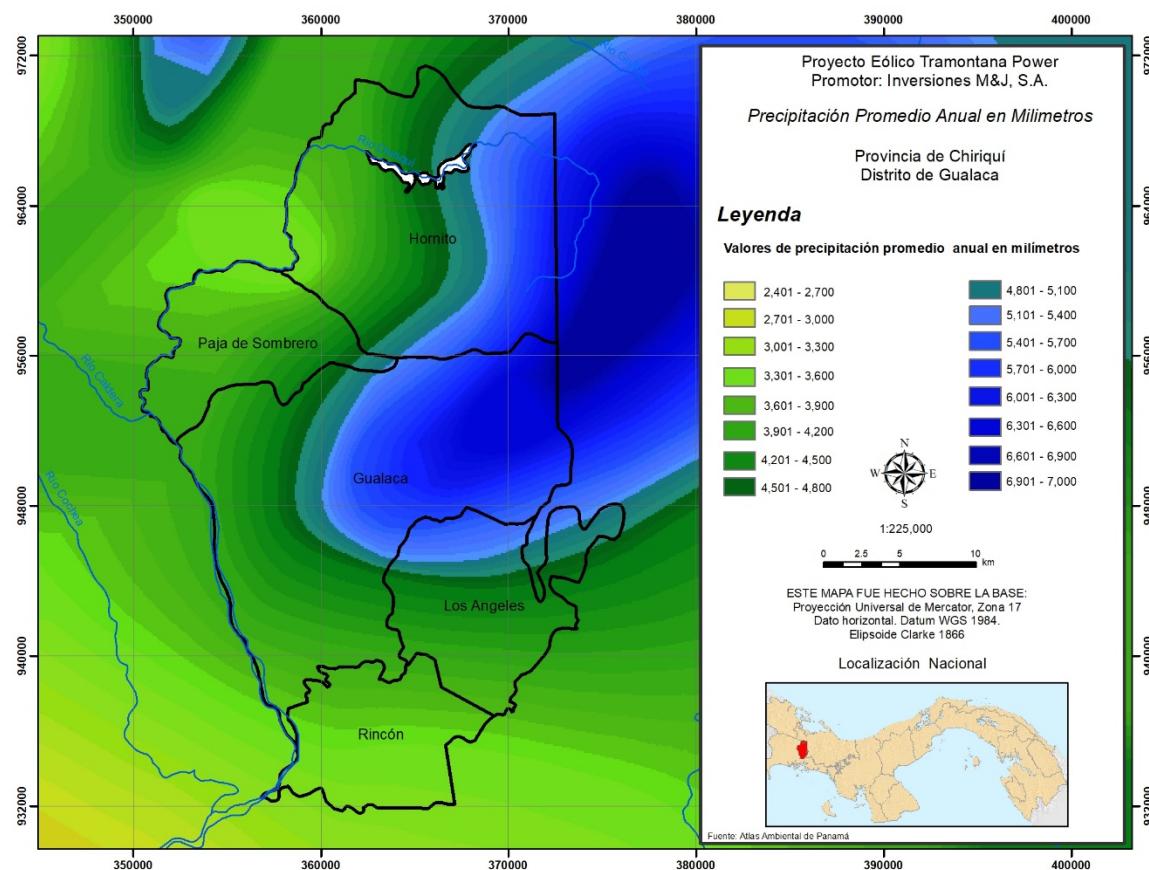
Vulnerabilidad = (Exposición + Sensibilidad) – capacidad de adaptación

Para la construcción de la Vulnerabilidad en el caso de este estudio se ha identificado un sistema de clasificación general de las tres componentes de la fórmula en base a los siguientes valores 1 = vulnerabilidad baja, 2 = vulnerabilidad media y 3 = vulnerabilidad alta.

