UNIVERSIDAD ACADEMIA DE HUMANISMO CRISTIANO

ESCUELA DE ANTROPOLOGÍA, GEOGRAFÍA E HISTORIA

VARIABILIDAD DE LA COBERTURA VEGETAL EN LAS DUNAS DE SANTO DOMINGO ENTRE LOS AÑOS 1985-2022: INFLUENCIA DE FACTORES FÍSICOS Y ANTRÓPICOS EN UN AMBIENTE COSTERO DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE.

Estudiante: Nilo Vega, Isidora Francisca del Rosario

Profesora Guía: Díaz Milla, Alejandra

Seminario de grado para optar al grado de Licenciada en Geografía

Santiago, 2023.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: MARCO INTRODUCTORIO 1
1.1. Antecedentes Generales 1
1.2. Planteamiento del problema 3
1.3. Pregunta de investigación 5
1.4. Objetivos 5
1.4.1. Objetivo general 5
1.4.2. Objetivos específicos 6
1.5. Hipótesis 6
1.6. Justificación 7
1.7. Área de estudio 9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 12
2.1. Factores antrópicos: Desarrollo inmobiliario 12
2.2. Factores Naturales 17
2.2.1. Procesos Litorales 17
2.2.2. Erosión Costera 21
2.3. Vegetación Dunar 26
2.3.1. Vegetación y Dunas de Santo Domingo 29
2.3.2. Degradación y variabilidad de la vegetación dunar 40
2.3.3. Vulnerabilidad ecosistémica 42
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO 46
3.1. Enfoque metodológico 46
3.2. Tipo de Investigación 46
3.3. Diseño Metodológico 47
3.3.1. Tipo de muestra 47
3.3.2. Unidad de análisis 48
3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección 49
3.3.4. Plan de análisis 52

CAPÍTULO IV: MARCO DE EXPOSICIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 52

4.1. Resultados por objetivos 52

4.1.1. Tejido Verde a lo Largo del Tiempo: análisis de la cobertura vegetal en el cordón dunar de Santo Domingo (1985-2022) y su vínculo con las variables climáticas. 52

4.1.2. Factores naturales y antrópicos, ¿Cómo inciden en el ecosistema dunar? 59

4.1.3. Explorando las dinámicas del ecosistema dunar de Santo Domingo: Análisis integral de factores que moldean su vulnerabilidad. 74

CAPÍTULO V: MARCO DE CONCLUSIONES 75

5.1. Conclusiones Generales 75

5.2. Recomendaciones 77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Área de estudio 9
Figura N° 2: Ciudades mayores a 100.000 habitantes en ALC 14
Figura N° 3: Vegetación del ecosistema dunar de Santo Domingo 32
Figura N° 4: Cordones dunares de Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile 36
Figura N° 5: Cordones dunares de Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile 36
Figura N° 6: Plan de Análisis 52
Figura N° 7: Cartografía NDVI año 1990 54
Figura N° 8: Cartografía NDVI año 2000 55
Figura N° 9: Cartografía NDVI año 2010 55
Figura N° 10: Cartografía NDVI año 2022 56
Figura N° 11: Edificaciones dentro del Ecosistema Dunar de Santo Domingo, año 2006 60
Figura N° 12: Edificaciones dentro del Ecosistema Dunar de Santo Domingo, año 2023 61
Figura N° 13: Línea de Costas 62
Figura N° 14: Zonificación plan regulador comunal 2023 Santo Domingo 63
Figura N° 15: Ficha fotográfica n°1 65
Figura N° 16: Ficha fotográfica n°2 66
Figura N° 17: Fotografía Comparativa 73
Figura N° 18: Zonificación del Cordón Dunar 75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Tipos de erosión 21
Tabla N° 2: Escala de evaluación de la erosión costera 23

Tabla N° 3: Clasifiación de vegetación del Ecosistema Dunar..... 30
Tabla N° 4: Caracterización Dunas de Santo Domingo..... 34
Tabla N° 5: Tipo y Subtipo de Vegetación..... 44
Tabla N° 6: Unidad de análisis y variables por cada objetivo específico..... 48
Tabla N° 7: Categorización de valores NDVI 50
Tabla N° 8: Técnicas e instrumentos por objetivos específicos..... 51
Tabla N° 9: Permisos de edificación final otorgados en la comuna de Santo Domingo..... 59
Tabla N° 10: Zonificación Plan Regulador Comunal de Santo Domingo 2023..... 63

CAPÍTULO I: MARCO INTRODUCTORIO

1.1. Antecedentes Generales

La erosión costera es un fenómeno influido por la actividad humana y el aumento del nivel del mar, que está generando preocupación a nivel global. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) alerta que aproximadamente el 50% de las zonas costeras del mundo están experimentando erosión. Los investigadores han subrayado la importancia de abordar este problema a nivel mundial, especialmente debido a su conexión con eventos extremos, vulnerabilidad costera, adaptación al cambio climático y resiliencia costera (Winckler et al., 2019).

Investigaciones de diversas partes del mundo han revelado la gravedad de la situación. En California, EE. UU., se proyecta que la erosión costera podría resultar en daños a la propiedad por más de 100 mil millones de dólares para el año 2100 (Stockdon et al., 2015). En África occidental, la erosión costera sigue avanzando, lo que amenaza a las comunidades costeras y a la biodiversidad (Kouassi et al., 2018). En Costa Rica, la erosión en las playas del litoral caribeño se ha acelerado, incluso dentro de áreas protegidas (Barrantes-Castillo et al., 2019).

La erosión costera, junto con sus efectos devastadores, pone en peligro valiosos ecosistemas costeros, como los sistemas dunares. Estos ecosistemas proporcionan una serie de servicios ecosistémicos esenciales, que incluyen la protección costera ante eventos extremos como tormentas y mareadas, el fomento del turismo y la recreación, la biodiversidad y la conservación del hábitat, la purificación del agua, la absorción de carbono y la regulación del clima (Pendleton et al., 2012).

Sin embargo, la urgencia de abordar la erosión costera sigue siendo alta, ya que los impactos socioeconómicos y medioambientales son significativos. La protección y conservación de los ecosistemas costeros, como los sistemas dunares, se vuelven esenciales para mantener la resiliencia de las zonas costeras y los beneficios que brindan a las comunidades y al medio ambiente en su conjunto.

Este desafío no es exclusivo de un país en particular; la costa chilena, al igual que otras costas alrededor del mundo, está siendo afectada por factores como el aumento de la población, el crecimiento del turismo y la explotación de recursos naturales.

Chile cuenta con una extensa costa, alrededor de 6.435 km, siendo entonces uno de los países afectados por la erosión costera, además posee una geología, geomorfología y condiciones climáticas únicas que la convierten en un lugar propicio para diversos tipos de desarrollo (Martínez et al., 2022). Sin embargo, esta costa está experimentando problemas significativos de erosión. Más del 50% de las playas chilenas están experimentando erosión costera, exacerbada por la urbanización, construcción de infraestructuras y actividades humanas en las zonas costeras (Contreras et al., 2018).

Es necesario reconocer que el avance del desarrollo inmobiliario en zonas costeras ha contribuido a la intensificación de la erosión. El aumento de la población y las actividades turísticas en estas áreas han aumentado la presión sobre los ecosistemas costeros. En el caso de Chile, a pesar de tener una costa extensa y condiciones geológicas favorables para el desarrollo, la falta de protección y regulación adecuada ha llevado a un escenario donde más del 50% de las playas están experimentando erosión significativa (Martínez et al., 2022; Contreras et al., 2018). Esta situación se agrava por la explotación de recursos naturales y la urbanización costera (Martínez et al., 2022). La vulnerabilidad de la costa chilena a eventos naturales como sismos y tsunamis también contribuye a la erosión (Martínez et al., 2022).

Las implicaciones de la erosión costera van más allá de la degradación del paisaje; afecta directamente a las comunidades y sus medios de vida. La pérdida de playas y ecosistemas costeros impacta en la actividad turística, la seguridad de la población ante eventos climáticos extremos y la disponibilidad de recursos naturales. Además, la erosión costera también compromete la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios esenciales, como la protección contra tormentas y la absorción de carbono (Body, 2014; Mendoza, 2017).

Es esencial entender que la erosión costera es un problema multifacético que requiere soluciones integrales y colaborativas. La restauración y conservación de ecosistemas

costeros, como los sistemas dunares, son clave para reducir la vulnerabilidad costera y mantener la resiliencia. Los esfuerzos deben ir más allá de la mitigación de impactos y centrado en la adaptación y la promoción de prácticas sostenibles de desarrollo en las zonas costeras (Fernández & De la Barrera, 2018). Además, la cooperación internacional es fundamental, ya que la erosión costera es un desafío global que requiere una respuesta coordinada en todos los niveles.

En resumen, la erosión costera es un problema que afecta a nivel mundial, con consecuencias significativas para las comunidades, los ecosistemas y la economía. El avance del desarrollo inmobiliario, el aumento de la población y la explotación de recursos naturales en zonas costeras han exacerbado este problema. La protección y restauración de ecosistemas costeros, junto con la implementación de medidas de adaptación y planificación adecuada, son esenciales para abordar la erosión costera y construir la resiliencia de las zonas costeras ante los desafíos actuales y futuros.

1.2. Planteamiento del problema

Santo Domingo, una localidad costera ubicada en la Región de Valparaíso en Chile, ha experimentado una importante erosión en las últimas décadas, con un retroceso de -1.73m en un período de 26 años, según el informe "Evaluación de la Erosión Costera en Chile" del Ministerio del Medio Ambiente (2019). Este litoral arenoso se encuentra en una situación de erosión alta, lo que ha generado consecuencias en la zona.

A pesar de que existen estudios previos que han medido la erosión costera en Santo Domingo, no se ha profundizado en las consecuencias que puede tener en el sistema dunar y las consecuencias en la vegetación de las dunas; la combinación de factores naturales y antrópicos pueden incidir en la flora de este ecosistema de manera perjudicial.

Sumado a esto, el Plan Regulador Comunal de Santo Domingo, el cual en abril del año 2023 se encontraba en su etapa de consulta, aprobación y difusión, no considero al ecosistema dunar como un área protegida, es más, "Actualmente las dunas de la playa de Santo Domingo no se encuentran protegidas y son consideradas un sitio prioritario para conservación, debido

a la antigua data de formación, a las asociaciones vegetacionales que se dan en ellas (…)" (Municipalidad de Santo Domingo; MINVU., 2019). Por otro lado, es necesario mencionar que, la Política Nacional de Uso de Borde Costero (PNUBC), la cual data de 1994, se formuló sobre una definición restrictiva del litoral, la cual se basa en el Código Civil, "limitando las costas hasta la línea de playa o, en el mejor de los casos hasta 80 metros de terrenos fiscales (en caso de que los haya)" (Fundación Terram, 2023). Esta situación se agrava con la vigencia de la Política Nacional de Uso de Borde Costero (PNUBC) de 1994, que, al basarse en una definición restrictiva del litoral, deja ecosistemas cruciales a menos de 80 metros de terrenos fiscales desprotegidos frente a construcciones y edificaciones. Si bien esta política contribuye a la elaboración de propuestas de zonificaciones del llamado borde costero, deja ecosistemas que se encuentran a menos de 80 metros, al alero de distintas construcciones y edificaciones, todo esto sin considerar la erosión costera que enfrentan las playas de Chile. La combinación de factores naturales, como la erosión costera, y antrópica, como la presión inmobiliaria, ha ejercido una influencia perjudicial en la flora de este ecosistema único. A pesar de existir estudios previos que han medido la erosión costera en Santo Domingo, no se ha profundizado lo suficiente en las repercusiones que ésta puede tener en el sistema dunar y su vegetación. La falta de atención a estos efectos ha permitido la proliferación de actividades humanas no reguladas, como la expansión urbana y el desarrollo inmobiliario desmedido. Es especialmente preocupante que el Plan Regulador Comunal de Santo Domingo, en su etapa de consulta, aprobación y difusión en abril de 2023, no haya considerado el ecosistema dunar como un área protegida. De hecho, las dunas de la playa de Santo Domingo, a pesar de su reconocida importancia para la conservación, no cuentan con medidas de protección adecuadas. Esta falta de consideración se ve reflejada en la vulnerabilidad a la que se encuentran expuestas, dado que actualmente son considerados un sitio prioritario para la conservación (Municipalidad de Santo Domingo; MINVU, 2019). La presión inmobiliaria, impulsada por la ausencia de restricciones y protecciones efectivas, ha exacerbado la degradación de la cobertura vegetal en las dunas.

El análisis del período de tiempo entre 1985 y 2022 ofrece una perspectiva significativa para comprender cómo la interacción de factores naturales y antrópicos ha contribuido a la erosión costera y la degradación del ecosistema dunar. Este lapso permite cambios a largo plazo, destacando la necesidad urgente de implementar medidas de protección y planificación territorial costera que salvaguarden la integridad de este valioso entorno. En este contexto, es necesario investigar y comprender la influencia de los factores antrópicos y naturales en la conservación y variabilidad de la cobertura vegetal de las dunas de Santo Domingo. El período de tiempo abarca un lapso de 37 años (1985 – 2022), lo que proporciona una ventana temporal significativa para analizar tendencias de largo plazo con respecto a las variables climáticas asociadas, este enfoque entonces permite identificar cambios que podrían no ser notorios en estudios de menos tiempo, sumado a esto se pueden analizar las actividades humanas en el área de estudio con mayor amplitud de tiempo.

El análisis de este amplio período permitirá evaluar cómo los factores naturales y antrópicos han interactuado y evolucionado, contribuyendo así a la comprensión integral de las causas y consecuencias de la erosión costera. Además, se busca analizar los posibles efectos negativos que la degradación de las dunas pueda tener. El problema radica entonces, en la falta de estudios que aborden la importancia de los en ecosistemas dunares, considerando efectos como la erosión costera y urbanización, por lo que resulta necesario investigar las repercusiones que tiene esta situación en la localidad.

1.3. Pregunta de investigación

¿Cuáles son los factores antrópicos y naturales presentes en la erosión costera y cómo han influido en la degradación y variabilidad de la cobertura vegetal en el ecosistema dunar de Santo Domingo entre los años 1985 y 2022?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar los factores antrópicos y naturales presentes en la erosión costera y analizar su influencia en la variabilidad de la cobertura vegetal en el ecosistema dunar de Santo Domingo durante los años 1985 y 2022

1.4.2. Objetivos específicos

I. Describir la variabilidad de la cobertura vegetal en el cordón dunar de Santo Domingo y su relación con las variables de precipitación y temperatura durante los años 1985 y 2022.

II. Identificar y caracterizar los procesos litorales y antrópicos presentes en la erosión costera y que inciden en la vulnerabilidad del ecosistema dunar de Santo Domingo durante los años 1985 y 2022.

III. Analizar y relacionar los factores naturales y antrópicos que inciden en la vulnerabilidad del ecosistema dunar de Santo Domingo durante los años 1985 y 2022.

1.5. Hipótesis

Se espera que los factores antrópicos y naturales presentes en la erosión costera tengan una influencia significativa en la degradación y variabilidad de la cobertura vegetal en las dunas de Santo Domingo durante los años 1985 y 2022. Los factores antrópicos, como la urbanización o desarrollo inmobiliario, han contribuido a un aumento en la erosión costera y a una disminución de la cobertura vegetal, de igual manera los factores naturales como las precipitaciones, temperaturas y procesos litorales han contribuido a este suceso. Se estima que esos factores afectaran negativamente a la localidad, pues la degradación del ecosistema dunar repercute en aspectos como la erosión costera, pérdida de biodiversidad y una exposición en eventos de carácter extremo.

1.6. Justificación

La erosión costera en la playa de Santo Domingo es un problema que afecta al ecosistema dunar de la zona y genera consecuencias negativas en la localidad, si bien existen estudios previos, donde se hace una caracterización, cronología y se habla del origen de los cordones dunares, sólo en las conclusiones se menciona que,

> "A eso, se agrega otra intervención humana cuyas consecuencias pueden ser más radicales para el medio natural. En efecto, el desarrollo en curso de megaproyectos turísticos próximos a la playa hace correr el riesgo de un arrasamiento total de los cordones dunares de la costa de Santo Domingo." (Paskoff et al. 2000).

Si bien el autor menciona otros elementos como, "(…) la construcción de un gran embalse en el curso inferior del río Rapel (capacidad de 695 millones de m^3) que prácticamente hace que su carga aluvial gruesa no puede llegar hasta la costa" (Paskoff et al. 2000), explicando que debido a esto la línea de costa puede sufrir alteraciones. Por otro lado, se encuentra el estudio realizado por Arancibia & Flores, en un informe diagnóstico de flora y fauna para el campo dunar de Santo Domingo, se resalta la importancia de este ecosistema, mencionando que, "La riqueza florística del sector es de 69 especies con un 53,6% de hierbas, un 37,6% de especies arbustivas, un 7,2% de árboles y un 1,4% de Suculentas" (Arancibia & Flores, 2017), y también se menciona lo siguiente,

> "Dada la presión inmobiliaria en el sector, estos lugares de singularidad florística y vegetacional, con cierta pristinidad y de gran atractivo paisajístico se haya muy vulnerable, por lo que se propone su protección y uso con fines recreativos, de investigación y educativo (Arancibia & Flores, 2017).

A pesar de que estos estudios mencionan la importancia de este ecosistema, analizando y caracterizando sus elementos (formación, flora, fauna, entre otros.), o bien estudios que cuantifican la erosión del lugar, cómo, por ejemplo,

> "Las playas con erosión alta son Hornitos, Chañaral, Playa Grande de Tongoy, Bahía La Ligua, Algarrobo, Santo Domingo, Pichilemu y Lebu. Todas ellas corresponden a playas de ensenada

> donde se desarrollan extensos litorales arenosos, asociados a antiguos campos dunares y humedales costeros." (Martínez et al., 2022).

En este tipo de investigaciones o publicaciones no se ahonda en las consecuencias que esto genera, si bien se mencionan las posibles secuelas, no se ve en profundidad.

Desde distintas perspectivas geográficas este problema ha sido estudiado, de una manera más específica desde la geografía física la cual es una disciplina clave para comprender los procesos naturales que generan la erosión costera. Según Woodroffe, la erosión costera es un fenómeno complejo que está relacionado con la interacción entre los procesos oceanográficos, la morfología costera y los factores climáticos (Woodroffe, 2002). Por otro lado, la geografía humana ha estudiado la influencia de los factores socioeconómicos y culturales en la erosión costera y ha destacado la necesidad de entender la dimensión social de este problema (Blaikie y Brookfield, 1987). Considerar estos elementos al momento de estudiar este ecosistema dunar es importante pues su posible degradación y variabilidad en la vegetación afectaría en ambas dimensiones. Entonces, estudiar las consecuencias de la erosión costera es importante para lograr comprender de una mejor forma los efectos que puede tener en los ecosistemas costeros y lograr identificar cómo afecta a la localidad.