En base a esta ecuación se ha construido el análisis de vulnerabilidad para la zona de emplazamiento del proyecto Parque Eólico Tramontana en donde se ha considerado como variable de **exposición** los patrones de precipitación y el cambio en el comportamiento de la misma que cada vez son más intensas y de mayor concentración, considerando la información

meteorológica actual y los resultados de los escenarios de cambio climático revisados previamente, en base a estas consideración e se concluye que la exposición en el sitio de emplazamiento del proyecto tiene una valoración alta (Alto = 3). En la figura 15 podemos observar el mapa de isoyetas del Distrito de Gualaca que ilustra la cantidad promedio de lluvias que se registra en la zona.

Figura 14: Mapa de Isoyetas Distrito de Gualaca



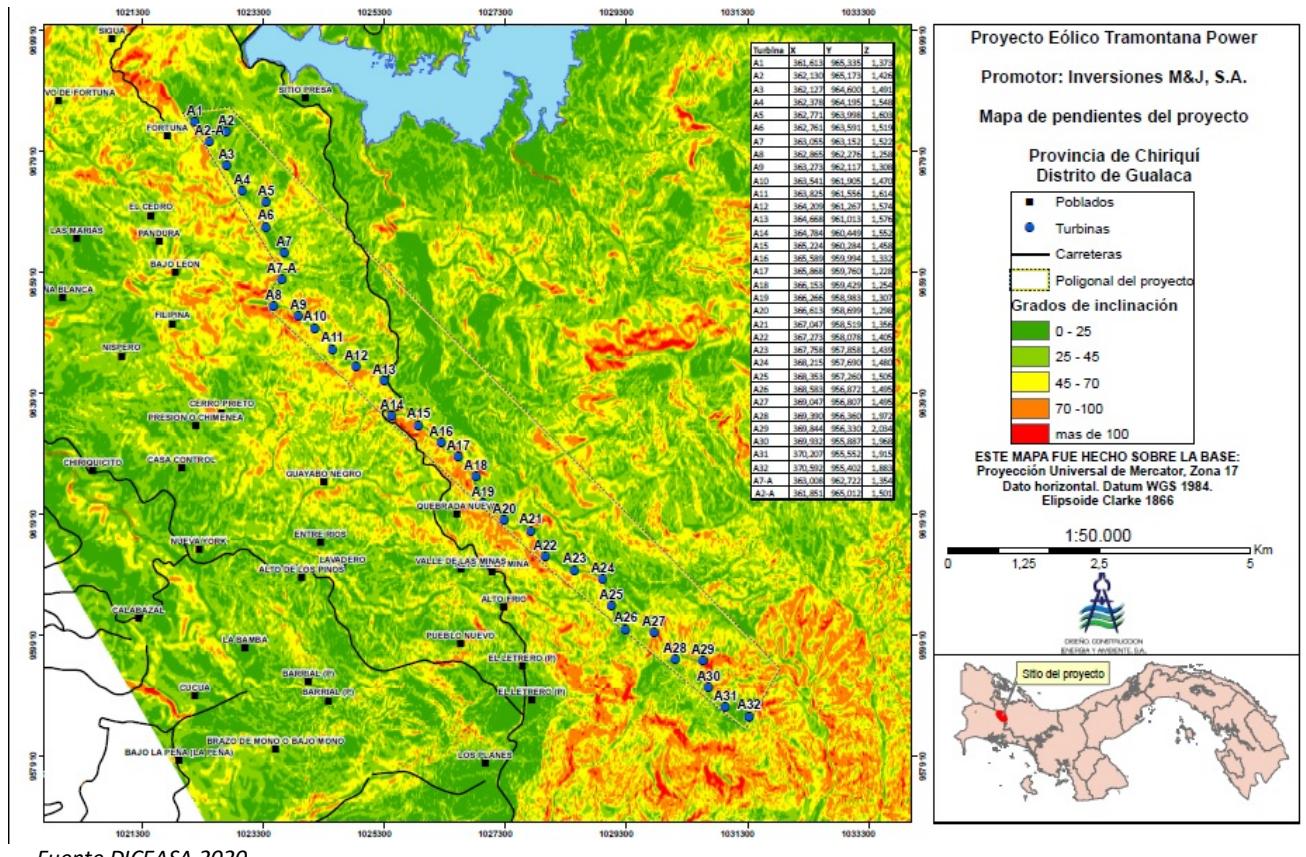
Fuente DICEASA 2020

Para la variable de **sensibilidad** se han identificado los siguientes indicadores Pendiente y Cobertura Boscosa, que a continuación se proceden a detallar.