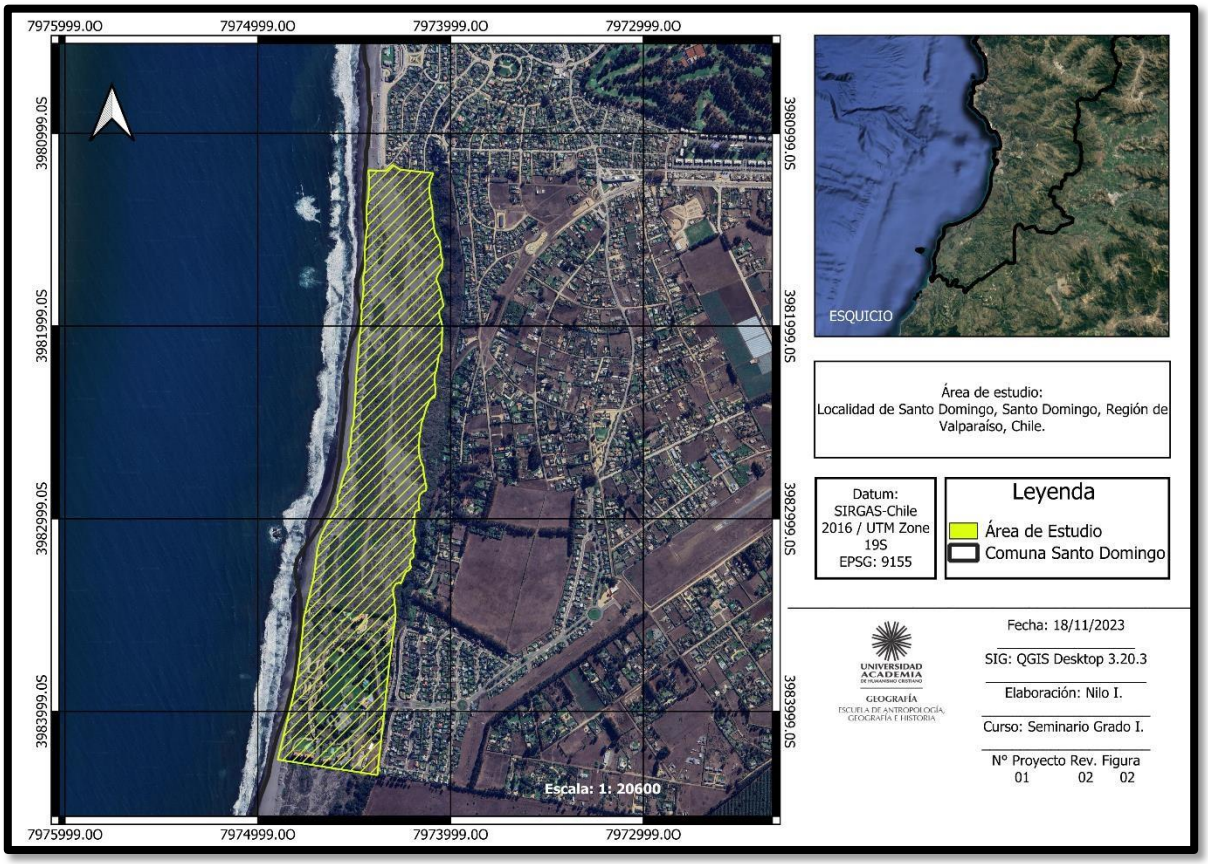
En el caso específico de Santo Domingo ubicado en la Región de Valparaíso, la erosión costera es un problema que ha ido aumentando con el paso de los años lo cual puede traer consecuencias consigo. Es fundamental llevar a cabo una investigación que permita identificar qué factores, tanto humanos como naturales, están presentes en la erosión costera y cómo estos influyen en el ecosistema dunar para así analizar las consecuencias sobre este ecosistema. Las dunas de Santo Domingo pertenecen a un ecosistema que brinda servicios ecosistémicos, ya que, "Las dunas costeras reducen el riesgo de catástrofes derivadas de las inclemencias oceánicas, pues sirven de obstáculo y disminuyen la velocidad del viento; además, contribuyen a prevenir la erosión por tormentas y huracanes." (Mendoza, 2017). Además, estas grandes acumulaciones de arena pueden tener una presencia antigua, "(…) cumplen un rol fundamental en la conservación de los ecosistemas playeros debido a sus diversos atributos ecológicos, así como son grandes protectoras de las costas frente a eventos

extremos cada vez más frecuentes (Núñez, 2022). Además de ofrecer servicios de protección, las dunas aportan al paisaje, pues estos relieves arenosos con vegetación "representan un patrimonio cultural importante debido a la gran cantidad de restos arqueológicos que pueden encontrarse en dunas por toda la costa" (Núñez, 2022). Según Carreño, "El campo dunar de la playa de Santo Domingo se presenta como un sector de características únicas en el área y que se encuentra con riesgo de desaparecer por la presión inmobiliaria del sector" (Carreño, 2018), según el mismo informe realizado por distintos investigadores, los campos dunares abarcan aproximadamente 70 hectáreas las cuales se encuentran desprotegidas.

1.7. Área de estudio

La comuna de Santo Domingo se ubica en el litoral central de Chile, concretamente en la región de Valparaíso, tiene una superficie de 536 km², posee alrededor de 20 km de costa y se encuentra la desembocadura del río Maipo. El desarrollo productivo de la comuna se orienta a los siguientes sectores económicos: Inmobiliario, Agropecuario y Turístico (Plan de Desarrollo Comunal Santo Domingo 2016-2020). Posee una población de 10.900 habitantes según el censo de 2017.

Figura N° 1: Área de estudio



Fuente: elaboración propia.

Acerca del área de estudio, la cual se ubica al noroeste de la comuna de Santo Domingo, es importante mencionar que corresponde a un importante cordón dunario y su entorno, el sector de las dunas, este campo o cordón de dunas, tiene una extensión de aproximadamente 2.7 kilómetros, este puede clasificarse dentro de "servicios ecosistémicos". Estos servicios corresponden a aquellos beneficios que tienen los seres humanos de los ecosistemas naturales, "El concepto de servicios ecosistémicos surge de la necesidad de enfatizar esta estrecha relación que existe entre los ecosistemas y el bienestar de las poblaciones humanas." (Balvanera & Cotler, 2007). Por otro lado, hay autores que hablan de la dependencia de los seres humanos ante estos servicios, "(…) los seres humanos dependemos de la provisión de servicios ecosistémicos para sobrevivir, y éstos además son claves para promover la resiliencia y calidad de vida en las ciudades." (Fernández & De la Barrera, 2018). Existen

algunas definiciones como, por ejemplo, la del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y que para sus efectos, los servicios ecosistémicos (SS.EE.) se definen como "la contribución directa e indirecta de los ecosistemas al bienestar humano", la propuesta empleada por la ONU en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (*Millenium Ecosystem Assessment*) en el año 2005, los define como, "los beneficios que aportan los ecosistemas a los seres humanos para realizarse en todas sus facetas".

Estos servicios incluyen una amplia gama de contribuciones que los ecosistemas brindan a la sociedad y su bienestar, ya sea de manera directa o indirectamente, como se mencionó anteriormente, los seres humanos dependen de la provisión de los servicios ecosistémicos, y éstos además son claves para promover la resiliencia y calidad de vida en las ciudades" (Fernández & De la Barrera, 2018). El ecosistema dunar de Santo Domingo brinda beneficios siendo el de carácter más importante la protección costera, "Las dunas costeras reducen el riesgo de catástrofes derivadas de las inclemencias oceánicas, pues sirven de obstáculo y disminuyen la velocidad del viento; además, contribuyen a prevenir la erosión por tormentas y huracanes**.**" (Mendoza, 2017), además estas grandes acumulaciones de arena pueden tener una presencia antigua, "(…) cumplen un rol fundamental en la conservación de los ecosistemas playeros debido a sus diversos atributos ecológicos, así como son grandes protectoras de las costas frente a eventos extremos cada vez más frecuentes. (Núñez, 2022).

Además de ofrecer servicios de protección las dunas aportan al paisaje, pues estos relieves arenosos con vegetación "representan un patrimonio cultural importante debido a la gran cantidad de restos arqueológicos que pueden encontrarse en dunas por toda la costa." (Núñez, 2022). Si bien es de gran importancia por la biodiversidad que presenta, la Fundación Cosmos en su trabajo de defensa de la biodiversidad en Chile, lleva desde el año 2008 promoviendo la defensa de los campos dunarios y del desarrollo de investigación. En una de sus publicaciones del año 2018, afirmó que "esta área no tiene ningún tipo de protección, está a merced de proyectos inmobiliarios que ya han mostrado interés por construir sobre las dunas, así como a las motos y cuadrimotos que suelen verse por estos lados."

Como se menciona anteriormente y en relación con la Política Nacional de Uso de Borde Costero, se establecen límites para las zonas costeras considerando hasta 80 metros de terrenos fiscales, no es capaz de garantizar por completo la protección de ecosistemas que se encuentren dentro de esos 80 metros o bien a menor distancia, dejándolos al alero ante posibles construcciones inmobiliarias. Además, que, no toma en cuenta las tasas de erosión actuales, pues la ley no cuenta con actualizaciones o intervenciones desde el año que se promulgó (1994). Sumado a esto, la no actualización de la ley o en su defecto la falta de una Gestión Integral de Áreas Litorales (GIAL), no permiten el buen manejo de la zona costera.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Factores antrópicos: Desarrollo inmobiliario

La erosión costera ocurre como proceso natural, el cual sucede como resultado de interacción entre distintos elementos, como procesos climatológicos, procesos litorales, y las fuerzas naturales, como la acción de las olas, vientos, entre otras. Sin embargo, las acciones humanas en esta zona pueden acelerar este proceso, debido a acciones como deforestación, urbanización desmedida, agricultura intensiva, entre otros.

El crecimiento demográfico trae consigo una mayor necesidad de ocupar más espacios para habitar y también surgen necesidades de segundas viviendas o casas de veraneo. En una publicación se menciona que, "El paisaje, recurso turístico por excelencia, se está viendo alterado por el modelo de desarrollo basado en la creación de segundas residencias." (Gili, 2003), además a esto agrega que,

> "Las hipotéticas ventajas del desarrollo turístico basado en este modelo se han ido desvaneciendo, hasta el punto de que actualmente se plantean serios inconvenientes por las fracturas territoriales y sociales junto con los costes añadidos que generalmente sobrepasan las posibilidades de estos." (Gili, 2003).

Si bien esta publicación es un estudio para España, se puede aplicar al área de estudio en esta investigación, pues se habla del desarrollo turístico en base a crear segundas residencias, lo cual puede generar una fragmentación en el territorio o en el hábitat, en este contexto,

> "se asume que la fragmentación siempre está asociada a los efectos negativos derivados de las acciones antrópicas que conllevan a una modificación intensa del territorio y que se traduce en una pérdida importante de hábitats naturales, en la disminución e incluso en la extinción de especies." (Junta de Andalucía, s.f.)

Esta situación evidencia la urbanización o rururbanización, considerándose una manera de expansión de la ciudad. Viéndose así estos lugares como periferias metropolitanas, donde aparecen "con una discontinuidad espacial marcada, conformados por piezas separadas físicamente, pero integradas por medio de redes" (Gómez, 2010). Si bien los lugares de segunda residencia pueden estar desconectados de la gran ciudad o de espacios completamente urbanizados, cuentan con,

> "una alta interacción con unidades funcionales a través de la movilidad basada en el automóvil, por lo que es imposible disociar el desarrollo de la segunda residencia del desarrollo de los medios de transporte, asociados a la utilización del automóvil y a las infraestructuras viales" (Gómez, 2010).

Este proceso de rururbanización, se trata de urbanizar espacios rurales, "se trata de una forma de ocupación del territorio que no es propiamente rural ni tampoco urbana." (Gómez, 2010).

El desarrollo inmobiliario en zonas costeras implica grandes construcciones de edificaciones e infraestructuras, lo que conlleva una modificación del paisaje, pues para realizar estas construcciones es necesario arrancar la vegetación y remover grandes cantidades de sedimentos. Estas actividades pueden alterar los procesos naturales de sedimentación y erosión, generando un desequilibrio en la dinámica de la costa, y teniendo por consecuencia un aumento en la vulnerabilidad de la erosión, así lo confirman algunos autores indicando que,

> "La costa chilena ha experimentado en las últimas décadas profundas transformaciones socio-territoriales derivadas de procesos de antropización intensos, que han causado efectos tales como

> la amplia exposición de vidas humanas y bienes materiales a amenazas naturales recurrentes, y el deterioro de ecosistemas marino-costeros, entre los más relevantes." (Martínez et al., 2019, pág. 5)

Con respecto al desarrollo inmobiliario es necesario mencionar que habitar estas zonas a lo largo de la historia, se han considerado ubicaciones favorables para los asentamientos de los humanos, pues,

> "Este patrón de ocupación del territorio se remonta a la época colonial, periodo en el que la costa era un ámbito geográfico estratégico para sus antiguas metrópolis, lo que explica una elevada concentración de la población, de la actividad económica y, por tanto, de las ciudades." (Barragán & De Andrés, 2016).

El habitar zonas costeras ha sido atractivo para los asentamientos humanos a lo largo de los años, y esta situación no está ajena en la actualidad, pues hace alrededor de 7 años se realizó un artículo el cual evidencia que existe una gran cantidad de asentamientos en zonas costera en Sudamérica y el Caribe, así se logra observar en la siguiente figura, del año 2016

Figura N° 2: Ciudades mayores a 100.000 habitantes en ALC.

Los círculos de color gris claro representan ciudades interiores y círculos en color negro corresponden a ciudades litorales.

Fuente: extraído de Barragán & De Andrés, (2016, pág.137.)

Algunos de los factores para habitar estas zonas son por ejemplo, acceso a recursos marinos, comunicación y comercio, valor estético y calidad de vida, como por ejemplo; tener vistas al mar, atardeceres, entorno natural, playas, etc., estos elementos del medio natural brindan riquezas paisajísticas, pues de no existir estos no tendría el mismo valor, también se puede encontrar espacios de recreación y turismo, como lo son las playas, temperaturas agradables con vistas privilegiadas, actividades relacionadas al mar, como pesca, buceo, surf, etc., siendo estos factores quienes generan un gran impacto en la zona costera. Estos elementos han impulsado el desarrollo de infraestructuras turísticas (hoteles, restaurantes, servicios recreativos, etc.) que fomentan el crecimiento de estos asentamientos costeros.

El crecimiento demográfico y el crecimiento de la capital de Chile, "han generado un intensivo desarrollo de primeras y segundas viviendas en el litoral, posibilitado por la creación de rutas de movilidad públicas y privadas que han detonado procesos de litoralización en la provincia y un aumento del turismo residencial" (Rojas, 2018). Santo Domingo se encuentra al sur de la comuna de San Antonio, la cual comparte la desembocadura del Río Maipo y además cuenta con atractivos turísticos propios de la zona. Autores mencionan que el estar cerca de la ciudad portuaria traerá consigo un incremento en la demanda de viviendas,

> "Santo Domingo se convertirá en poco tiempo en un barrio del puerto de San Antonio ─ lo que en realidad viene apreciándose paulatinamente desde hace varias décadas─, parece necesario abordar el trabajo del nuevo plan regulador comunal teniendo claro desde la partida la nueva naturaleza de la urbanización y sus formas deseables en el marco de criterios de efectiva sustentabilidad territorial y urbana." (Pavez, 2018).

Entonces el crecimiento urbano y, por consecuencia, el desarrollo inmobiliario tiene por resultado una gran ocupación del espacio, "El fenómeno de la expansión y crecimiento urbanos en las áreas litorales tiene una especial importancia en cuanto a la ocupación del territorio se refiere" (Barragán & De Andrés, 2016).

La urbanización costera comprende grandes construcciones (carreteras, hoteles, grandes edificios, entre otros.), estas actividades pueden interrumpir los procesos naturales de sedimentación y erosión, también trae consigo la deforestación y degradación de ecosistemas costeros, pues se ocupan grandes espacios para la construcción, debido a la realización de estas obras los ecosistemas se ven dañados, pues actúan previniendo la erosión costera, algunos actúan como barreras y absorben energía de las olas. Estas grandes construcciones pueden alterar los procesos como lo son la sedimentación y erosión, sumado a estas grandes construcciones se encuentra también la explotación de recursos naturales en zonas costeras, siendo el que genera más impacto la extracción de gravas y arenas, pues las grandes remociones de sedimentos en zonas costeras, puede tener una directa relación con la

disminución de playas, pérdida de ecosistemas costeros y también un posible aumento ante el riesgo de inundaciones.

Patricio Winckler, investigador y docente en ámbitos costeros con una larga trayectoria, quien, además, hasta el año 2022 fue el representante local en Gestión de Proyectos vinculados al cambio climático en las costas de América, para Fundación Terram (2015), menciona que, "El desarrollo inmobiliario estrangula la duna", además plantea que "los ecosistemas dunarios hay que cuidarlos porque son un indicador de salud del territorio, es el último lugar de los sedimentos que baja por los ríos". El crecimiento inmobiliario en las dunas en un problema pues, "Los procesos dinámicos del borde costero tienen que ser muy bien estudiados, muy bien dominados y muy poco intervenidos porque cuando intervienes estos procesos se pueden concretar amenazas dañinas para el ser humano y su sistema en esa zona", afirmó Mauricio Reyes, para fundación Terram (2015). Entonces, el desarrollo inmobiliario en las zonas costeras puede tener un impacto significativo en la erosión costera y además en los ecosistemas costeros, como lo es el campo dunar de Santo Domingo. Es fundamental adoptar enfoques de planificación y gestión sostenibles que consideren medidas de mitigación y conservación para minimizar los efectos negativos y preservar la integridad de estos valiosos ecosistemas costeros.

2.2. Factores Naturales

2.2.1. Procesos Litorales

Los procesos litorales corresponden a la interacción de vientos, olas y corrientes marinas, estos procesos corresponden "al conjunto de interacciones dinámicas circunscritas al área de contacto entre las grandes masas de agua y las tierras emergidas que las bordean; estas áreas son las litorales" (Díaz, s.f.). Por otro lado, las olas corresponden a "movimientos ondulatorios producidos por el viento, en que cada molécula de agua está siempre animada por un movimiento orbital, en oposición a un movimiento de traslación." (Araya, 2022, pág,3).

Las mareas se pueden definir de distintas maneras como, por ejemplo, "Oscilación periódica del nivel del mar que resulta de la atracción gravitacional de la Luna y del Sol que actúa sobre la Tierra en rotación." (Geoformología Dinámica y Climática, s.f.), por otro lado, se pueden comprender como "ascensos y descensos rítmicos diarios en el nivel del mar producidos por factores astronómicos" (Araya, 2022, pág.3). Finalmente, se encuentran las corrientes marinas o también conocidas como corrientes oceánicas, las cuales pueden ser frías o cálidas, "son causados por las diferencias de temperatura y salinidad que tienen los distintos mares y océanos del mundo, entre otros factores más como la rotación de la Tierra." (Tovar & Vázquez, s.f.). Es por este motivo, que la circulación de las corrientes en el hemisferio norte se da en sentido de las agujas del reloj, mientras que, en el hemisferio sur, es en sentido contrario. En otra definición se encuentra que son "movimientos generalmente no periódicos de masas de agua de mar que se forman en distintas capas, a diferentes profundidades o entre ellas." (Araya, 2022, pág. 3). Estos tres procesos litorales (vientos, olas, corrientes marinas,) son esenciales al momento de hablar de erosión costera, porque son aquellos quienes producen el transporte sedimentario y, por consiguiente, de esto, los cambios morfológicos.