La inestabilidad de laderas tiene relación directa con el tipo de roca, la pendiente del terreno y la vegetación de la zona. La línea base geológica referencia estabilidad de la roca que aflora en el área. Es la erosión hídrica lo que provoca deslizamiento de masas de suelo. En el área

de construcción del proyecto las pendientes están entre los 25 a 70 grados de inclinación promedio, como se puede observar en la figura 16, que muestra el mapa de pendientes en la zona del proyecto. Sobre la base de esta información podemos indicar que esta variable tiene una valoración de vulnerabilidad intermedia (media = 2).

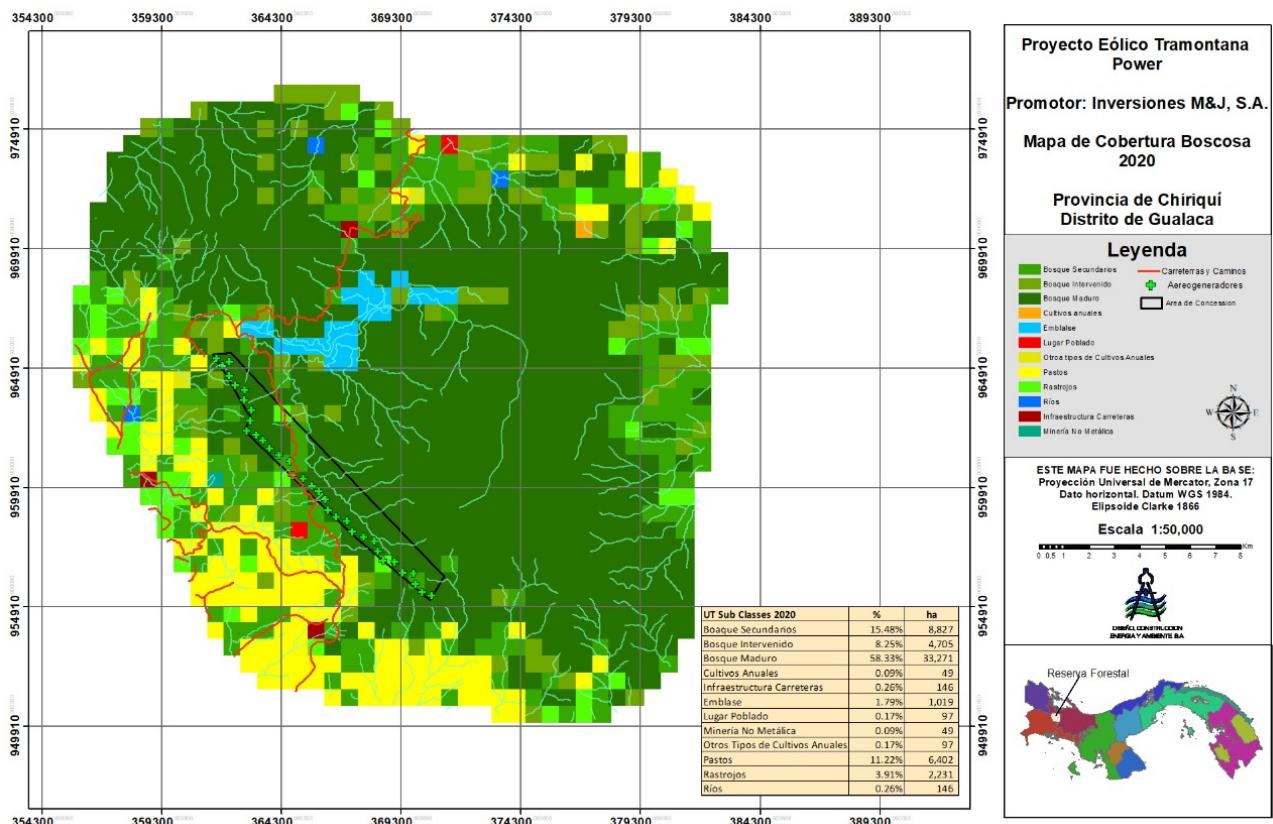
Figura 15: Mapa de pendientes Proyecto Parque Eólico Tramontana