Los procesos litorales y la erosión costera están directamente relacionados, pues como se mencionó anteriormente estos procesos generan un transporte de sedimento y cambios morfológicos, estos son impulsados por fuerzas naturales como el viento, las corrientes oceánicas y las variaciones en el nivel del mar. La erosión costera corresponde entonces al proceso mediante el cual la costa pierde material (rocas o arena) y puede ocurrir de diversas formas, como el arrastre de sedimentos por las olas, la acción corrosiva del agua salada, la erosión provocada por corrientes marinas fuertes, entre otros. Una posible relación entre estos es que los procesos son los responsables en modelar y dar forma a la costa con el pasar del tiempo y la erosión costera es el resultado de la acción de estos, los factores corresponden a procesos de erosión dinámicos.

Estos procesos se dan en ambientes litorales, los cuales se caracterizan por ser áreas de transición entre sistemas marinos y terrestres, lo cual implica que sea una zona de interrelación, "La zona costera es una interfase dinámica (límite común) entre el aire, la tierra

y el mar.". Además, el mismo autor expone que este ambiente litoral, "está asociado a cambios continuos, tanto a escala geológica como histórica y reciente, cuyo origen está en las oscilaciones de las aguas marinas o lacustres." (Díaz, s.f.), existiendo un cambio constante de energía y materia en este espacio. Estos ambientes o ecosistemas son dinámicos y están en una evolución y cambio constante,

> "Los principales agentes dinámicos que actúan en el litoral son principalmente el viento, el oleaje y las mareas. Estos suministran energía al ambiente costero que es la causante de los cambios en el perfil" (García, 2003).

Sumado a esto, la forma y orientación, "exponen su línea de costa al arribo directo del oleaje incidente. De esta forma las olas pueden alcanzar la costa con gran energía, y con un alto potencial para atacar y modificar el perfil de playa" (Benavente, 2015). Los cambios en los procesos litorales, como el aumento del nivel del mar o disminución de sedimento arenoso, pueden intensificar la erosión costera y tener un mayor impacto en los ecosistemas costeros y las comunidades que dependen de ellos. El aumento de la temperatura de los océanos también puede tener influencia en los procesos litorales, pues

> "El aumento de la temperatura de los océanos provoca tormentas más severas y potentes e interrumpe el ciclo del agua, lo que significa más inundaciones en las zonas costeras, sequías e incendios forestales, así como un aumento inexorable del nivel del mar." (Segui, s.f.)

Entonces, es importante la comprensión e investigaciones de los procesos litorales para percibir mejor cómo se produce la erosión costera. Para efectos de esta investigación se consideran los procesos litorales, pues, pueden influir en el avance o retroceso de la línea de costa, además pueden tener incidencia en la variabilidad de la cobertura vegetal de las dunas, esto, considerando variables como la precipitación, temperatura, ya que,

> "Los factores climáticos influyentes son principalmente las condiciones de precipitación, tanto de cantidad como de distribución estacional, la oscilación térmica, (…) los que condicionan el desarrollo de los sistemas dunarios como la vegetación que habita en ellos." (Veloso, 2005).

Entonces, es necesario considerar los procesos litorales, ya que, es preciso para el análisis de la variabilidad de la cobertura de vegetación en las dunas. Examinar factores como el viento y su velocidad es importante pues existe una relación entre la carga y la velocidad,

> "Esto significa que, a determinada velocidad el viento tendrá una capacidad de transporte traducida por una cierta granulometría de las arenas. La dirección del viento influye bastante, en el modelado topográfico de las dunas. Las monticulares son el resultado de vientos inconstantes que soplan desde un cuadrante amplio y que provocan superposición de las acumulaciones." (Börgel, 1963).

El mismo autor menciona que, "los vientos "arrachados ", aquellos que soplan a veces, pero muy fuertemente, son los que influyen más directamente en la extensión dilatada de campos de dunas". Destaca que, Chile es afectado por los procesos de erosión mecánica y el movimiento activo de sedimentos, esto quiere decir que la gran parte de los sedimentos arenosos de las playas son trasladados por el viento.

Finalmente, la presión inmobiliaria, especialmente en forma de segundas residencias y proyectos turísticos, favorece al arrasamiento de los cordones dunares, generando fragmentación territorial y social. Este modelo de desarrollo ha mostrado inconvenientes notables, como fracturas territoriales. La rururbanización, caracterizada por la expansión urbana en áreas rurales, se manifiesta en Santo Domingo como un barrio satélite de San Antonio. Este crecimiento no planificado intensifica la ocupación del territorio litoral, afectando directamente la dinámica de las dunas y comprometiendo su papel como barrera natural y protectora. Además de esto, la relación histórica de las poblaciones humanas con las zonas costeras, motivada por la atracción estética, acceso a recursos marinos y actividades relacionadas al mar, ha llevado a una concentración significativa de población en estas áreas.

Es esencial adoptar enfoques de planificación y gestión sostenibles que consideren medidas de mitigación y conservación para minimizar los efectos negativos en los ecosistemas costeros. La comprensión de los procesos litorales y su interacción con las actividades

humanas es crucial para abordar de manera efectiva el problema de la erosión costera y preservar estos valiosos ecosistemas.

2.2.2. Erosión Costera

La erosión costera se puede clasificar dentro de la erosión hídrica, pues es por la acción del oleaje y corrientes marinas que se modifican las formaciones costeras, "se trata del desgaste continuo de la costa y también la eliminación de los sedimentos, ocasionado mayormente por el efecto de las olas y corrientes marinas y, en menor medida, por la marea y la fauna marina"(Bordino, 2021), la erosión costera como se menciona anteriormente es formada por olas, mareas y corrientes marinas, cuya acción provoca el transporte, acumulación y desgaste de material. Es importante tener en cuenta que las variables climáticas también desempeñan un papel significativo en la erosión costera. El aumento del nivel del mar, el incremento de la intensidad y frecuencia de las tormentas, así como los cambios en los patrones climáticos, contribuyen al aceleramiento de la erosión y la degradación de las costas.

La erosión costera es un fenómeno natural inherente a la mayoría de las zonas costeras. Es importante reconocer que la erosión es un proceso natural que ocurre de manera constante y está relacionado a distintos factores. Ésta se produce por factores climáticos que desgastan el litoral y disminuyen su tamaño y resistencia y también por los procesos litorales (acción de las olas, las corrientes marinas, el viento). Los procesos de erosión se agrupan en 3 grandes categorías, en primer lugar, se encuentra la erosión eólica, la erosión hídrica o por el agua y finalmente, la antrópica, a continuación, se exponen sus subdivisiones en la siguiente tabla.

Tabla N° 1: Tipos de erosión

Tipo de erosión	Características
Eólica	Producida por el viento, se desplaza de zonas de alta presión a zonas de baja presión, transporta materiales erosionados de un lugar a otro.

	Transporta arena, polvo o cenizas de un sitio a otro, el mismo golpe del viento desgasta las geoformas, modelando su forma, no se relaciona con la pendiente.
Hídrica	Originada por el agua de lluvia (pluvial) y los flujos de agua (fluvial), transportando sedimentos, se produce por el o los movimientos de aguas, en sus múltiples formas (lluvia, acción oleaje, corrientes de ríos, etc.), es la remoción del material debido al agua que fluye.
Antrópica	Generada por la actividad humana y sus actividades, como; deforestación, agricultura intensiva, riego artificial, etc., estas actividades aceleran los procesos de erosión.

Fuente: Elaboración propia a partir de United Stated Departament of Agriculture, 2017; Cardona, 2019; Cartón, 2021.

La erosión hídrica resulta de la remoción del material del suelo por el agua que fluye, incluyendo el desprendimiento del material del suelo por el impacto de las gotas de lluvia, además,

> "las fuertes lluvias o grandes cantidades de nieve o hielo derretidos también pueden llevar el sedimento a arroyos y ríos. Los ríos continúan el proceso, tallando cuencas donde la tierra es empinada y enriqueciendo las llanuras aluviales donde la tierra es plana." (Flores O. M., 2021)

Es necesario agregar que **"**el riesgo de erosión eólica aumenta al eliminar o reducir la cantidad de vegetación. Cuando los vientos son fuertes, las partículas más gruesas ruedan o son arrastradas sobre o cerca de la superficie del suelo y las partículas más finas son forzadas al aire." (United Stated Departament of Agriculture, 2017, pág. 72.)

Sumado a estos procesos de erosión se encuentra la erosión química, gravitatoria y por temperatura, la erosión química se encuentra dentro de las consecuencias de la meteorización, "la erosión química da lugar a descomposición y corrosión" (Twenergy, 2019), ésta se genera cuando distintos componentes como, por ejemplo, oxígeno, óxido, entre otros, entran en contacto con los compuestos de las rocas, generando así modificaciones. La erosión gravitatoria o gravitacional corresponde al movimiento de rocas o sedimentos debido a la fuerza de gravedad, "El material que se ha desprendido por la intemperie se transporta desde un terreno más alto a un terreno más bajo donde puede ser recogido por otros procesos de erosión como glaciares o ríos." (Flores, 2021).

Finalmente, la erosión por temperatura, ésta se produce cuando las temperaturas son muy altas al punto de iniciar una expansión o muy bajas generando la congelación de las rocas, estos procesos se comprenden como termoclastia y gelifracción o gelivación respectivamente, "ante temperaturas altas, las rocas se expanden y se agrietan; cuando las rocas se congelan, la llamada gelifracción o gelivación**,** ocurre lo mismo." (Twenergy, 2019), La congelación de rocas se produce cuando el agua líquida proveniente de la lluvia, el rocío o el deshielo se infiltra en las grietas y poros de las rocas y se congela, lo que provoca la expansión del agua congelada y ejerce una presión sobre las rocas, lo que puede provocar la fragmentación y el desprendimiento de fragmentos de roca.

Este proceso de erosión es cada vez más evidente a nivel mundial tras el incremento de actividades humanas en esta zona. También se debe a los efectos del cambio climático, que aceleran la elevación del nivel del mar y el aumento de la frecuencia y fuerza de los fenómenos climáticos extremos como tormentas y huracanes.

La erosión costera tiene distintas escalas de medición y periodos de influencia que forman parte de los procesos litorales, los cuales se exponen en la siguiente tabla.

Tabla N° 2: Escala de evaluación de la erosión costera

Periodo	Escala (temporal -espacial)	Procesos que influyen
Muy corto plazo	De milímetros (mm) a metros (m) De segundos a horas	Vientos, corrientes y oleajes
Corto plazo	De metros (m) a kilómetros (km) De horas a años	Oleajes, vientos, mareas, marejadas, cambio estacional, tormentas,
Mediano Plazo	De kilómetros (km) de años a décadas	Tormentas severas, cambio en el régimen de oleaje, construcciones

		sobre el litoral, cambio en el aporte de sedimentos de los ríos.
Largo plazo	Decenas de km de décadas a centurias	Cambios en el nivel del mar y en el transporte de sedimentos.
Muy largo plazo	Cientos de km de centurias a milenios	Cambios en el nivel del mar, cambios en el oleaje a nivel regional, variaciones en el aporte de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Taviera – Pinto et al., 2011; García et al., 2005

En base a lo expuesto anteriormente, la erosión costera es algo que se puede experimentar a diario. Ahora bien, la erosión se puede evidenciar cuando se compara una playa en momentos distintos, como puede ser luego de un evento de marejadas o tormenta extrema, aunque si bien en ese caso las impresiones de las personas son "la playa ha desaparecido", lo más probable es que solo ha cambiado su perfil de invierno o verano. Ver la playa de noche y de día, el nivel del mar aumenta en las noches, conocido este evento como marea astronómica, la cual se comprende cómo "la atracción gravitatoria que el Sol y la Luna ejercen sobre mares y océanos provoca la aparición de corrientes horizontales que conducen a una subida y bajada del nivel del agua" (Fernández, s.f.). En estos casos, para evidenciar si realmente hubo o no erosión, es necesario realizar análisis más detallados, pues según la Universidad de Buenos Aires, "Una playa está en erosión cuando disminuye el volumen de arena de alguno de sus sub - ambientes a largo plazo, es decir más allá de los ciclos anuales de cambios naturales en el perfil de playa." (Universidad de Buenos Aires, s.f.) mientras que el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, plantean que "solamente se puede afirmar que existe erosión de una costa cuando el sistema litoral en su conjunto ha perdido sedimento." (Ministerio del Medioambiente y Recursos Naturales, s.f.).

A modo de conclusión y para efectos de esta investigación, se considerará a la erosión cuando exista un retroceso en la línea de costa, puesto que, es lo que se puede evidenciar a través de

imágenes satelitales. No se realizará un estudio de volumen de arena, debido a su alto costo asociado con terrenos y no es un elemento por analizar en esta investigación.

Es importante considerar que, para trabajar la erosión costera, se necesita una mirada más amplia a través de la integración de distintas disciplinas, así lo indican un grupo de investigadores chilenos, "Coastal erosion should be addressed by a combination of engineering solutions and integrated coastal management measures,especially those focused on controlling the intensity of urbanization within the coastal zone.", [la erosión costera debe abordarse mediante una combinación de soluciones de ingeniería y medidas integradas de gestión costera, especialmente aquellas enfocadas en controlar la intensidad de la urbanización dentro de la zona costera.] (Martínez et al., 2017)

Dejando en claro que la erosión costera es un tema de importancia a nivel nacional, considerando que la elaboración de la política de Estado del uso del borde costero, se consideró dicho borde como el lugar donde se interrelaciona el medio terrestre con el marino, el cual es un recurso limitado, donde se relacionan diferentes usos en el territorio litoral, los cuales se tienen que aprovechar de manera integral y coherente de acuerdo con las posibilidades que ellos tienen. Para ello, el estado tiene que administrar el territorio litoral con el fin de encausar de manera armónica los intereses nacionales e internacionales que se generan en el borde costero. Ahora bien, como se ha mencionado anteriormente esta política no logra abordar todas las dinámicas existentes en estas zonas de transición entre la costa y el continente, pues permite edificaciones en ecosistemas que no se encuentran protegidos.

Es importante mencionar que en Chile existen al menos 100 municipios costeros, dentro de ellos viven alrededor de 4.5 millones de personas, según datos entregados por el Observatorio de la Costa (2021), dentro de ellos se encuentra la localidad de Santo Domingo, ubicada en la Región de Valparaíso. Santo Domingo se encuentra dentro de este 65% de playas que presentan erosión, los litorales arenosos que presenta alta erosión, "Las playas con erosión alta corresponden a Hornitos (Región de Antofagasta), Algarrobo y Santo Domingo (Región de Valparaíso)." Además, los autores agregan que, "(…) las playas con las mayores tasas de

erosión corresponden a playas de ensenada donde se desarrollan extensos litorales arenosos, asociados a antiguos campos dunares y humedales costeros (Hornitos, Algarrobo, Santo Domingo, Pichilemu, Arauco-Laraquete, Bahía de Lebu y Lebu-Tirúa).” (Martínez et al., 2022, pág. 187).

En conclusión, las características geográficas y geológicas de Chile hacen que su extensa costa sea altamente vulnerable a la erosión costera. La falta de protección y las acciones humanas irresponsables han dejado a gran parte de la costa desprotegida, aumentando su vulnerabilidad. Los datos revelan que la erosión es un problema generalizado a lo largo del país, con un alto porcentaje de playas en retroceso y solo una pequeña proporción que se mantiene estable o experimenta acreción. Dentro de este panorama, Santo Domingo, ubicada en la Región de Valparaíso, se encuentra entre las playas con mayor erosión en el país. Estos hallazgos resaltan la importancia de abordar de manera urgente la erosión costera en Chile. Con al menos 100 municipios costeros y una población significativa que depende de los recursos y servicios que ofrece la costa, es fundamental implementar medidas de protección y conservación. Esto implica la planificación adecuada del desarrollo costero, la implementación de políticas de gestión integral de la zona costera y la promoción de prácticas sostenibles para minimizar los impactos humanos en el ecosistema costero.

2.3. Vegetación Dunar

Las dunas se encuentran dentro de los ecosistemas costeros, es importante mencionar que, “Las dunas no son simples montículos aleatorios de sedimento transportado por el viento. Más bien, son acumulaciones que suelen adoptar modelos sorprendentemente constantes.” (Tarbuck & Lutgens, 2005, pág. 554). Las dunas tienen distintas clasificaciones, pues no serán las mismas aquellas que se ubican en zonas costeras a las que se encuentran hacía el interior del continente, pues “Las condiciones de edificación de las dunas litorales se diferencian de aquellas ubicadas al interior del continente; pues en la costa, el viento suele ser menos estable, la arena más húmeda y su movilización más difícil” (Herrera et al., 2019,

pág, 18). Además de esto, las dunas pueden ser móviles o estables, esto considerando la gran presencia de vientos, si existe o no vegetación en la duna y la cantidad de materia. La composición de las dunas consta de tres partes, "barlovento, cresta y el sotavento; estas características geomorfológicas se forman dependiendo de la velocidad del viento" (Santillán & Gutiérrez, 2018). Con respecto a las dunas costeras, es necesario mencionar que, "La fuente fundamental de la arena de dunas costeras es el sedimento arenoso transportado por el oleaje hacia la playa, el cual está íntimamente relacionado con el balance sedimentario de la misma" (Benavente, 2015). Junto con eso, "Es un sistema dinámico con un ciclo constante de erosión y restauración que juega un importante papel en la defensa de la costa contra la intrusión del mar durante tormentas." (Castro, 2020).

Además, las dunas costeras pueden ser más que una acumulacion de sedimentos arenosos, pueden presentar una cobertura de vegetación la cual, "determina la existencia de distintos episodios de avance, causados por la alternancia de periodos de estabilización y actividad vigorosa, además de hacer una distinción entre dunas estables y activas." (Veloso, 2005).

Las dunas en Chile ocupan superficie tanto en zonas costeras como hacia el interior, componiendo una parte del paisaje de interés antrópico y para distintas especies (flora y fauna). La vegetación en las dunas tiene el rol de mantenerlas, pues,

> "La vegetación de dunas costeras es un componente vital de las mismas, debido a que desempeña un papel importante en la acumulación y consolidación de la arena y genera nuevas condiciones ambientales al proporcionar materia orgánica y sombra, lo cual facilita el establecimiento de otras especies" (SEMARNAT[1], 2013).

Además de lo mencionado anteriormente, según el mismo autor, plantea que esta vegetación presenta adaptaciones como, por ejemplo, "resistencia a la movilidad del sustrato, a condiciones de temperaturas extremadamente altas, de sequías, de inundaciones, de alta salinidad y de limitación de nutrientes." (SEMARNAT, 2013). Entonces, la relación vegetación – duna es recíproca, pues se necesitan una de la otra para poder estar, además de

[1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

esto, la vegetación le da una firmeza a la duna, conocidas como las dunas fijas, las cuales "Están colonizadas por la vegetación, lo cual frena el movimiento de la arena." (MITECO[2], s.f.), esto a diferencia de las dunas vivas o móviles, las cuales se caracterizan por estar en movimiento y su cubierta vegetal es baja o escasa. Ademas de esto, el MITECO menciona que,

> "Con el desarrollo de vegetación el sustrato se estabiliza, permitiendo un proceso de sucesión, en el que inicialmente predomina una cubierta herbácea o de arbustos bajos, la cual lentamente es colonizada por pequeños manchones de arbustos y vegetación arbórea." (MITECO, s.f.)