Para el caso de la Cobertura Boscosa, podemos indicar que en la zona del proyecto existe una buena cobertura boscosa, lo que favorece las condiciones de estabilidad del suelo, capacidad de absorción y de la precipitación, evitando las fuertes escorrentías y el lavado de material del suelo que se transforma en arrastre de sedimentos, como se puede observar en la figura 17 que muestra el mapa de cobertura boscosa se identifica que la cobertura que predomina es el bosque maduro con aproximadamente 1,609 has., seguido del bosque secundario con una superficie de 237 has. y finalmente la cobertura de rastrojo con 47 has.

En base a esta información podemos inferir que esta variable tiene una valoración de vulnerabilidad baja (baja = 1) y le da una mejor capacidad de respuesta al suelo en el área del proyecto ante eventuales eventos de origen hidroclimático

Figura 16: Mapa de cobertura boscosa año 2020.



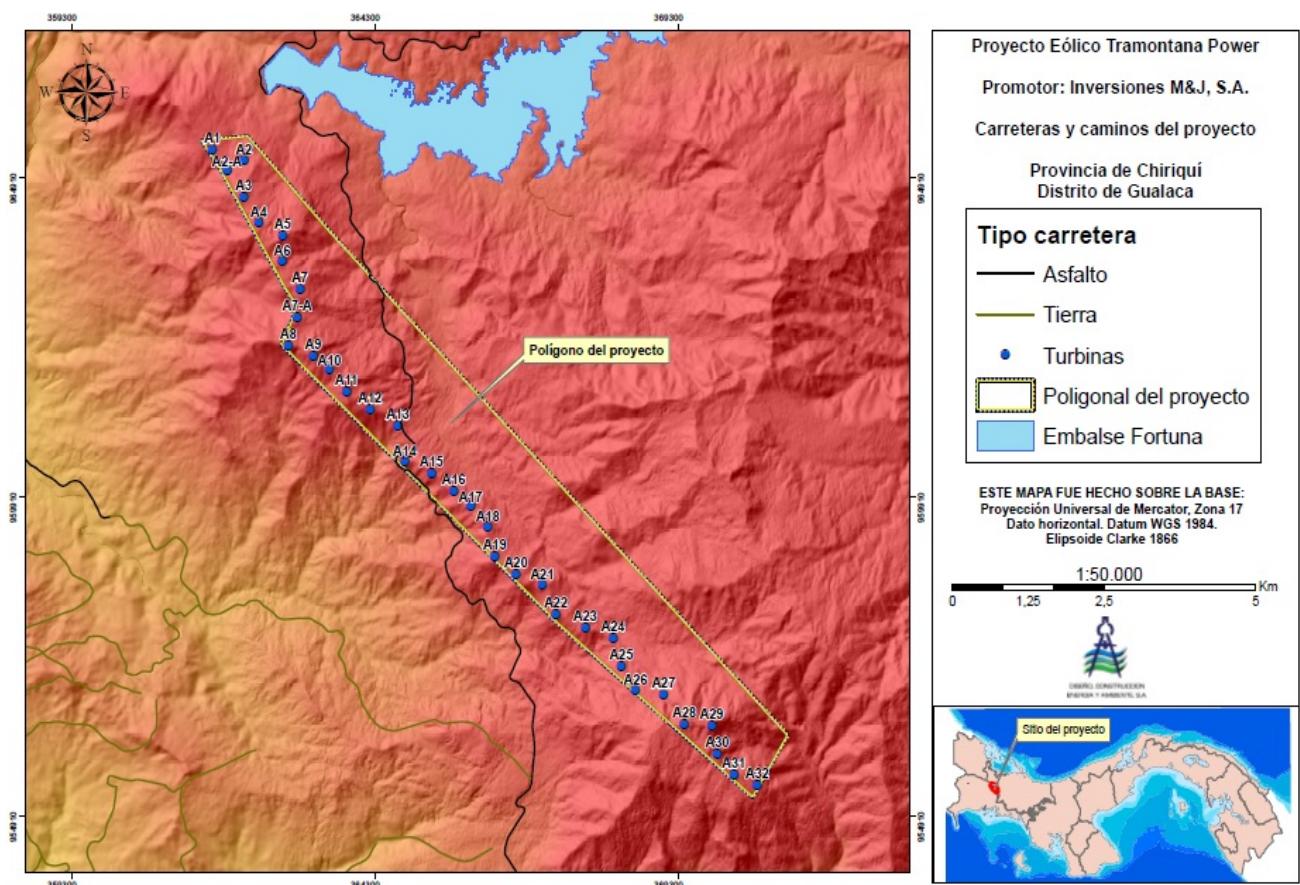
Fuente DICEASA 2020

Si consideramos las dos variables identificadas para el componente de sensibilidad podemos indicar que este tiene una vulnerabilidad baja con un valor de 1.5 producto del valor promedio de las vulnerabilidades identificadas para las dos variables que integran este componente.

Finalmente toca construir el componente de la **capacidad adaptativa** dentro de la zona del proyecto, tener presente que este componente es de orden inverso a la vulnerabilidad, es decir a mejor capacidad adaptativa más bajo es el valor de la vulnerabilidad, tomando en consideración la escala de clasificación ya establecida para los dos componentes anteriores.