La formación de la vegetación de la duna está condicionada por distintos factores, "el equilibrio entre factores ambientales, como el transporte eólico, los procesos hidrodinámicos de la costa, la disposición de sedimento y las características morfológicas y sedimentológicas de la playa" (Romualdo, 2022). Entonces la vegetación puede asociarse al tipo de formación de duna, uno de los principales factores que intervienen son, "la dinámica y la morfología de la foredune es la tipología de las plantas (arbórea, arbustiva o herbácea) y su desarrollo en el espacio y en el tiempo, en términos de densidad, cobertura o distribución de las especies." (Romualdo, 2022). Se entiende *"foredune"* o anteduna, aquella que, "se presenta paralela a la playa. Mantiene una estrecha relación con la vegetación que la coloniza y determina su forma alargada. (Veloso, 2005).

Si bien la vegetación de la duna es un factor principal en la formación de ésta, las cuales se rigen por elementos climáticos, el mismo autor plantea que, "(…) el tipo de vegetación presente en los sistemas playaduna, que determina el modo de desarrollo de la foredune, está condicionado, a escala global, por las características climáticas.". Entonces la vegetación dependerá de su ubicación geográfica y condiciones climáticas, pues en zonas templadas o tropicales, se encuentra que la cobertura vegetal tiene una mayor presencia, mientras que, en zonas áridas, "La interacción entre la dinámica sedimentaria eólica y la vegetación arbustiva

[2] El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, España.

dispersa da lugar a una morfología de la foredune en regiones áridas.", entonces la vegetación dunar dependerá de factores climáticos y de su zona geográfica.

Santo Domingo se ubica entonces, "en la región ecológica del matorral y bosque esclerófilo, y en la subregión del matorral del bosque espinoso (…)" (Flores & Arancibia, 2017). Según los autores esta zona corresponde a un lugar de transición, pues pasa del bosque esclerófilo costero de Valparaíso al bosque esclerófilo Maulino. Según los autores, se caracterizan como el piso de vegetación el cual lleva por nombre "Bosque Esclerófilo Mediterráneo Costero de Cryptocarya alba y Peumus boldus" (Leubert & Pliscoff, 2006), las cuales según Flores & Arancibia (2017), se caracterizan por ser matorral, matorral espinoso, matorral estepario arborescente (forma similar a árbol), el bosque esclerófilo costero, entre otros. Entonces Santo Domingo según su ecorregión y subregión, su vegetación forma parte de, arbustos pequeños de hojas duras y pequeñas, "en tiempos favorables desarrollan una rica estrata herbácea primaveral y también asociaciones características de plantas de dunas litorales como son Ambrosia chamissonis y Distichlis spicata." (Flores & Arancibia, 2017).

La vegetación de las dunas entonces desempeña un papel clave en las dunas, pues ayuda a estabilizar la arena, previene la erosión causada por el viento y contribuye a la formación y mantenimiento de las dunas. La presencia de vegetación en las dunas permite la acumulación de sedimentos y crea una barrera contra los efectos de tormentas, tsunamis, entre otros, la presencia de vegetación en las dunas además es un factor determinante en la formación de estas, entonces, es fundamental para su conservación. Independientemente del autor que se haya logrado abordar en este apartado, todos conciben que la vegetación en las dunas es importante y presenta características peculiares, debido a las condiciones en las que viven.

2.3.1. Vegetación y Dunas de Santo Domingo

La vegetación en el cordón dunar de Santo Domingo según Flores & Arancibia (2017), posee 22 especies distintas, siendo 11 exclusivas, esto quiere decir que son especies que sólo se encuentran dentro de esta área de distribucion natural, y que forma parte de la comunidad biótica del área. Dentro de ellas se puede encontrar, "Doca, Vautro, Junquillo y Chocho:

Unidad formada por Carpobrotus aequilaterus, Baccharis macraei, Scirpus nodosus, Lupinus arboreus y Ambrosia chamissonis.", además mencionan que estas especies varían desde el mar hacia el cerro, destacando que se encuentran en diferentes fases de sucesión ecológica, representada en ensambles florísticos de valle y lomas de dunas. Por otro lado, los mismos autores mencionan que se trata principalmente, de una zona que posee como características principales arbustos y hierbas perennes, esto quiere decir que, "son plantas herbáceas de varios años. Invernan bajo tierra y, durante la primavera, sus brotes salen nuevamente. Algunas variedades se mantienen verdes durante el invierno" (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2006).

La vegetacion que se encuentra en este ecosistema posee 9 especies nativas, 5 endemicas, y 8 adventicia, este último se refiere a aquellas que,

> "frecuentemente llamadas «malas hierbas», siendo las más difundidas las siguientes: Planta que crece en los cultivos sin haberla sembrado. planta que perjudica a los cultivos, planta que crece sin haberla sembrado, se propaga de forma natural y ocasiona un daño, planta que crece donde no es deseada y llega a ser perjudicial. (Morales et al., 1983).

A pesar de esto, cumplen su función como cualquier otra planta en el medio fisico, como por ejemplo; añadir materia orgánica al suelo, disminuir la erosión, suministrar o proveer refugio y alimento a la fauna del lugar, entre otros. A continuación se expone una tabla que posee información más específica acerca de la vegetacion de este ecosistema. Siendo N: nativo, E: endemico, A: Adventicia, estas clasificaciones son para el origen fitogeográfico (O.F.) de las plantas. Por otro lado, Me: Mesofanerófito, Mi: Microfanerófitos, Na: Nanofanerófitos, Ca: Caméfitos, He: Hemicriptófitos, Te:Terófitos, corresponden a su clasificación de forma de vida (F.V).

Tabla N° 3: Clasifiación de vegetación del Ecosistema Dunar

Familia	Nombre Científico	Nombre vernacular	O.F.	F.V.
Ephedraceae	Ephedra chilensis	Pingo Pingo	N	He

Aizoaceae	Carpobrotus aequilaterus	Doca	N	He
Asteraceae	Agertania glechonophylla	Barbón	E	Na
Asteraceae	Ambrosia Chamissonis	Ambrosia	A	Ca
Asteraceae	Bahia ambrosioides	Manzanilla Cimarrona	N	Na
Asteraceae	Senecio Paucidentatus	Senecio	E	Ca
Celastraceae	Maytenus Boaria	Maitén	N	Mi
Cuscutaceae	Cuscuta Chilensis	Cabello de ángel	E	Pa
Chenopodiaceae	Rumex crispus	Romaza	A	He
Loasaceae	Loasa triloba	Ortiga caballuna	N	Te
Nolanaceae	Nolana paradoxa	Suspiro de mar	N	Te
Onagraceae	Camissonia dentata		N	He
Onagraceae	Oenothera affinis	Don Diego	N	Te
Papilonaceae	Galega officianilis	Galega	A	He
Papilonaceae	Lupinus arboreus	Chocho	A	Na
Rosaceae	Rubus ulmifolius	Zarzamora	A	Na
Rubiaceae	Galium hypocarpium	Reblún	N	He
Scrophulariaceae	Verbascum virgatum	Mirtún	A	Te
Solanaceae	Lycium chilense	Coralillo	E	Na
Solaneceae	Solanum maritimum	Esparto	E	He
Poaceae	Bromus rigidus	Bromo	A	Te
Poacea	Vulpia Miours		A	Te

Fuente: elaboración propia a apartir de, (Flores & Arancibia, 2017)

A continuación, se expone una figura la cual ilustra algunas de las especies anteriormente mencionadas.

Figura N° 3: Vegetación del ecosistema dunar de Santo Domingo

Fuente: elboracion propia a partir de imágenes tomadas en terreno.

1-Ambrosia Chamissons/Jacobeo maritimum, 2- Cuscuta Chilensis/Cabello de angel, 3- Carpobotus aequilaterus/Doca, 4- Solanum maritimum/Esparto, 5- Duna con vegetación seca, 6- Vulpia Moirs, 7- Senecio pancideutotus, 8- Shinus montonus/Litrecillo, 9- Calystegia soldanella.

Este tipo de vegetación presenta como característica principal, “estructuras endurecidas que les permiten resistir las condiciones del medio y un sistema radicular muy potente que les permite acceder al agua del suelo más fácilmente” (Martínez V., 2022), además logran adaptarse para sobrevivir con una mayor facilidad.

Dentro de las características de esta vegetación se encuentra que, “La mayoría de las especies que se establecen en esta zona presenta poco crecimiento vertical y más bien son de hábito postrado” (Durán et al., s.f.), además de esto, los autores mencionan que, “Es un tipo de vegetación que se desarrolla en suelos con alto contenido de sales solubles”. Por otro lado, esta vegetación “intercepta el movimiento del viento y la arena, por lo que fija la duna

permitiendo la acumulación de materia orgánica y, por ende, la formación del suelo." (Maravilla, s.f.).

La vegetación dependerá de su zona geográfica y su región o ecorregión, en el caso de Santo Domingo se encuentra "en la región ecológica del matorral y bosque esclerófilo, y en la subregión del matorral del bosque espinoso (…)" (Flores & Arancibia, 2017).

Los autores mencionan que, esta vegetación corresponde a un ecosistema importante y frágil a la vez, pues

> "en los sectores de dunas litorales chilenas se desarrolla una vegetación pobre en especies y cobertura y, fisonómicamente uniforme, como respuesta a las condiciones extremas que en ellas imperan. En efecto, el sustrato de arena de las dunas es seco, con baja capacidad de campo, pobre en nutrientes, inestable y, en verano, suele calentarse en forma excesiva." (Flores & Arancibia, 2017)

Del mismo modo, los autores plantean que, la vegetación tiene gran importancia en la fijación y formación de las dunas litorales. Además de esto, las especies que se encuentran en este tipo de ecosistema pueden afrontar condiciones adversas esto, "gracias al desarrollo de una serie de adaptaciones y de respuestas frente a dichas condiciones." (Vega de Seoane et al., 2007). Además, los autores mencionan que, "las especies de plantas de las dunas costeras en las zonas templadas del mundo presentan una gran similitud, morfológica y funcional, debido a las características físicas comunes de los ambientes costeros. A modo de caracterización del ambiente en el que se encuentra esta vegetación, este corresponde según la clasificación de Köppen a un clima mediterráneo con veranos secos y calurosos, en el cual su temperatura media supera los 10°C mínimo cuatro veces en el año, "se da en la costa occidental de los continentes, entre las latitudes 30° y 40°" (Gobierno de Navarra , s.f.), por otro lado se menciona que, sus inviernos son templados y los veranos calidos y secos, la mayor parte de precipitaciones cae en invierno. Por otro lado, según la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, menciona que, el clima característico de la región de Valparaíso corresponde al clima templado de tipo mediterráneo costero, el cual tiene como característica, "(…) temperaturas

son menores por el influjo del océano, siendo más parejas durante el año con un promedio anual de 14°, (…) las precipitaciones son más abundantes alcanzando unos 450 mm." (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, s.f.) Además de esto la humedad relativa es alta, pues alcanza alrededor de un 75%.

Por otro lado, las dunas de Santo Domingo se caracterizan como un ecosistema que brinda servicios ecosistémicos, pues otorga una amplia gama de beneficios, dentro de los más importantes se encuentra la protección costera.

Las dunas de Santo Domingo se ubican inmediatamente después de donde termina la playa, y se caracterizan por ser de arenas negras, producto de cenizas volcánicas.

> "Estas formas eólicas se relacionan, probablemente, con pulsos sedimentarios espasmódicos vinculados con la actividad episódica del volcán Tinguiririca localizado aguas arriba en la cuenca del río Rapel. Acciones antrópicas pueden explicar la desestabilización de los cordones más antiguos y la formación de dunas parabólicas transgresivas a partir de ellos." (Paskoff, et al., 2000).

Lo que evidencian los autores es que en Santo Domingo existen cinco cordones dunares, los cuales se explican en la siguiente tabla,

Tabla N° 4: Caracterización Dunas de Santo Domingo

Características Cordones Dunares de Santo Domingo	
Cordón 1	Altura de 3 a 4 metros, ante duna viva, asociada a la playa actual, modelado monticular, se puede ver afectada por el oleaje, pero se recompone rápidamente en periodos de buen tiempo gracias a la acumulación eólica, posee vegetación como la *Ambrosia chamissonis (*Ambrosía de fresa plateada) y la *Carpobrotus aequilaterus* (Doca), estas especies ayudan a la existencia de este cordón montañoso.
Cordón 2	Características similares al cordón n°1, se diferencia en tener un poco más de altura, se reconocen las mismas especies, pero dominan *Baccharis concava* (vaturo)y *Poa* sp (poa común, poa de los prados), la separación de los cordones 1 y 2, corresponde a una depresión estrecha y discontinua.

Cordón 3	La separación de los cordones 2 y 3 es de unos 60 metros aprox., y corresponde a una depresión, su altura corresponde al nivel de la alta playa actual, además se logran observar depósitos rodados volcánicos con desgaste marino, los cuales se mezclan con gran cantidad de moluscos litorales, como *Mesodesma donacium* (macha) y arena, en su vegetación destaca la *Juncus sp* (junco o junquera) y *Lupinus arboreus* (garbancillo dorado), este sobrepasa los 10 m de altura.
Cordón 4	Los cordones 3 y 4 son separados por una depresión, más estrecha alrededor de 20 metros aprox., y es discontinua pues se ve interrumpida por las dunas parabólicas del cordón 3, tiene una vegetación bastante alta casi en su totalidad, dentro de ellas destaca *Juncus* (junquera), *Galega* (ruda cabruna), *Baccharis*, *Solanum* (hierba negra, hierba mora), *Lupinus* (lupino), *Conyza* (yerba carnicera), además es muy húmeda, aún puede identificarse.
Cordón 5	Este campo dunar ya no existe como tal, nace un campo de dunas parabólicas, sin vegetación, ellas entierran la mayor parte de acantilado que separa la terraza litoral baja de la terraza más alta, está cubierta por arenas de edad pleistocénica.

Fuente: elaboración propia a partir de Paskoff et al., 2000.

A continuación, se presentan dos figuras que permiten visualizar los cordones dunares que se describen anteriormente.

Figura N° 4: Cordones dunares de Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile.

Fuente: elaboración propia a partir de imágenes en terreno.

Figura N° 5: Cordones dunares de Santo Domingo, Región de Valparaíso, Chile.

Fuente: elaboración propia a partir de imágenes en terreno.

Estos cordones dunares son quienes informan de la compleja evolución costera, de factores como, por ejemplo, “glacio-eustático (transgresión postglacial), tectónico (solevantamiento de la costa), sedimentario (progradación hasta la época histórica por aportes de materiales volcánicos), antrópico (en el caso de una desestabilización de los cordones internos por un sobrepastoreo)” (Paskoff et al., 2000). Los autores mencionan que, el último factor mencionado es predominante, pues la construcción de embalses en la zona alta de la cuenca, en este caso, el embalse del Río Rapel no permite la llegada del sedimento a la costa, teniendo por resultado la nula acumulación de sedimentos. Sumado a esto los autores agregan que la intervención humana puede tener consecuencias radicales en el medio natural, “En efecto, el desarrollo en curso de megaproyectos turísticos próximos a la playa hace correr el riesgo de un arrasamiento total de los cordones dunares de la costa de Santo Domingo.” (Paskoff et al., 2000).

Este ecosistema dunar se ha visto amenazado por el desarrollo inmobiliario, pues como se menciona anteriormente, existe el club Santa María del Mar, el cual quiebra la continuidad del campo dunar. Además se encuentra en desarrollo un nuevo proyecto inmobiliario en la misma zona, al mismo tiempo las acciones de andar en vehículos motorizados dentro de las dunas también tienen consecuencias en estas, así lo evidencia el informe de la fundación Cosmos en el cual Carreño (2018) presenta en un artículo, demostrando que, "El campo dunar de la playa de Santo Domingo se presenta como un sector de características únicas en el área y que se encuentra con riesgo de desaparecer por la presión inmobiliaria del sector.” (Carreño, 2018), según el mismo informe realizado por distintos investigadores, los campos dunares abarcan aproximadamente 70 hectáreas las cuales se encuentran desprotegidas. Este gran campo dunar,

> “colindan con un pequeño bosque esclerófilo costero y un matorral estepario de secano costero. La suma e interacción de estos tres ecosistemas forma una zona de gran importancia biológica; un ensamble diverso de flora y aves, muy particular y único.” (Fundación Cosmos, 2018).

Así lo evidenció un estudio realizado en el año 2017 por Avitrek, la cual es una organización que busca desarrollar investigación científica, a solicitud de la Fundación Cosmos, señalando

que alrededor del 55% de la flora presente es nativa y un 23,2% corresponde a especies endémicas. En relación con la fauna, la cual corresponde mayormente a aves, se encontraron dos especies de tipo endémica y alrededor de 30 especies nativas.

Cada especie presenta distinta fenología según su relación entre factores estacionales, zona geográfica, entre otros, este concepto se conoce como, "la ciencia que describe y estudia las relaciones entre los factores climáticos y las manifestaciones estacionales o periódicas de las especies (floración de las plantas, migración de los pájaros, etc.)." (Fenocat, s.f.). Por otro lado, se encuentra que durante las últimas décadas el clima ha sufrido variaciones sin antecedentes con respecto a la magnitud y la rapidez de los cambios que se han observado, esta ciencia, permite "estudiar la evolución de estos cambios a lo largo del tiempo y determinar si los desacoplamientos fenológicos de varias especies ecológicamente relacionadas ponen en riesgo el correcto funcionamiento de los nuevos ecosistemas derivados del cambio climático." (Fenocat, s.f.). La fenologíade las plantas del cordón dunar de Santo Domingo, es posible medirla dentro de los meses de julio a octubre, esto debido a que, en estas fechas su fase de ciclo vital se encuentra en su pick, en este periodo de tiempo usualmente las precipitaciones ya pasaron, puede existir una combinacion de variables como temperatura, humedad, luz solar, entre otros. Que pueden favorecer a su floración o sus etapas de fotosíntesis. Es importante considerar el ciclo de vida que tienen las especies, por ejemplo, la vegetación del ecosistema dunar de Santo Domingo, se ha ajustado al ambiente costero, desarrollando adaptaciones específicas para este entorno, como por ejemplo, la exposición al viento, altos niveles de salinidad, entre otros. Es necesario agregar, que el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), es un indicador que evalua la salud y vitalidad de la vegetación, lo cual presenta valores entre –1 y 1, cuando se habla de que las plantas presentan un aumento o su pick en estos meses (julio a octubre) quiere decir que, está experimentando un aumento en su densidad y actividad fotosintética.

El ecosistema dunar de Santo Domingo presenta una diversidad biológica, con 22 especies distintas y dentro de ella 11 son exclusivas de esta área. Este campo dunar es parte de la protección costera, el cual se ve constantemente amenazado por el desarrollo inmobiliario y

la falta de protección desde el Plan Regulador Comunal, el cual zonifica esta área como zona de equipamiento para vivienda.

La fenología de las plantas en este ecosistema, medida especialmente en los meses de julio a octubre, revela la adaptación de la vegetación a las condiciones específicas del entorno costero. Durante este período, las plantas experimentan su fase de ciclo vital más activa, evidenciada por un aumento en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual se expresará posteriormente en el apartado metodológico, indicando una mayor densidad y actividad fotosintética. Esta adaptación única de las especies del ecosistema dunar destaca su importancia y fragilidad, subrayando la necesidad de conservación frente a las amenazas actuales.

Según Flores & Arancibia (2017), este lugar es de suma importancia por su estructura natural que actúa como protección para la zona urbana que se encuentra hacia el interior. Por otro lado, en este gran cordón de campo dunar existen grandes cantidades de especies que son de carácter endémicas, se encuentran especies de la fauna como por ejemplo el churrín y el canastero, los cuales al igual que el molle y el chagual, en lo que respecta a la flora, son endémicos. A pesar de su gran importancia por la biodiversidad que presenta, "esta área no tiene ningún tipo de protección, está a merced de proyectos inmobiliarios que ya han mostrado interés por construir sobre las dunas, así como a las motos y cuadrimotos que suelen verse por estos lados." (Fundación Cosmos, 2018).

En conclusión, el ecosistema dunar de Santo Domingo, de la Región de Valparaíso, presenta una biodiversidad que incluye variedad de especies nativas, endémicas y adventicias. Se caracteriza por ser un entorno frágil y único, además desempeña un papel crucial en la protección costera y ofreciendo servicios ecosistémicos. A pesar de esto se encuentra amenazado por la presión inmobiliaria del sector y no se encuentra protegido por el plan regulador comunal, el cual fue actualizado el presente año (2023), lo cual puede poner en riesgo su existencia y de la biodiversidad que alberga. La pérdida de la continuidad en el campo dunar debido a proyectos inmobiliarios y la presión de éstos resalta la necesidad de

medidas de conservación y protección, pues la falta de ésta expone al ecosistema a riesgos de desaparición. La información detallada que proporcionan los estudios científicos, como el de Flores & Arancibia (2017), ofrece una base sólida para la toma de decisiones informadas y la promoción de prácticas que preservan la integridad de este ecosistema costero.

2.3.2. Degradación y variabilidad de la vegetación dunar

Las dunas de Santo Domingo corresponden a un hábitat para distintas especies de flora y fauna, "se presenta como un sector de características únicas en el área y que se encuentra con riesgo de desaparecer por la presión inmobiliaria del sector." (Flores & Arancibia, 2017). Según los mismos autores, el campo dunar posee un "alto grado de presencia de especies endémicas y nativas que superan el 75% en la flora y la presencia de dos especies de aves endémicas.". Por otro lado, autores hablan acerca de la valorización de estos ecosistemas litorales, mencionando que,

> "valorizar los sistemas litorales, tanto por el interés científico, como por las evidencias de degradación dunaria por efecto de la acción antrópica y recalca que los planes de ocupación del litoral y especialmente las prácticas de manejo en dunas deben considerar el conocimiento de las características naturales y la dinámica de estas, antes de la ejecución de cualquier acción". (Castro et al., 1999)

Las dunas albergan una gran diversidad de especies, es más,

> "las dunas costeras albergan una importante diversidad ecológica, proporcionando bienes y servicios importantes que se han utilizado durante mucho tiempo para numerosas actividades humanas, siendo sustancialmente alteradas por la actividad humana y muchas de ellas ya están severa e irreversiblemente degradadas." (Martínez & Psuty, 2004).

Según Madrid & Teillier, "En Chile central, las dunas litorales se encuentran en todo el largo de la costa del océano Pacifico y su origen está relacionado con modificaciones climáticas y del nivel del mar durante el Cuaternario, atribuyéndoseles un carácter formativo permanente." (Madrid & Teillier, 2021).

La característica climática donde se ubican las dunas corresponde a un clima mediterráneo, el cual. "se caracteriza por tener estaciones muy marcadas y contrastantes, inviernos fríos y lluviosos, veranos secos y calurosos, y dos estaciones de transición: otoño y primavera." (Mueso Nacional de Historia Natural de Chile, s.f.), además de esto, "En esta zona están los mejores suelos de Chile y un bosque con especies adaptadas a su clima: el bosque esclerófilo.". Las dunas de Santo Domingo son del período geológico del Holoceno, "se caracterizan por ser pequeñas, fragmentadas y dinámicas, con suelos arenosos, secos y desequilibrados nutricionalmente." (Madrid & Teillier, 2021).

A pesar de estas características particulares, "todas las dunas de los ecosistemas con clima del tipo mediterráneo están amenazadas por la invasión de plantas exóticas, el desarrollo de infraestructura, la demanda turística y el aumento del nivel del mar" (Cowling et al., 2019). Entonces la degradación y variabilidad de las dunas no dependerá solamente de los factores climatológicos, sino también de su entorno. Asimismo, la vegetación de las dunas no sólo se puede ver afectada por estos elementos mencionados anteriormente, también, se encuentra que, "La actividad humana no sólo es susceptible de amenazar la conservación de los sistemas de dunas costeros por la afectación directa sobre las geoformas eólicas, sino también de manera estructural al causar efectos perjudiciales sobre la vegetación dunar." (Romualdo, 2022). Estos factores que alteran y degradan las dunas incluida la vegetación, pueden traer otros efectos,

> "en variaciones en el número y la morfología de los ejemplares (…) cambios en los procesos reproductivos de las plantas, avance de comunidades de especies exóticas invasoras (…), o reducción de las comunidades de especies pioneras y de la riqueza de especies." (Madrid & Teillier, 2021).

Este apartado permite evidenciar que, la vegetación del ecosistema dunar se encuentra bajo un entorno de amenazas constantes de carácter antrópico. Por otro lado, se lograr evidenciar la relevancia de este ecosistema de carácter dentro de los hábitats litorales y también su relevancia, pues el poseer estas características tan peculiares y de tal envergadura para el medio físico y para los seres humanos, ayuda a considerar que la degradación y variabilidad

vegetativa dunar cambiarán según su entorno, se encuentran determinados por los distintos factores que pueden ser externos a características propias de la vegetación, pues como se menciona anteriormente, sobre este ecosistema influyen elementos antrópicos y a su vez se asocian igualmente a factores climáticos, su ubicación geográfica y su región o ecorregión.

2.3.3. Vulnerabilidad ecosistémica

Cuando se habla de este concepto, es haciendo alusión a poder "valorar el papel de los servicios ecosistémicos para el mantenimiento y fortalecimiento de nuestras ciudades través de la identificación de los ecosistemas, su valoración y consideración desde la planificación." (Córdoba, 2021). Ahora bien, este puede comprenderse también, como la "capacidad de resistencia de las personas, los sitios, los ecosistemas y las especies para hacer frente a los imprevistos y las perturbaciones sin dejar de cumplir con su función." (Millenium Ecosystem Assessment, s.f.).

La vulnerabilidad ambiental se produce principalmente por eventos de alto impacto, como el cambio climático, calentamiento global, actividad humana, entre otros. La vulnerabilidad ambiental afectará de distinta manera según la ubicación geográfica del hábitat, además,

> "El daño ambiental, a causa de la visión mercantil de la naturaleza -por considerarla un aspecto de la competitividad económica de los países y una vía de ganancia para las corporaciones- ha sido de tal grado que se ha derivado en una era geológica citada frecuentemente como el "Antropoceno". (Sánchez, 2021).

Esta época del Antropoceno se caracteriza por, "el impacto planetario como consecuencia de los disturbios ambientales causados por la intervención humana y tiene como consecuencias claras: una marcada aceleración de las tasas de erosión y sedimentación, cambios bióticos que incluyen niveles sin precedentes (…)" (Sánchez, 2021). Si bien existen acuerdos internacionales relacionados a temas ambientales, "los efectos de la crisis ecológica se manifiestan de distinta manera no sólo para cada país sino para cada grupo social dentro de sus fronteras." (Sánchez, 2021). La vulnerabilidad ecosistémica o ambiental, tiene entonces

una estrecha relación con los factores de su entorno, está podrá variar según sea la relación ser humano– medio.

Es necesario mencionar la correlación que pueda existir entre las variables asociadas al clima o tiempo atmosférico, "El clima puede definirse como la estadística del tiempo atmosférico, es decir, como una medida del comportamiento medio de variables meteorológicas (temperatura, precipitación, humedad, vientos, etc.)" (Carrasco, 2017). Además de esto el clima se encuentra determinado por distintos elementos, "factores atmosféricos, geográficos y biofísicos como la latitud, características del terreno y la elevación, así como por los cuerpos de agua cercanos." (Carrasco, 2017). El mismo autor plantea que el comportamiento más utilizado para definir las características climáticas, son la temperatura y precipitación. Es necesario mencionar que existen periodos en los que se encuentra el fenómeno del niño y la niña, por un lado, el ENOS[3]

> "es un fenómeno natural caracterizado por la fluctuación de las temperaturas del océano en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial, asociada a cambios en la atmósfera. Este fenómeno tiene una gran influencia en las condiciones climáticas de diversas partes del mundo. (Organización Meteorológica Mundial, 2014)

Mientras que el fenómeno de la niña corresponde a cuando, "se enfrían las aguas superficiales en el Ecuador oriental." (Sepúlveda, 2023), estos eventos o fenómenos se contraponen, uno se relaciona con el aumento de temperaturas y el otro con la baja de temperaturas en el océano. Las consecuencias de las variaciones de temperatura y precipitación, "producirá una reducción de las masas de hielo y nieve de los glaciares cordilleranos con una alteración en los recursos hídricos del país, (…) con cambios del tipo de cultivos, alteración de los recursos pesqueros, entre otros cambios específicos propios de la diversidad de ecosistemas que presenta el territorio nacional." (Carrasco, 2017).

La variación de temperatura y precipitaciones pueden tener efectos en la vegetación, pues pueden generar cambios o influir en la disponibilidad de agua y nutrientes, también pueden

[3] El Niño Oscilación del Sur

incidir en el desarrollo de las especies. El ambiente dunar como se menciona anteriormente posee características particulares,

> "los ecosistemas sean relativamente sencillos: desde el punto de vista florístico, encontramos una riqueza limitada, ya que son pocas las especies capaces de establecerse en estos ambientes. Por otro lado, las condiciones físicas que limitan el establecimiento y la sobrevivencia de las especies vegetales son fácilmente reconocibles y diferenciables entre los microambientes." (Martínez & Valverde, 1992).

Es necesario mencionar que la vegetación que se encuentra en el ecosistema dunar de Santo Domingo, corresponden a formas de vida Mesofanerófitos, Microfanerófitos, Nanofanerófitos, Caméfitos, Hemicriptófito, Terófitos, esto se explica en la siguiente tabla

Tabla N° 5: Tipo y Subtipo de Vegetación

Tipo o Subtipo	**Características**
Hemicriptófito	Plantas perennes, presenta una reducción de la parte área (o de arriba) en épocas no favorables, su principal característica es que sus yemas están ubicadas en la superficie del suelo o muy cercana a ella, durante el ciclo de vida de la planta estas yemas no están enterradas profundamente en el suelo.
Caméfitos	Plantas perennes, herbáceas o leñosas, sus ramas o sistema caulinar permanece todo el año por sobre los 50 cm de superficie del suelo, poseen yemas muy resistentes en periodos desfavorables.
Fanerófitos	
Nanofanerófitos	Plantas herbáceas vivaces o leñosas (arboles, grandes hierbas, bambúes, entre otros), sus yemas se encuentran por sobre los 50cm del nivel del suelo.
Microfanerófitos	
Mesofanerófitos	
Terófitos	Completa su ciclo vital durante el año, muere tras la producción de semillas, pasan el periodo desfavorable (sequía o frío) en forma de semillas.

Fuente: Elaboración propia a partir de Alcaraz, (2013)

Es necesario mencionar que, los Mesofanerófitos, Microfanerófitos, Nanofanerófitos, son un subtipo de los Fanerófitos, este concepto se utiliza para abarcar todas estas subcategorías incluyendo además a los Macrofanérofitos y Megafanerófitos.

Para efectos de esta investigación se considerará la vulnerabilidad ecosistémica o ambiental, asociando que el ecosistema dunar de Santo Domingo no se encuentra resguardado, por ende, está al alero de posibles construcciones, siendo su entorno el que le da el grado de vulnerabilidad a éste.

En resumen, este apartado contribuye a la investigación resaltando la vulnerabilidad ecosistémica del enclave dunar de Santo Domingo, focalizando la atención en la falta de resguardo y la amenaza inminente de posibles construcciones en su entorno. Este ecosistema, caracterizado por su singularidad y diversidad biológica, se encuentra expuesto a un riesgo significativo debido a la interacción directa con actividades humanas y al impacto de fenómenos climáticos. La relevancia de este análisis radica en la comprensión detallada de las características propias del ecosistema dunar y su conexión intrínseca con el clima mediterráneo costero de la región de Valparaíso. La vulnerabilidad ambiental del ecosistema dunar se manifiesta no sólo en la presión directa ejercida por actividades humanas, sino también en las transformaciones significativas provocadas por la visión mercantil de la naturaleza, como se menciona en el texto. La conceptualización de la era geológica actual como el "Antropoceno" recalca la magnitud de la influencia humana en los sistemas naturales y destaca la necesidad urgente de abordar la gestión ambiental de manera sostenible.

En este contexto, es esencial considerar las múltiples dimensiones de la vulnerabilidad, que van más allá de las fluctuaciones climáticas y abarcan aspectos socioeconómicos y culturales. La relación entre el ser humano y su entorno natural resalta la importancia de enfoques integrados para la conservación y la planificación del uso del suelo, que no solo protegen la biodiversidad única del ecosistema dunar sino también salvaguarden los ecosistemas para la comunidad circundante.

La reflexión sobre la vulnerabilidad del ecosistema dunar de Santo Domingo no sólo insta a la acción inmediata para mitigar riesgos, sino que también resalta la responsabilidad colectiva de salvar la biodiversidad instar al cuidado de la naturaleza desde los seres humanos.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque metodológico

El enfoque metodológico de la investigación es cuantitativo, se encuentra que, este enfoque, utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Sampieri et al., 2014). El mismo autor menciona que, una investigación cuantitativa utiliza la recolección de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Consiguiente de esto, esta investigación se trabajará a través de datos estadísticos, representados en atributos numéricos, en este caso las precipitaciones y temperaturas. Además, se trabajará la producción de datos muestrales, pretendiendo llegar a un análisis de la variabilidad de la vegetación en las dunas de Santo Domingo.

3.2. Tipo de Investigación

Para esta investigación se requiere caracterizar y analizar acerca de la variabilidad de vegetación en el ecosistema dunar, dilucidar su cambio a través de los años con datos históricos, considerando distintas variables, por lo que esta investigación es exploratoria y descriptiva correlacional a su vez. Las investigaciones exploratorias tienen por objetivo examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes (Sampieri et al., 2014). Por otro lado, el mismo autor plantea que, las que son de tipo descriptivas, se centran en buscar y especificar características importantes del fenómeno o evento que se analice, Sampieri et al., menciona acerca de esto que, estas investigaciones pretenden medir o recoger información de manera independiente

o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, pero no indican su relación (Sampieri et al., 2014). El diseño de la investigación es de carácter no experimental, y éstas se pueden comprender según el mismo autor, como las investigaciones que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en las que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos (Sampieri et al., 2014).

3.3. Diseño Metodológico

3.3.1. Tipo de muestra

La selección de datos de estudio corresponde ecosistema dunar de Santo Domingo, se utilizará una escala local, para lograr contemplar los factores externos al ecosistema dunar. La selección de datos y las variables seleccionadas, por un lado, corresponden a la precipitación y temperatura, y en segundo lugar corresponde al uso de imágenes satelitales. La intención de la selección de estos datos es necesaria para abarcar los períodos específicos de la investigación, esto con el propósito de tener resultados representativos en base a los datos, en este caso climáticos (por su temporalidad). Con respecto a los criterios de levantamiento de datos de variables climáticas se seleccionan las más relevantes según la bibliografía recopilada y presentada en el marco teórico siendo estas 2 variables (temperatura y precipitación). Se excluyen variables similares como la humedad, la presencia de niebla y procesos globales como el P.D.O[4] y el E.N.O. S[5] a nivel analítico en profundidad, esto debido al nivel exploratorio de esta investigación y a la vez la temporalidad de ésta, su desarrollo y su complejidad. Es necesario mencionar que el tipo de muestra que se utilizará es no probabilístico, el cual se comprende como el procedimiento que no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad. Si no, que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador, lo cual las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación (Sampieri et al., 2014).

[4] Pacific Decadal Oscillation

[5] El Niño-Oscilación del Sur

3.3.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis según Sampieri (2010), indica quiénes van a ser medidos, es decir, los participantes o casos a quienes en la última instancia van a aplicar el instrumento de medición. Para efectos de esta investigación la unidad de análisis corresponde al campo dunar de Santo Domingo, específicamente "Inmediatamente detrás de la playa que se extiende al sur de Santo Domingo (33°40'S), (…) desarrolla una secuencia notable de cordones dunares paralelos, de varios kilómetros de largo, constituidos por arenas negras y separados entre sí por depresiones alargadas." (Paskoff et al., 2000), y la posterior delimitación a realizar por el investigador. Durante el proceso de la investigación se busca evidenciar la variación en la vegetación en el área de estudio bajo la temporalidad antes planteada. Por tanto, se busca que a través de la validación de las técnicas de teledetección y software estadísticos se llegue a los resultados.

Tabla N° 6: Unidad de análisis y variables por cada objetivo específico

Objetivo General	**Caracterizar los factores antrópicos y naturales presentes en la erosión costera y analizar su influencia en la variabilidad de la cobertura vegetal en las dunas de Santo Domingo en los años 1985 y 2022.**					
Objetivos específicos	**Dimensiones**	**Variables**	**Subvariables**	**Indicadores**	**Técnicas**	**Instrumentos**
Objetivo N°1: Describir la variabilidad de la cobertura vegetal en el cordón dunar de Santo Domingo y su relación con las variables de precipitación y temperatura durante los años 1985 y 2022.	Medio Físico. dunas, vegetación, Temporalidad.	Temporalidad, cambio de la vegetación, precipitación, temperatura,	Precipitación. Temperatura. Periodos de sequía, olas de calor.	Variabilidad y distribución de la vegetación. Ausencia o presencia de vegetación.	Extracción de imágenes satelitales, procesamiento de imágenes satelitales NDVI, análisis de datos históricos. Correlacionar valores y datos climatológicos con indicador NDVI.	Software ArcGIS Pro-3.1.0, QGIS 3.20.3 Odense, Google Engine Code. Software modelador estadístico y gráfico EXCEL. Análisis estadístico y temporal de precipitación y temperatura.

Objetivo N°2: Identificar y caracterizar los factores naturales y antrópicos presentes en la erosión costera y que puedan incidir en la vulnerabilidad del ecosistema dunar de Santo Domingo durante los años 1992 y 2022.	Medio físico, factores antrópicos, factores naturales, actividad antrópica, desarrollo inmobiliario.	Construcciones, variabilidad uso de suelo.	Límites de construcción, vegetación.	Expansión urbana, desarrollo inmobiliario, avance o retroceso línea de costa.	Análisis de datos históricos de precipitación y temperaturas	Google Earth Pro, Google Engine Code Análisis bibliográfico.
Objetivo N°3: Analizar y relacionar los factores naturales y antrópicos que puedan incidir en la vulnerabilidad del ecosistema dunar de Santo Domingo durante los años 1985 y 2022	Medio humano y físico, desarrollo inmobiliario.	Usos de suelo, límites de construcción, permisos otorgados de construcción,	Límites de construcción, edificaciones.	Ubicación de construcciones, futuros o nuevos proyectos.	Recogida de datos bibliográficos. Revisión de Políticas Nacionales de Uso de Borde Costero (PNUBC), fotointerpretación.	Plan regulador comunal de la comuna Santo Domingo. Google Earth Pro, función time lapse. Software ArcGIS Pro-3.1.0 QGIS 3.20.3 Odense

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección

Es importante mencionar que en esta investigación se trabaja con fuentes de información secundaria.