Las variables consideradas para determinar la capacidad adaptativa son la infraestructura de red vial, que permitirá poder desplazarse de manera directa y a lo largo de la zona del proyecto mejorando la capacidad de respuesta ante un impacto asociado a las amenazas de origen climático previamente identificadas, en ese sentido podemos señalar que en la zona existe una buena red de comunicación vial que permite varias vías de acceso al proyecto, como se puede apreciar en la figura 18, Mapa de Carreteras y Caminos en la zona del proyecto, tomando estas consideraciones podemos indicar que esta variable mejora la condición adaptativa del proyecto, lo que se traduce en una vulnerabilidad baja (baja = 1).

Figura 17: Mapa de Carreteras y Caminos



Fuente DICEASA 2020

La segunda variable considerada para este componente está asociada a las características de la población próxima al área del proyecto, para lo cual se ha considerado como valoración el

Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) de Panamá⁸, que conjuga una serie de variables tanto sociales como económicas clasificadas en cinco dimensiones a saber (*Vivienda; Educación; Entorno - Saneamiento; Trabajo y Salud - Agua*) como podemos observar el conjunto de dimensiones que conforman este índice permiten tener una valoración completa de la condición socioeconómico en la zona de emplazamiento del proyecto Parque Eólico Tramontana, lo que permite poder valorar la capacidad de dar respuesta a los impactos asociados a las amenazas climáticas ya identificadas.

En la Tabla 6, podemos observar los valores del IPM para los corregimientos del distrito de Gualaca y los mismos son valores que están entre 0.162 y 0.263, siendo estos valores relativamente bajos que se traducen en que la población de la zona próxima al desarrollo del proyecto tiene condiciones sociales y económicas, que permiten una capacidad de respuesta ante las amenazas climáticas ya identificadas.