Con respecto al análisis de datos de Índice de Vegetación Normalizado, se utilizará un gráfico de Boxplot, el cual corresponde a una herramienta utilizada para el análisis de datos con el fin de lograr representar la distribución de los conjuntos de datos. Este tipo de gráficos facilita la representación de los datos estadísticos. Dentro del gráfico BoxPlot se pueden encontrar distintos elementos para lograr visualizar y analizar los datos, de ellos se puede mencionar la mediana, la cual se representa por la línea de la caja, “La mediana es una medida común del centro de sus datos. La mitad de las observaciones es menor que o igual al valor y la mitad es mayor que o igual al valor.”, (Minitab, s.f.). Por otro lado, se encuentran los cuartiles, estos corresponden a los extremos de la caja, si bien la caja como tal presenta el rango intercuartílico (IQR), en otras palaras es la distancia entre el primer cuartil (Q1) y el tercer

cuantil (Q3), los extremos de la caja representan estos cuartiles. El bigote o línea que se extiende desde la caja, indica la variabilidad fuera de los cuartiles y permiten observar la dispersión de los datos, los puntos más lejanos a los bigotes se consideran valores atípicos. Entonces el boxplot es especialmente útil para identificar la simetría de la distribución, la presencia de valores atípicos y la concentración de los datos alrededor de la mediana. También facilita la comparación visual de múltiples conjuntos de datos, en síntesis, este tipo de grafico es una herramienta bastante útil para resumir la distribución estadística de un conjunto de datos y proporcionar una representación visual rápida y fácil de interpretar.

Por otro lado, es necesario mencionar que, para el Índice de Vegetación Normalizado, los valores los valores de NDVI van desde el -1 al 1, siendo los valores negativos o cercanos a este aquellos que no existe vegetación viva y, por otro lado, los valores cercanos a 1 son aquellos que poseen vegetación saludable, esto en relación con la reflectancia de la clorofila. Si bien existen discusiones en relación con las categorías que se encuentran dentro de estos rangos, para efectos de esta investigación se optó por adaptar tablas de categorización, pues no se encontró una tabla adecuada que se ajuste al área de estudio. A continuación, se presenta la categorización para los valores de NDVI la cual se utilizará más adelante.

Tabla N° 7: Categorización de valores NDVI

Valores		**Categorías**
<	-1	Clases no vegetales
-0.1	0.1	Suelo desnudo o sin vegetación
0.1	0.2	Vegetación dispersa
0.3	0.4	Vegetación agrupada
0.4	>	Vegetación abundante

Fuente: elaboración propia

Para calcular los valores de NDVI, se utiliza la siguiente formula:

$$NDVI = (NIR - Red) \div (NIR + Red)$$

Donde NIR es la luz del infrarrojo cercano y Rojo es luz roja visible. Hay un gran número de herramientas gratuitas del SIG en línea que permiten el cálculo instantáneo del NDVI. Para el satélite Landsat 4 y 5, corresponde la siguiente fórmula:

$$NDVI = (Banda\ 4 - Banda\ 3) \div (Banada\ 4 + Banda\ 3)$$

Siendo la banda 4 el infrarrojo cercano y la banda 3 el rojo. Para Landsat 8 y 9, aplica la misma fórmula solamente cambian las bandas,

$$NDVI = (Banda\ 5 - Banda\ 4) \div (Banada\ 5 + Banda\ 4)$$

Siendo la banda 5 la que representa la onda roja y la banda 4 NIR o infrarrojo cercano.

Tabla N° 8: Técnicas e instrumentos por objetivos específicos

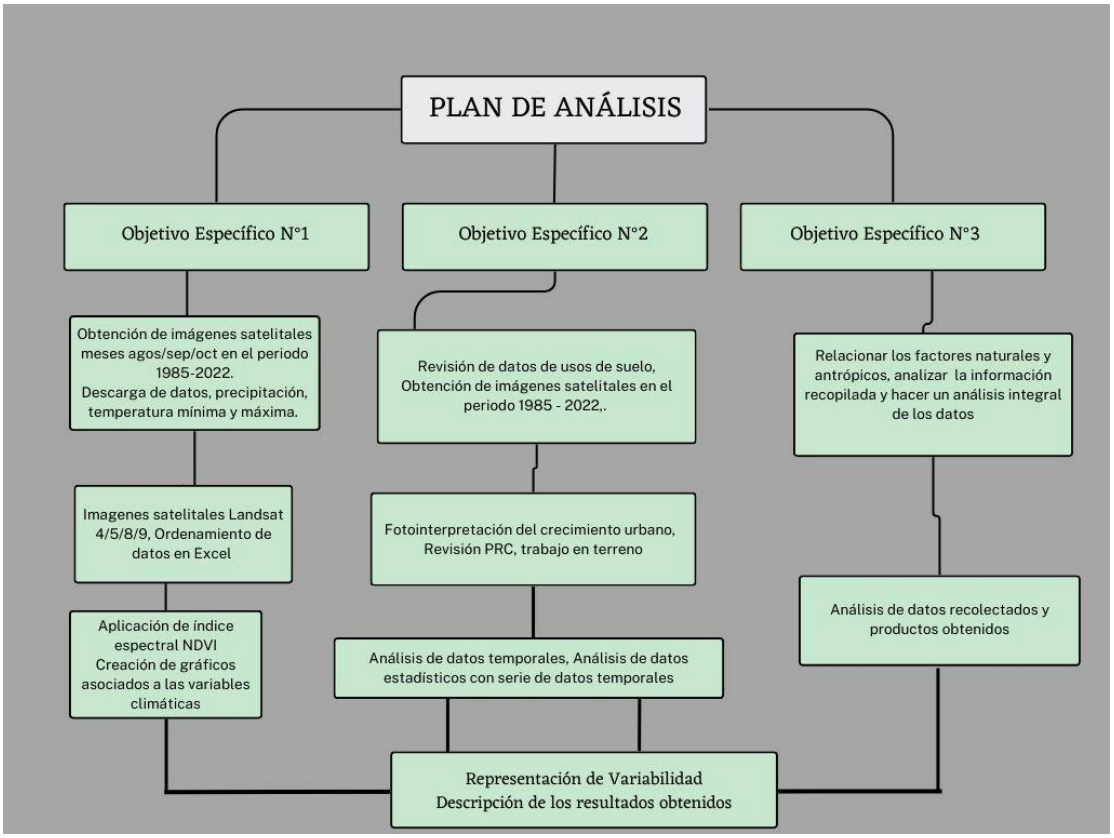
Objetivos Específicos	**Técnica de levantamiento**	**Técnica de análisis**	**Instrumento**
Describir la variabilidad de la cobertura vegetal en el cordón dunar de Santo Domingo y su relación con las variables de precipitación y temperatura durante los años 1985 y 2022.	Imágenes satelitales Recogida documental PRC, bibliografía. Revisión de base de datos de datos (Cr2, DGA), asociadas a las variables climáticas.	Análisis temporal Resultados mediante análisis estadísticos de variabilidad Análisis temporal de imágenes satelitales mediante NDVI. Fotointerpretación	Software ArcGIS Pro-3.1.0 QGIS 3.20.3 Odense Google Earth Pro, función time lapse. Software modelador estadístico y gráfico EXCEL. Google Engine Code
Identificar y caracterizar los procesos litorales y antrópicos presentes en la erosión costera y que puedan incidir en la vulnerabilidad del ecosistema dunar de Santo Domingo durante los años 1985 y 2022.	Revisión de base de datos de datos (Cr2, DGA), asociadas a las variables climáticas. Recogida documental PRC, bibliografía.	Análisis documental Análisis temporal Análisis de datos Fotointerpretación	Análisis estadístico y temporal. Google Earth Pro, función time lapse. Datos Cr2 Google Engine Code
Analizar y relacionar los factores naturales y antrópicos que puedan incidir en la vulnerabilidad del ecosistema dunar de Santo Domingo durante los años 1985 y 2022	Revisión documental asociada a las variables seleccionadas.	Fotointerpretación. Análisis de datos. Análisis temporal Análisis documental de usos de suelo.	Software ArcGIS Pro-3.1.0 QGIS 3.20.3 Odense Google Earth Pro, función time lapse.

Fuente: elaboración propia

3.3.4. Plan de análisis

A continuación, se presenta un esquema que sintetiza el plan de análisis

Figura N° 6: Plan de Análisis



Fuente: elaboración propia

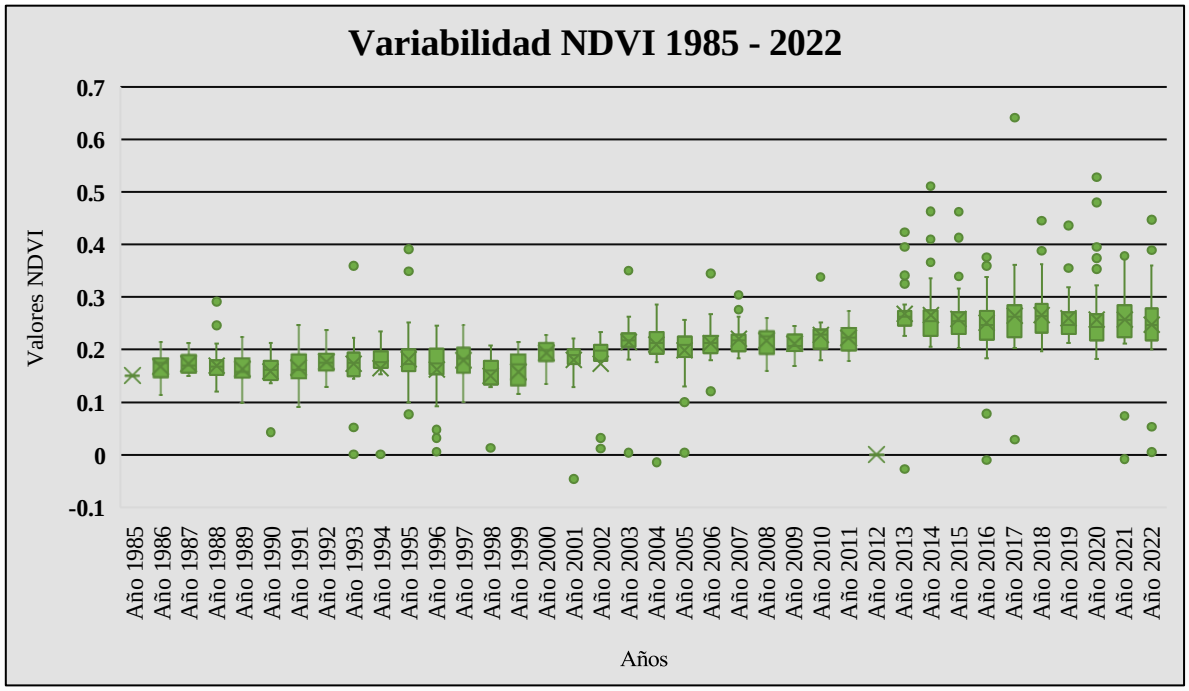
CAPÍTULO IV: MARCO DE EXPOSICIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados por objetivos

4.1.1. Tejido Verde a lo Largo del Tiempo: análisis de la cobertura vegetal en el cordón dunar de Santo Domingo (1985-2022) y su vínculo con las variables climáticas.

En primer lugar, se presenta el gráfico de BoxPlot que muestra la variabilidad del índice normalizado de vegetación (NDVI).

Gráfico N°1: Variabilidad índice normalizado de vegetación entre los años 1985 – 2022



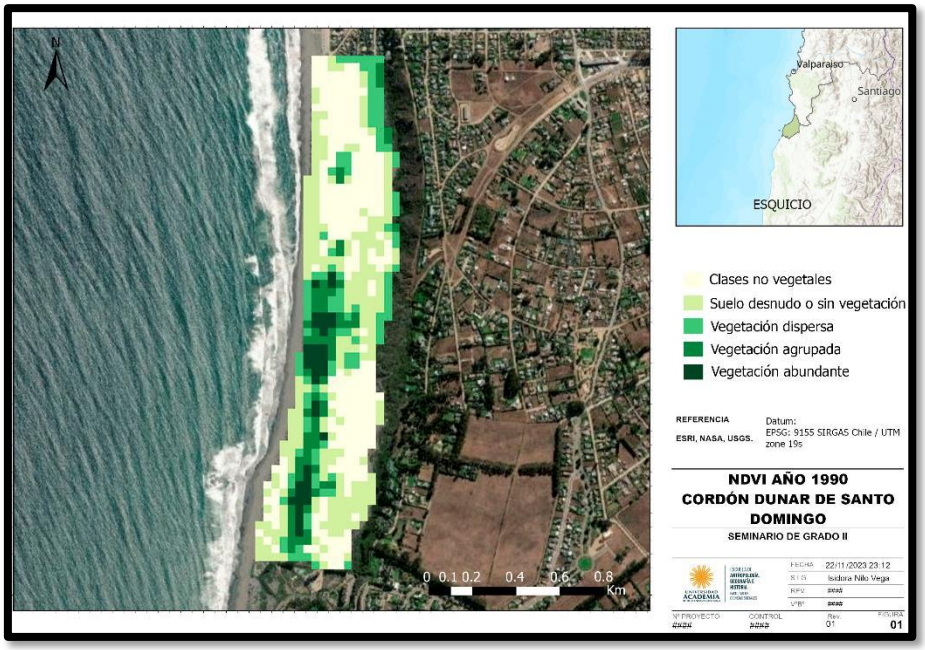
Fuente: elaboración propia

Este gráfico presenta entonces la variabilidad de los valores del índice normalizado de vegetación, estos datos muestran el comportamiento a lo largo de los 37 años. Dentro de este se puede observar que la fluctuación de la mayoría de los datos, es decir, dentro de la caja, presenta variaciones no tan grandes pues van desde 0,2 al 0,3, lo que si es necesario destacar son los valores atípicos que se encuentran dentro del gráfico, pues del año 2013 en adelante se presenta un aumento en la cantidad de valores atípicos y además una variación en los valores. Ahora bien, estos valores responden a la calidad de la vegetación en el ecosistema dunar, si se hace la relación con la categorización expuesta en la Tabla N°7, se puede encontrar que la mayoría de la fauna se encuentra en la clasificación de "vegetación dispersa" y "vegetación agrupada", llevándolo a temas más concretos, se ve que la vegetación a lo largo del periodo de análisis se encuentra relativamente estable con respecto a la salud de la planta,

esto puede asociarse a que las plantas de este ecosistema son perennes, las cuales se encuentran siempre verdes y no necesariamente completan su ciclo de manera anual o bianual como otras especies.

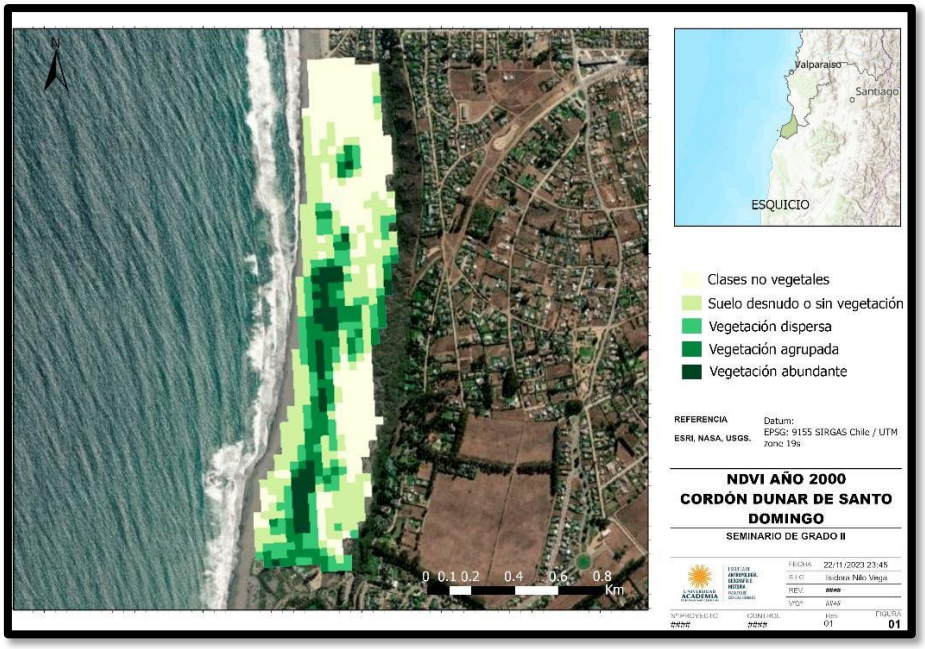
A continuación, se expondrán las cartografías, las cuales se trabajaron los años 1990 – 2000 – 2010 – 2022, esto debido a que los años anteriores al año 1990 los valores no presentan una variación considerable, además de que las imágenes satelitales disponibles no estaban aptas para trabajar pues estaban con una capa de nubes que cubría el área de estudio.

Figura N° 7: Cartografía NDVI año 1990



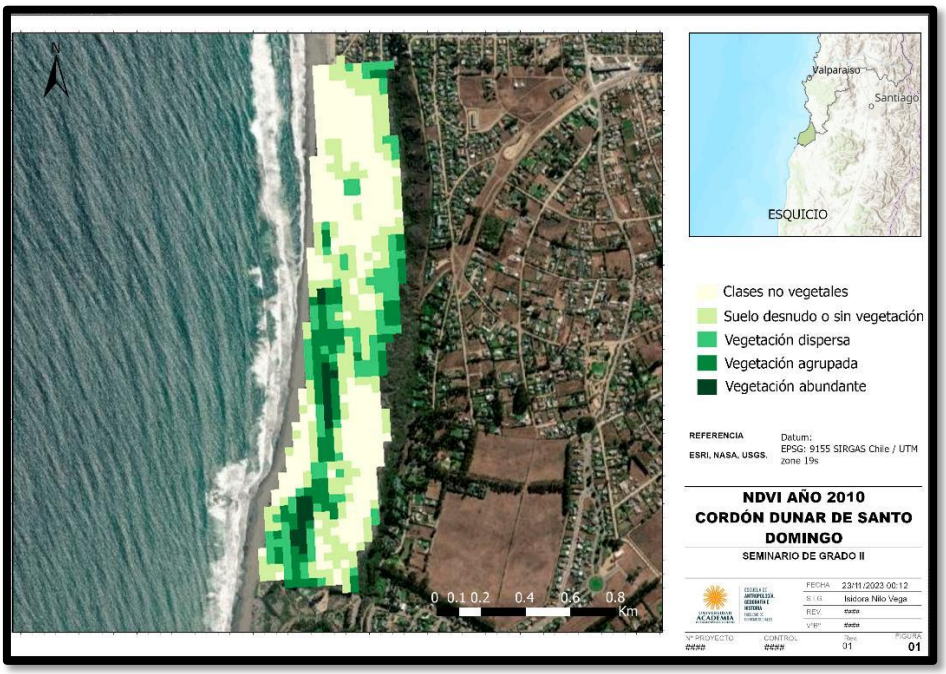
Fuente: elaboración propia

Figura N° 8: Cartografía NDVI año 2000



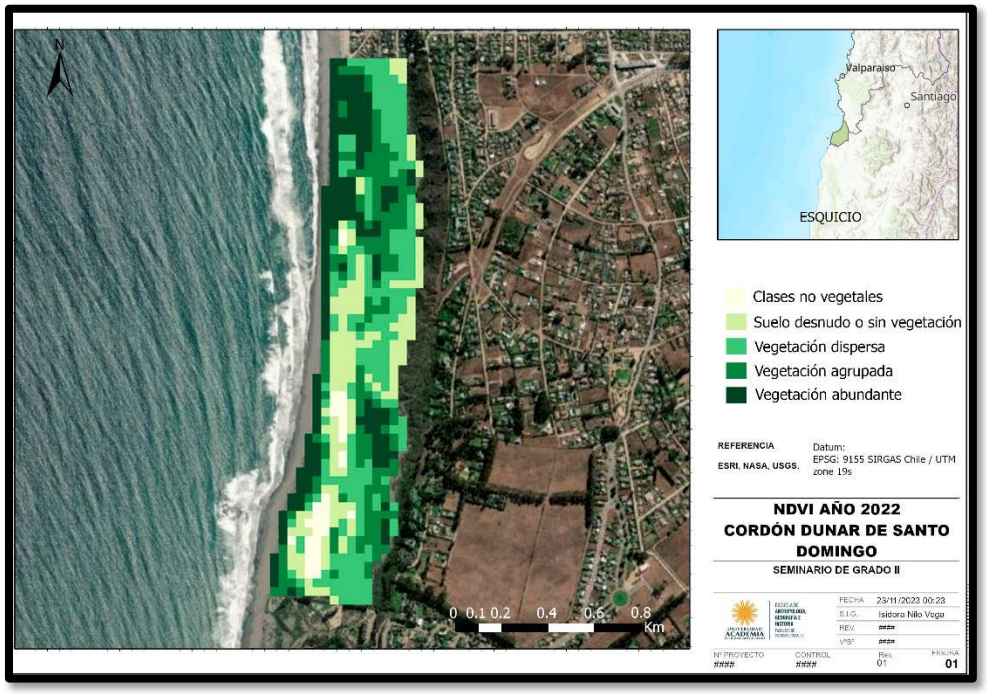
Fuente: elaboración propia

Figura N° 9: Cartografía NDVI año 2010



Fuente: elaboración propia

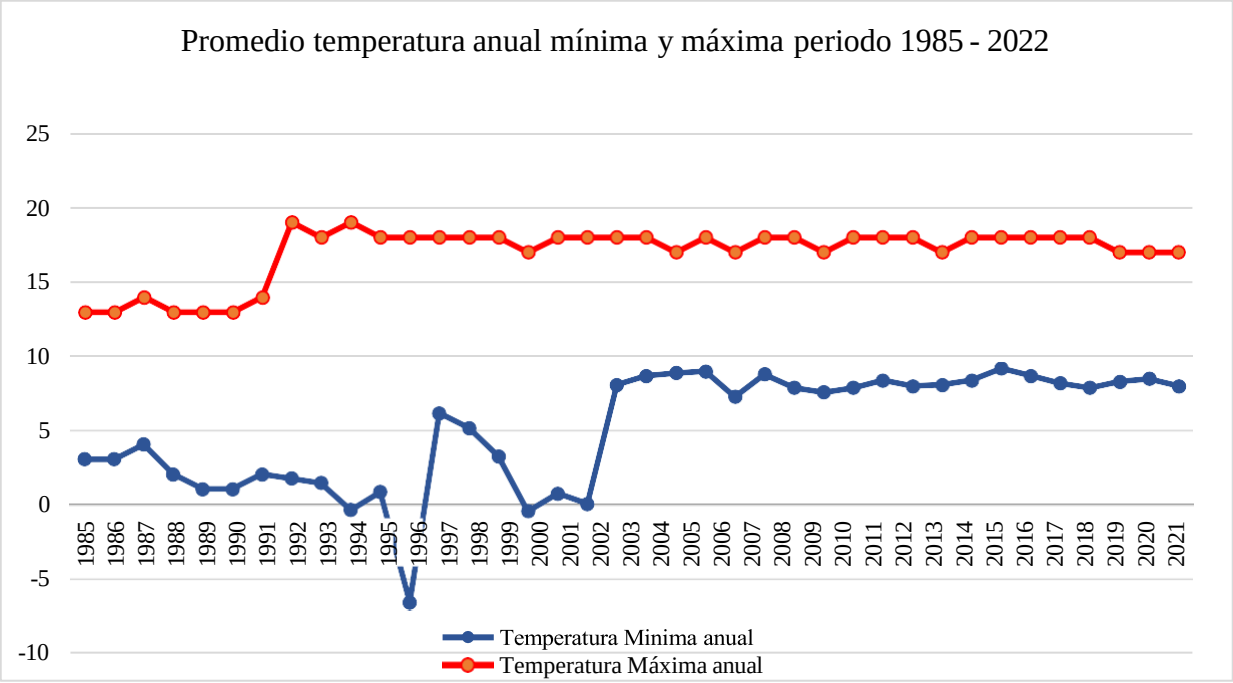
Figura N° 10: Cartografía NDVI año 2022



Fuente: elaboración propia

La exposición de estas cartografías es para lograr visualizar el gráfico expuesto anteriormente y lograr divisar cómo ha sido el comportamiento de la vegetación en este periodo de años. En tercer lugar, se presenta el gráfico en el cual se trabajaron los datos de temperatura mínima y máxima, esto con el fin de poder correlacionar estos datos con los de precipitación y además, con la variabilidad de la cobertura vegetal.

Gráfico N°2: Promedio de temperaturas mínimas y máximas periodo 1985 – 2022



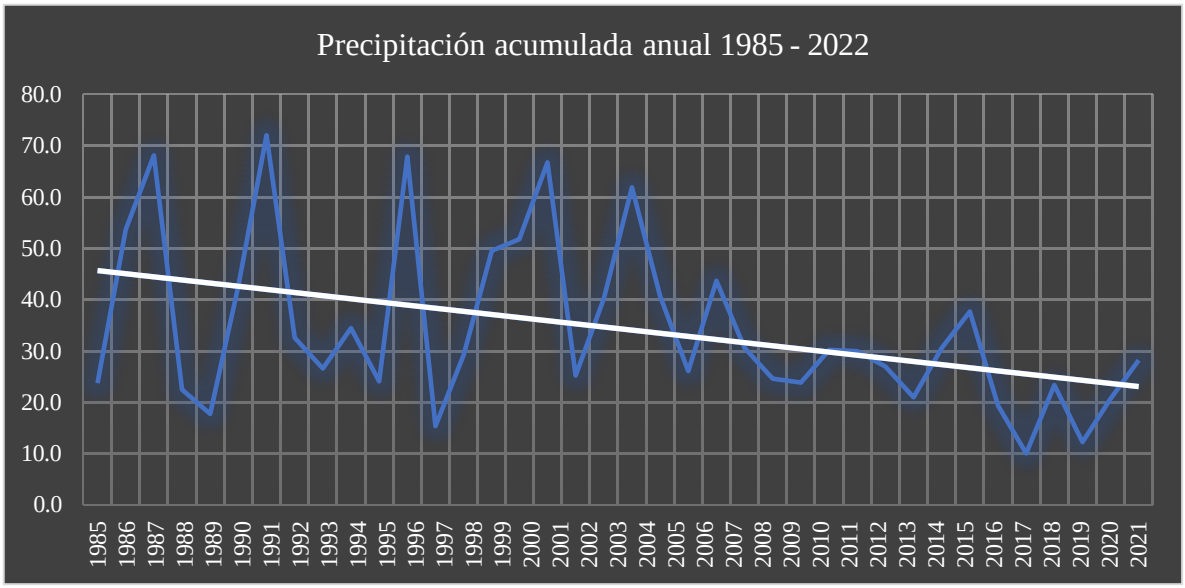
Fuente: elaboración propia.

Con respecto a las temperaturas, la fluctuación de las máximas presenta, del año 1994 aproximadamente en adelante una estabilidad, mientras que las mínimas se estabilizan alrededor del año 2003, anterior a esto, las temperaturas mínimas registran una baja bastante notoria en el año 1996. Si bien en los años 1997-1998 fue la última fase cálida, ENOS o fenómeno del Niño, la fase fría o de La Niña se encuentra seguidamente, en los años 1998-1999, esto según los autores Maturana et al., (2004), no necesariamente se relacionan pues, en el fenómeno de la niña puede encontrarse cuando las temperaturas se encuentran debajo del promedio, mientras que para el fenómeno del niño se asocian temperaturas más elevadas.

Entonces estas fluctuaciones de temperaturas no pueden asociarse directamente estos fenómenos de carácter climático, sino más bien se entiende que pueden existir otro tipo de variables como, humedad relativa, vientos alisios y contralisios, presión atmosférica, entre otros. Además, este tipo de fenómenos puede tener una oscilación entre nueve y doce meses para el ENOS y en su contraparte puede durar alrededor de 9 meses hasta un año o más.

Finalmente, se encuentra el gráfico que contempla las precipitaciones, el cual se expone a continuación,

Gráfico N°3: Precipitación acumulada anual periodo 1985 - 2022



Fuente: elaboración propia.

Finalmente se encuentra el grafico de precipitación, este logra evidenciar como su nombre lo dice, la precipitación acumulada anual para este periodo de 37 años. Según la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), la cantidad normal de precipitación es de 422 mm al año, esto considerando de enero a diciembre, para efectos de esta investigación se utilizó el año hidrológico que va desde octubre a septiembre, esto porque este período de tiempo proporciona una estructura conveniente para analizar y gestionar los recursos hídricos, especialmente en el contexto de la gestión de cuencas hidrográficas y la planificación de proyectos relacionados con el agua. El año hidrológico difiere del año calendario tradicional y está diseñado para abordar mejor los ciclos naturales del agua y los patrones de precipitación. El año hidrológico está alineado con los ciclos naturales del agua, que suelen estar más relacionados con las estaciones climáticas y los patrones de precipitación que con el año calendario convencional. Entonces, en base a los datos expuestos en el gráfico y haciendo la relación pertinente con los datos de la DGAC, los años que tuvieron superávit corresponden al 1986,1987,1991,2000,2001,2004, 2005,2008, 2012 y 2017, un total de 10 años, mientras que el resto de los años (23) se encontraron en déficit. Si se asocia la variable de precipitación(pp) y NDVI, se encuentra que mientras la pp se encuentra a la baja, los valores del NDVI aumentan levemente.

A modo de análisis general, se encuentra que las variables climáticas no necesariamente tienen que ver con el aumento o disminución de vegetación, más bien, como este tipo de vegetación está adaptado a ambientes bastante inhóspitos o de características muy

particulares, han desarrollado la habilidad de poder sobrevivir sin tanta agua o en condiciones de temperaturas que puedan ser adversad, como las temperaturas mínimas muy bajas. Se estima que las condiciones y variación de la vegetación pueden estar asociadas a otros factores como, por ejemplo, humedad relativa, vientos, presión atmosférica, entre otros.

4.1.2. Factores naturales y antrópicos, ¿Cómo inciden en el ecosistema dunar?

A continuación, se expondrán distintos productos obtenidos a lo largo de la investigación, en primer lugar, se muestra una tabla la cual fue elaborada con los datos otorgados que proporcionó el portal de transparencia, en ella se evidencian los permisos de edificación finales dentro de la comuna, esto con relación al factor antrópico del desarrollo inmobiliario.

Con respecto a esto, luego de la obtención de datos otorgada por la municipalidad de Santo Domingo, a través del portal de transparencia, se encontró que los permisos de edificación de conjuntos habitacionales son los siguientes:

Tabla N° 9: Permisos de edificación final otorgados en la comuna de Santo Domingo

Nombre del conjunto	**Metros cuadrados (M^2)**	**Hectáreas**	**Fecha**
Población Las Hortencias	7.126,31	71,26	08-03-1994
Población Los Robles	507,00	5,07	01-08-1995
Población Los Maitenes I	4.889,06	48,89	28-02-2002
Población Los Maitenes II	6.631,03	66,31	30-04-2002
Población Los Cipreses I	10.125,68	101,25	28-01-2005
Población Los Cipreses II	7.264,40	72,64	15-02-2006
Población Don Matías	6.477,27	64,77	06-12-2013

Fuente: elaboración propia.

Estos conjuntos habitacionales, se encuentran fuera del área de estudio, por lo cual no genera una mayor relevancia al momento de hablar de su impacto en el cordón dunar correspondiente al área de estudio.

Por otro lado, se encontró a través de imágenes satelitales obtenidas mediante Google Earth Pro que dentro de los conjuntos habitacionales que se encuentran dentro del área de estudio

se edificaron, en mayoría, con anterioridad al año 2006, no se logró identificar con exactitud la fecha de estos, pues esa información no fue otorgada por la Municipalidad ni el Portal de transparencia. Además las imágenes satelitales de alta definición que permiten identificar las construcciones están a partir del año 2000 y no son de acceso público, por lo cual, se estima que fue con anterioridad al año 2006. A continuación, se exponen dos imágenes comparativas del año 2006 y del año 2023, en los cuales se logran observar distintos conjuntos de edificios de vivienda, además de un proyecto en construcción el cual tiene por nombre, "Proyecto Terrazas de Santa María" y el Edificio "Los Veleros" que se estima su construcción fue entre los años 2006 – 2008.

Figura N° 11: Edificaciones dentro del Ecosistema Dunar de Santo Domingo, año 2006

Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth Pro.

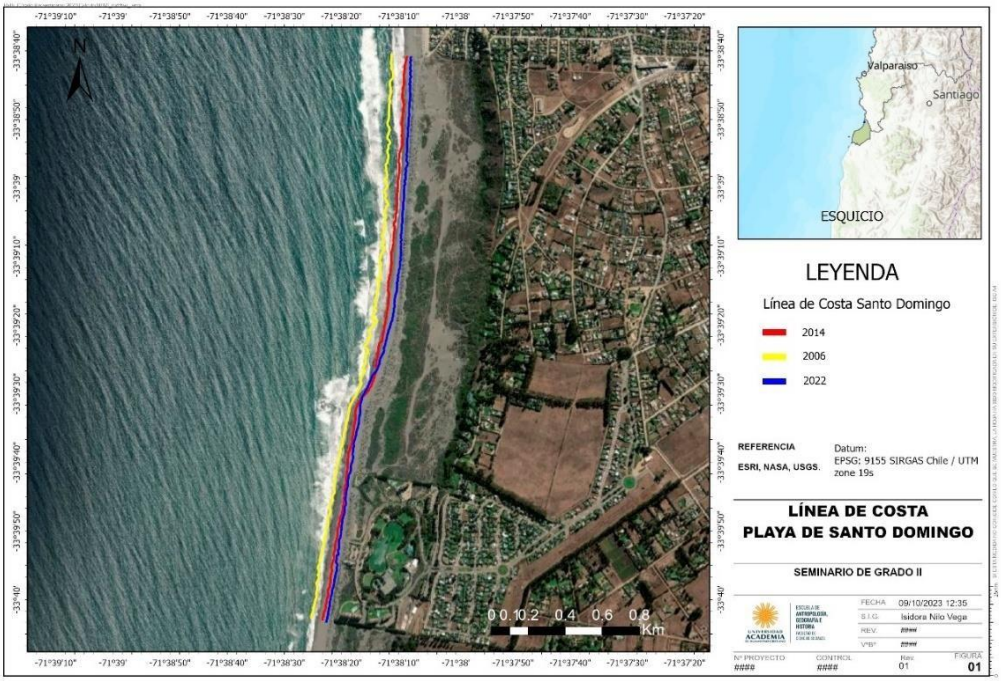
Figura N° 12: Edificaciones dentro del Ecosistema Dunar de Santo Domingo, año 2023

Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth Pro.

Sumado a esto, el domingo 05 de noviembre del 2023, se realizó un terreno con el fin de poder visualizar y tener más información acerca del estado del cordón dunar debido a la presencia antrópica. En terreno se logró evidenciar como se expone más adelante mediante fichas fotográficas, que todos los conjuntos habitacionales, club Santa María del Mar y restaurants que se encuentran en esta zona, irrumpen del campo dunar, el cual en su totalidad considera 3.1 Km, dentro del área de estudio solo se ocupó la extensión de 2.5 Km, la cual contempla el inicio del campo dunar con dirección norte – sur, esto debido a que posterior a la extensión de construcciones no se evidencian irrupciones al campo dunar. Además, en el recorrido por el cordón dunar, se encontraron rastros de bicicletas y/o motocicletas, por otro lado, se pudo constatar que existen vestigios de una construcción de "paseo costero", el cual se encuentra desde el inicio del campo dunar, observando desde norte a sur, con una extensión de aproximadamente 274 metros, los cuales consideran pavimento y postes de alumbrado.

A continuación, se expone la cartografía de la línea de costa, la cual presenta tres años distintos, 2006/2014/2022, esto permite evidenciar como ha sido el retroceso de la línea de costa en el área de estudio. Se presentan estos años pues, son las imágenes que se lograron obtener mediante el programa Google Earth Pro, además de que, que como se explicó en la metodología, las imágenes de alta resolución están solamente a partir del año 2000 y no son de acceso público. Por esto, se optó por exponer estos tres años que. Es por esto, que se optó por exponer estos tres años, que, si bien presentan 7 años de diferencia entre cada uno, se logra visualizar cómo se comporta relativamente el cambio en la línea de costa.

Figura N° 13: Línea de Costasv



Fuente: Elaboración propia.

Continuando con los resultados obtenidos, a continuación, se expone en primer lugar una imagen la cual tiene información actualizada del Plan Regulador Comunal de Santo Domingo, en la que se muestra la zonificación de la comuna, posterior a esta imagen extraída desde la aplicación web, la cual corresponde a un SIG (sistema de información geográfica),

del cual se encarga La Secretaría Comunal de Planificación (SECPLA), se implementó este llamado "Geoportal" el cual caracterizan como una herramienta con el fin de integrar información normativa urbana e información de distinto interés comunal.

Figura N° 14: Zonificación plan regulador comunal 2023 Santo Domingo

Fuente: extraído desde https://santodomingo.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=64534673a8774c70b6cb1e72281f65a6

A continuación, se expone una tabla de manera más detallada acerca de la información correspondiente que se logra apreciar en la imagen anteriormente expuesta, donde se realiza una breve explicación acerca de las zonificaciones y sus posibles usos o equipamientos, es necesario reiterar que la información es del presente año.