Sobre la base de esta información podemos indicar que esta variable mejora la condición adaptativa del proyecto, lo que se traduce en una vulnerabilidad baja (baja = 1).

Tabla 6: Indicadores de Pobreza Multidimensional en Distrito de Gualaca.

Provincia	Distrito	Corregimiento	IPM
Chiriquí	Gualaca	Gualaca (Cabecera)	0.173
		Hornito	0.189
		Los Ángeles	0.263
		Paja de Sombrero	0.221
		Rincón	0.162

Fuente: IPM por Distrito y Corregimientos, Gabinete Social

Si consideramos las dos variables identificadas para el componente de capacidad adaptativa podemos indicar que este tiene una valoración de 1 producto del valor promedio de las dos variables que integran este componente. Por lo que podemos indicar que en este componente se identifica una alta capacidad adaptativa en la zona próxima al proyecto.

⁸ https://mppn.org/wp-content/uploads/2020/10/Panama-IPM_Digital_3-30-9-2020-final.pdf

Finalmente retomando la fórmula para la construcción de la vulnerabilidad

Vulnerabilidad = (Exposición + Sensibilidad) – capacidad de adaptación

Podemos reemplazar los valores generados en el análisis previo, quedando de la siguiente manera:

Vulnerabilidad = (3 + 1.5) – 3

Vulnerabilidad = 1.5

El conjunto de variables seleccionadas para la valoración de la vulnerabilidad de la zona próxima al emplazamiento del proyecto Parque eólico Tramontana nos permiten concluir que la misma tiene una vulnerabilidad baja con un valor de 1.5 de acuerdo al proceso metodológico desarrollado, esto ante las amenazas de origen hidroclimáticas identificadas previamente en este estudio considerándose como una vulnerabilidad, baja.

Paso 4: Identificación y selección de opciones de adaptación

El sector eólico tiene retos adaptativos que tienen que ver tanto con el diseño de los propios parques y aerogeneradores como con la gestión de los parques para optimizar la generación en circunstancias cambiantes.

La consideración del cambio climático en el diseño y selección de ubicaciones de parques eólicos es aún incipiente, y lejos de convertirse en la práctica común en el sector, que sigue basando las decisiones en registros históricos y mediciones⁹.

Para el caso del Proyecto Parque Eólico Tramontana se ha realizado un análisis de vulnerabilidad de la zona de emplazamiento de dicho proyecto para considerar las medidas de adaptación que puedan ser necesarias para optimizar la vida útil del proyecto y su buen desempeño. En este sentido se ha identificado una potencial amenaza en la zona de emplazamiento del proyecto y son los eventos de origen hidroclimático que generan exceso de lluvia, traduciéndose en impactos como deslizamientos e inundaciones.

⁹ Guía para el Análisis Detallado de Riesgo Climático, CAF 2019

Teniendo claro el panorama de la amenaza y los impactos, durante el análisis de vulnerabilidad se pudo demostrar que esta zona tiene una muy buena capacidad de respuesta (capacidad adaptativa), dada principalmente por la buena cobertura boscosa, una red de carreteras y caminos que da accesibilidad al proyecto y las características socioeconómicas y organizativa de la población permite accionar las respuestas de manera efectiva ante eventuales eventos de variabilidad climática o cambio climático.

Sobre la base de la información generada a continuación se identifican los siguientes bloques de trabajo donde se pueden implementar medidas de adaptación:

Infraestructura: El desarrollador del proyecto debe tener en consideración la principal amenaza relacionada con la variabilidad y el cambio climático y en esa línea poder desarrollar un plan que permita reducir al máximo los impactos sobre la red vial de acceso y comunicación interna en el polígono del proyecto, como por ejemplo programa de estabilización de laderas, programa de mantenimiento y mejora de carreteras y caminos, programa de mantenimiento y limpieza de cauces de ríos y quebradas para evitar concentración de material en los mismos.

Prevención y control: La implementación de medias de adaptación en este sentido permitirán que el área donde se desarrollará el proyecto mantenga esas condiciones apropiadas de sensibilidad ante eventos de variabilidad y cambio climático y las mismas están dirigidas a tener un programa de monitoreo forestal que garantice la permanencia de la cobertura boscosa existente y aumento de la misma en compensación a las que haya afectado de acuerdo a la normativa ambiental, el establecimiento de un sistema de alerta temprana acompañado de estaciones meteorológicas para la recopilación y sistematización de información climática actualizada en la zona del proyecto.

Diseño: Es muy importante que el desarrollador del proyecto tenga en consideración la variable de cambio climático y variabilidad climática al momento de diseñar la operación del proyecto Parque eólico Tramontana, teniendo en cuenta los eventos extremos que se proyecten durante la vida útil de la infraestructura por ejemplo grandes tormentas.

En atención a las medidas de adaptación identificadas y clasificada de acuerdo a los tres bloques previamente señalado es importante indicar que las mismas de una u otra manera serán identificadas como acciones temprana dentro del Plan de Manejo Ambiental (PMA) que debe presentarse en conjunto con el Estudio de impacto ambiental y esto obedece a que ya en la zona del proyecto se han identificado eventos de variabilidad climática importante que se deben considerar al momento de desarrollar el proyecto Parque Eólico Tramontana.

Referencias

- Eduardo L. Moreno Segura, Claudia N. Mondragón Rivera, José D. Cáceres Coello, Antonio B. Carias Arias; Identificación de Riesgos por desastres Naturales en las Cuencas Hidrográficas Matasnillo (Panamá) y Goascorán (Honduras), y su Relación con el Cambio Climático Utilizando Tecnologías de Información Geográfica. REVISTA CIENCIAS ESPACIALES, VOLUMEN 9, NÚMERO 1 PRIMAVERA, 2016.
- Enríquez de Salamanca Sánchez-Cámara, Alvaro, Diaz-Sierra, Ruben, Martín-Aranda, Rosa M., Santos, Maria J. Environmental impacts of climate change adaptation. Environ Impact Assess Rev [Internet]. 2017;64:87-96. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315443341_Environmental_impacts_of_climate_change_adaptation.
- GIZ, EURAC. Suplemento de Riesgo del Libro de la Vulnerabilidad. Guía sobre cómo aplicar el enfoque del Libro de la Vulnerabilidad con el nuevo concepto de riesgo climático del IE5 del IPCC. [Internet]. 2017. Disponible en: https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2019/02/GIZ_Risk-Supplement_Spanish.Pdf
- GIZ. The Vulnerability Sourcebook. Risk Supplement [Internet]. 2017 [citado 11 de octubre de 2018]. Disponible en: https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=203.
- Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales; Reporte Técnico Sobre la Importancia de la Reserva Forestal Fortuna para Investigación Científica, Educación Ambiental, y Conservación de la Biodiversidad; 2014.
- IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Internet]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2014 p. 32. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- IPCC. IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of

Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,: Cambridge University Press,; 2014 p. 1-32.

- IPCC. WGII AR5 Technical Summary. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability [Internet]. Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) [P. Aldunce, Ometto J.P., Raholijao N., Yasuhara K. (eds.)]; 2014. Disponible en: http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-TS_FGDall.pdf
- MIDES – Gabinete Social, Índice de Pobreza Multidimensional a Nivel de Distritos y Corregimientos, Usando los Censos de Población y Vivienda de Panamá, Panama 2020.
- Municipio de Gualaca; Plan Estratégico Distrital 2018 – 2022; 2017 102p.
- NOAA. Historical El Nino / La Nina episodes (1950-present) [Internet]. Climate Prediction Centre: Cold & Warm Episodes by Season. [citado 27 de junio de 2019]. Disponible en: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.
- NOAA. Multivariate ENSO Index Version 2 [Internet]. 2019. Disponible en: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; Atlas de Desarrollo Humano Local: Panamá 2015 96p.:25cm.