Tabla N° 10: Zonificación Plan Regulador Comunal de Santo Domingo 2023

Región	Comuna	Zona	Zonificación	Uso Permitido	Uso Prohibido
Valparaíso	Santo Domingo	ZE5	Mixto	Vivienda, equipamiento de áreas verdes comunal.	Todos los usos de suelo no señalados como permitidos.
Valparaíso	Santo Domingo	ZEQ-1	Equipamiento	Equipamiento turístico y de esparcimiento, deportivo y áreas verdes comunal.	Depósito de bebidas alcohólicas y todos los usos de suelo no señalados como permitidos.
Valparaíso	Santo Domingo	ZR2	Mixto	Protección de instalaciones sanitarias. Servicios públicos y equipamiento de áreas verdes comunal.	Todos los usos de suelo no señalados como permitidos.
Valparaíso	Santo Domingo	ZE7	Mixto	Vivienda, equipamiento de áreas verdes comunal.	Todos los usos de suelo no señalados como permitidos.
Valparaíso	Santo Domingo	S_Código	Sin información	Sin información	Sin información
Valparaíso	Santo Domingo	ZR1	Equipamiento	Sólo se permitirán las instalaciones a las actividades recreativas y culturas: sombreaderos, anfiteatros, quioscos, vestidores, baños, duchas, muelles y otros similares. Áreas verdes comunal.	Todo otro uso no indicado como permitido
Valparaíso	Santo Domingo	ZR4	Restricción	Zona de Bienes Nacionales de uso público y áreas destinadas en forma exclusiva a áreas verdes comunal.	Todos los usos de suelo no señalados como permitidos.
Valparaíso	Santo Domingo	ZAVP	Mixto	Sólo se permitirán las instalaciones complementarias a las actividades recreativas y culturales tales como: sombreaderos, anfiteatros, kioskos, pérgolas e instalaciones que no impacten visualmente la armonía de las áreas verdes propuesta.	Todos los usos de suelo no señalados como permitidos.
Valparaíso	Santo Domingo	ZE3	Mixto	Vivienda, equipamiento de áreas verdes comunal.	Vivienda, equipamiento de áreas verdes comunal.
Valparaíso	Santo Domingo	ZP	Equipamiento	Sólo se permitirá las instalaciones complementarias a las actividades recreativas de la playa:	Todos lo no indicados precedentemente, incluyendo vivienda.

				sombreaderos, quioscos, vestidores, muelles. Éstas no podrán obstaculizar el paso público ni la vista.	
Valparaíso	Santo Domingo	ZE6	Mixto	Vivienda, equipamiento de áreas verdes comunal.	Todos los usos de suelo no señalados como permitidos.

Fuente: elaboración propia a partir de *https://santodomingo.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=64534673a8774c70b6cb1e72281f65a6, Plan Regulador Comunal Santo Domingo 2023*

Para comprender es esta exposición de información necesario poder identificar la zona de estudio, la cual se expone anteriormente y lograr visualizar como está categorizada en el PRC, es necesario mencionar que este se encuentra actualizado del presente año, dejando en evidencia que, el área del cordón dunar, se clasifica como "ZE5" el cual está adaptado para viviendas y equipamiento de áreas verdes. Por otro lado, es necesario destacar como el cordón dunar se ve irrumpido en la zona final (observando de norte a sur), se encuentran zonificaciones como, "S_código", "ZR2", "ZE7", "ZEQ-1", entre otros, estas zonificaciones como se expone anteriormente en la tabla permiten la construcción de distintas infraestructuras, desde equipamiento turístico (lo cual incluye hoteles o resorts), muelles, baños, instalaciones que promuevan las actividades recreativas. Estas posibles edificaciones o construcciones (en caso de que se construyeran) irrumpirían aún más en el cordón dunar de Santo Domingo, pudiendo generar consecuencias como perdida de vegetación debido a la cantidad de personas que visitarían estas construcciones.

Por otro lado, y siguiendo con la exposición de resultados, se presentan a continuación fichas fotográficas con observaciones constatadas el día del terreno,

Figura N° 15: Ficha fotográfica n°1

Ficha fotográfica	
Fecha	Domingo 05 de noviembre 2023
Hora	13:00-17:00
Ubicación relativa	Dunas de Santo Domingo, dirección sur de las rocas de Santo Domingo
Observaciones	En el trayecto se logra observar una intención de urbanización o paseo costero, esto constatado por los postes de alumbrado y pavimento dentro del campo dunar.

Registro fotográfico

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 16:Ficha fotográfica n°2

Ficha fotográfica	
Fecha	Domingo 05 de noviembre 2023
Hora	13:00-17:00
Ubicación relativa	Dunas de Santo Domingo, dirección sur de las rocas de Santo Domingo
Observaciones	Se aprecia una intención de urbanización o paseo costero, esto constatado por los postes de alumbrado y pavimento dentro del campo dunar, además el rastro de bicicletas o motos dentro del campo dunar.
Registro fotográfico	

Fuente: elaboración propia.

Ficha fotográfica N°3

Ficha fotográfica	
Fecha	Domingo 05 de noviembre 2023
Hora	13:00-17:00
Ubicación relativa	Dunas de Santo Domingo, dirección sur de las rocas de Santo Domingo
Observaciones	Dentro del campo dunar se observa una intención de urbanización o paseo costero, esto constatado por los postes de alumbrado, pavimento y veredas.
Registro fotográfico	

Fuente: Elaboración propia

Ficha fotográfica N°4

Ficha fotográfica	
Fecha	Domingo 05 de noviembre 2023
Hora	13:00-17:00
Ubicación relativa	Dunas de Santo Domingo, dirección sur de las rocas de Santo Domingo
Observaciones	A lo largo del recorrido se constató la presencia de huellas de lo que pueden ser bicicletas o motos, se desplazan dentro de la playa y dentro del campo dunar, como se logra observar en las fotografías.
Registro fotográfico	

Fuente: Elaboración propia

Ficha fotográfica N°5

Ficha fotográfica	
Fecha	Domingo 05 de noviembre 2023
Hora	13:00-17:00
Ubicación relativa	Dunas de Santo Domingo, dirección sur de las rocas de Santo Domingo
Observaciones	Dentro del recorrido se constató la presencia de autos motorizados dentro de la playa, los cuales se transportan a grandes velocidades dentro de esta zona, sin importar la presencia de personas, flora o fauna.
Registro fotográfico	

Fuente: elaboración propia

Ficha fotográfica N°6

Ficha fotográfica	
Fecha	Domingo 05 de noviembre 2023
Hora	13:00-17:00
Ubicación relativa	Dunas de Santo Domingo, dirección sur de las rocas de Santo Domingo

Observaciones	En este tramo se logran apreciar construcciones dentro del campo dunar, además de maquinarias en procesos de futuras edificaciones, se observan también pequeñas estructuras, las cuales se asocian a áreas de servicio que pertenecen a las constructoras o edificios aledaños.
Registro fotográfico	

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, a continuación, se expone una fotografía comparativa la cual se encuentra una familia con las dunas a sus espaldas en el año 1949 y, por otro lado, una imagen actual de noviembre del 2023. Es importante lograr evidenciar cómo cambia la morfología de la duna, si bien no es la misma ubicación ni orientación de la foto, se logra apreciar cómo cambia el comienzo de la duna al momento de terminarse la playa, por un lado, observando la imagen del lado izquierdo que se observa de una manera más gradual, mientras que en la imagen del lado derecho se logra ver como la duna de una manera mucho más empinada a lo que es el fin de la zona de playa.

Figura N° 17: Fotografía Comparativa 1949 - 2023

Fuente: elaboración propia a partir de Guzmán-Pineda (2017).

A modo de análisis general, luego de haber expuesto todos los productos necesarios para lograr este objetivo, se encontró que, los procesos litorales si bien están presentes constantemente, no generan una mayor influencia en el ecosistema dunar, es más aportan directamente en el contenido de sedimentos de estas. Por otro lado, los procesos y acciones antrópicas que están presentes inciden directamente en el ecosistema dunar, como se expuso anteriormente, hay una gran variedad de faltas en la cuales caen las personas que visitan el balneario de Santo Domingo o sus alrededores. Se logró evidenciar que existen construcciones de edificios que irrumpen el cordón dunar, además de un intento de urbanización que se desconoce el año y quien quiso construirlo, se asume que fue la municipalidad, pero sólo son especulaciones. Al llevar a cabo esta investigación se logra constatar que la única amenaza latente para este ecosistema son las actividades humanas, pues son estas quienes irrumpen de manera extravagante en esta zona, pues existen zonas de estacionamientos, restaurantes, construcciones de edificios en construcciones, tal como se logró apreciar en las fichas fotográficas. Si este ecosistema se encuentra en peligro es netamente por la presencia de acciones humanas, pues son las más invasivas, dejando rastros de basura, utilizando vehículos motorizados tanto en la playa y en el cordón dunar. Además,

la municipalidad no tiene una planificación eficiente que proteja este ecosistema, como quedó expuesto el campo dunar de Santo Domingo se encuentra dentro de una zonificación en la cual se permiten viviendas, esto quiere decir que en realidad no se pretende proteger este espacio, porque se asume que en construcción de viviendas o equipamiento turístico se obtendrán mayores recursos, pero ¿Quién cumplirá la función de proteger ante eventos extremos si no son las dunas?, la planificación territorial en zonas costeras es un tema latente, porque cada vez se construye más cerca de la zona de playa, donde se encuentran ecosistemas tan importantes como lo son las dunas.

4.1.3. Explorando las dinámicas del ecosistema dunar de Santo Domingo: Análisis integral de factores que moldean su vulnerabilidad.

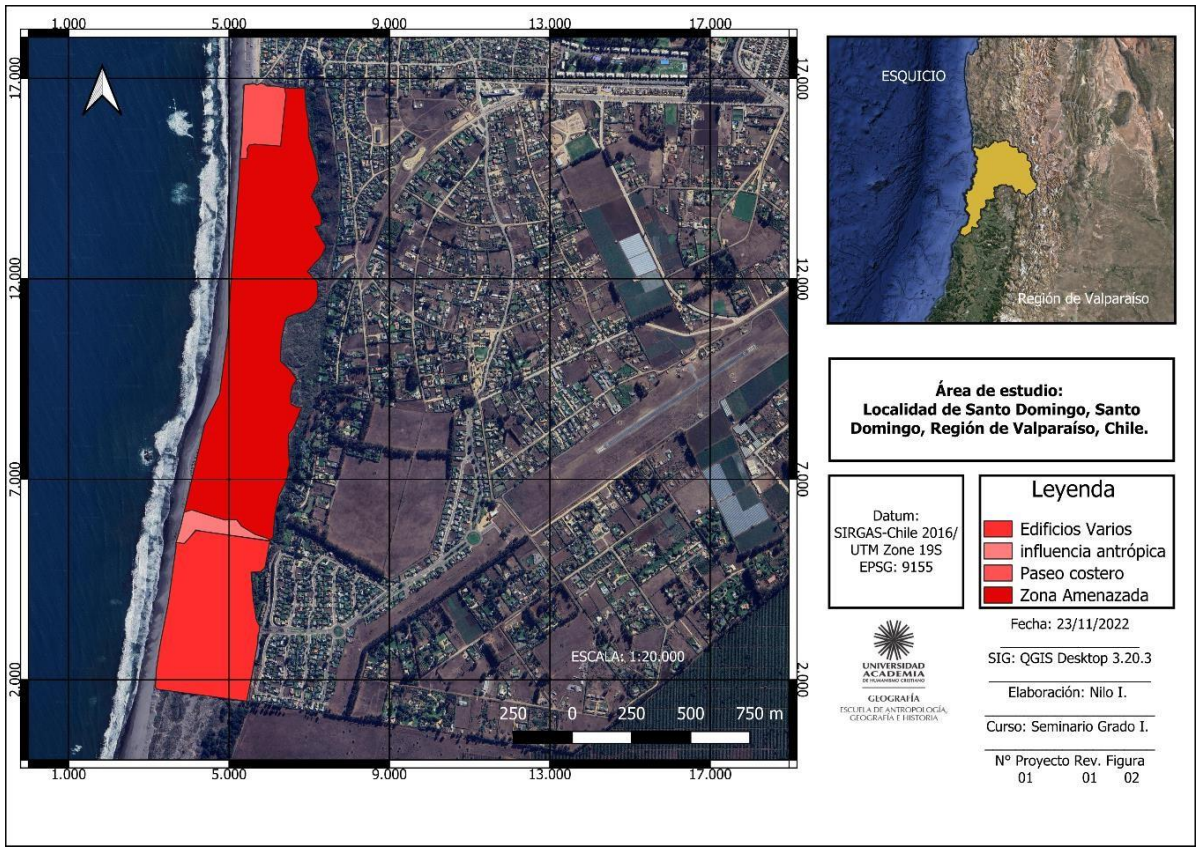
Como se expuso anteriormente en los otros apartados de resultados, el ecosistema dunar se encuentra en una amenaza inminente, de hecho "El campo dunar de la playa de Santo Domingo se presenta como un sector de características únicas en el área y que se encuentra con riesgo de desaparecer por la presión inmobiliaria del sector" (Carreño, 2018), según el mismo informe realizado por distintos investigadores, los campos dunares abarcan aproximadamente 70 hectáreas las cuales se encuentran desprotegidas.

Que este ecosistema tan importante se encuentre desprotegido, deja mucho que desear, más aún cuando el Plan Regulador Comunal está actualizado al año 2023, entonces, poder reconocer y valorar este espacio es de suma importancia, más allá de los beneficios que pueda brindarles a los seres humanos (protección costera, embellece el paisaje, entre otros), sino también por el valor ecosistémico que este tiene, pues alberga una gran cantidad de flora y fauna, autores mencionan que,

> "El sitio de estudio endemismos y singularidad de sus unidades de vegetación que lo hacen único se encuentra a solo 15 km aproximadamente del Reserva de la Naturaleza El Yali, y que junto a estos sitios constituyen el complejo dunar Santo Domingo- El Yali." (Flores & Arancibia, 2017).

Además de esto, "la riqueza florística del sector es de 69 especies con un 53,6% de hierbas, un 37,6% de especies arbustivas, un 7,2% de árboles y un 1,4% de Suculentas.", agregado a esto, las especies "endémicas y nativas suman el 78,3 %, mientras que las adventicias o introducidas solo alcanzan el 21,7 %. El Endemismo alcanza el 23,2%" (Flores & Arancibia, 2017). Esto quiere decir que la fauna del lugar es altamente pura con respecto a su vegetación ya que, aun en su mayor presencia es nativa o endémica. Poder valorar estos espacios, permitirá la conservación de este. A continuación, se expone una cartografía la cual se realizó en base a trabajo en terreno, observaciones y toma de puntos en el programa Google Earth Pro, para catastrar aquellas zonas que se encuentran con alta influencia antrópica.

Figura N° 18: Zonificación del Cordón Dunar



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO V: MARCO DE CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones Generales

En primer lugar y luego de haber expuesto todos los productos, es necesario mencionar que la hipótesis de esta investigación se comprobó, pero no en su totalidad, pues se planteaba que la variabilidad de la cobertura vegetal se vería afectada por factores antrópicos y naturales, si bien ninguno de estos factores influye directamente en la vegetación de este ecosistema, si se logró evidenciar que la presencia de actividad humana genera una presión en esta zona.

El ecosistema dunar de Santo Domingo emerge como un componente vital de la riqueza natural y biodiversidad de la región, desempeñando un papel crucial en la sostenibilidad de los ecosistemas costeros. A lo largo de los años, este entorno singular ha demostrado ser una fuente de servicios ecosistémicos, contribuyendo no sólo a la salud ambiental, sino también al bienestar de la población. La falta de protección dentro del Plan Regulador Comunal deja este ecosistema al alero de posibles construcciones que afecten significativamente. La planificación territorial costera, sin embargo, ha sido un tema que a nivel país no se ha implementado o bien se ha incursionado en ese camino. La falta de atención a la gestión planificada de las zonas costeras, y más específicamente a la preservación del ecosistema dunar, refleja una brecha significativa en las estrategias de desarrollo sostenible. La importancia de incorporar consideraciones ambientales en la planificación territorial costera es fundamental, ya que el crecimiento poblacional y el desarrollo económico con frecuencia ejercen presión sobre estos frágiles ecosistemas.

La ausencia de medidas efectivas de protección ha llevado a consecuencias adversas para el ecosistema dunar. Las amenazas derivadas de actividades antrópicas no reguladas, como la expansión urbana y el desarrollo inmobiliario, han exacerbado la vulnerabilidad de este entorno único.

Es imperioso reconocer que la falta de protección no solo afecta al ecosistema dunar en sí, sino que también tiene repercusiones directas en la resiliencia de la comunidad que depende de estos entornos para su subsistencia y calidad de vida, ya sea con fines de paisajismo o bien de protección costera. La planificación territorial costera debe evolucionar hacia un enfoque

más integrado, considerando no solo el crecimiento económico, sino también la conservación y restauración de los ecosistemas costeros, como el dunar de Santo Domingo.

En última instancia, abogar por una mayor conciencia, implementación de políticas efectivas y colaboración entre diversos sectores es esencial para garantizar la preservación a largo plazo del ecosistema dunar. Solo a través de un enfoque coordinado y sostenible, que involucre a la comunidad, autoridades gubernamentales y actores clave, se podrá revertir la tendencia actual y salvar este invaluable patrimonio natural para las generaciones futuras.

5.2. Recomendaciones

Desde la perspectiva geográfica creo que esta investigación logra ser un aporte para futuras líneas de investigación que consideren más elementos climáticos, además poder estudiar la relación humano – medio, es imprescindible para llevar a cabo proyectos de protección de ecosistemas, porque sólo entendiendo las relaciones que se generan se podrá comprender, proteger y preservar este entorno, ya que las dinámicas son constantes y el territorio está en un constante cambio. También se hace el llamado a una planificación territorial costera con conciencia sobre el medioambiente, no es posible que Chile teniendo una costa tan extensa, no cuente con una ley que logre abordar de manera integral todas las dinámicas y necesidades que puedan existir en el territorio.

Bibliografía

Alcaraz, F. J. (2013). *Formas vitales, estratificación y fenología.* Universidad de Murcia, España.

Barragán, J. M. (2016). Expansión urbana en las áreas litorales de América Latina y Caribe. *Scielo*. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000200009

Barrantes-Castillo, G., Arozarena-Llopis, I., Sandoval-Murillo, L. F., & Valverde-Calderón, J. F. (07 de Mayo de 2019). *Scielo*. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rgac.64-1.4

Benavente, N. (2015). Relaciones dinámicas asociadas al litoral-playa-dunas anteriores del campo de dunas de Los Choros, Región de Coquimbo. Santiago, Chile.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile . (s.f.). *BCN* . Clima y vegetación Región de Valparaíso : https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/clima.htm

Bordino, J. (22 de Febrero de 2021). *Ecología Verde*. Retrieved Mayo de 2023, from https://www.ecologiaverde.com/erosion-marina-tipos-ejemplos-y-consecuencias-3286.html#:~:text=La%20erosi%C3%B3n%20es%20un%20proceso,acci%C3%B3n%20del%20agua%20del%20mar.

Börgel, R. (1963). *Las Dunas Litorales en Chile.* Universidad de Chile, Instituto de Geografía , Santiago .

Cardona, A. (27 de Mayo de 2019). *Ecología Verde*. Ecología Verde: https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-erosion-del-suelo-causas-y-consecuencias-1500.html#:~:text=La%20erosi%C3%B3n%20consiste%20en%20la,de%20rocas%2C%20arena%20o%20polvo.

Carrasco, J. (2017). *Evidencia de Cambio Climático en Chile sus Proyecciones y Consecuencias.* Tesis de Máster.

Cartón, A. (21 de Septiembre de 2021). *Ecología Verde*. https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-erosion-2418.html

Castro, C., Brignardello, L., & Farias, M. (1999). Diagnóstico del estado actual y sensibilidad natural del borde costero entre Concón y Quintay, V Región de Valparaíso. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, pág. 18. https://www.researchgate.net/publication/281976472_Diagnostico_del_estado_actual_y_sensibilidad_natural_del_borde_costero_entre_Concon_y_Quintay_V_Region_de_Valparaiso_Chile

Castro, M. (1 de Mayo de 2020). *Lifeder*. Dunas costeras: características, cómo se forman, flora, fauna: https://www.lifeder.com/dunas-costeras/

Colwin, R., Logie, C., Brady, J., Middleton, M., & Grobler, B. (2019). *Taxonomic, biological and geographical traits of species in a coastal dune flora in the southeastern Cape Floristic Region: regional and global comparisons.* https://doi.org/https://doi.org/7717/peerj.7336

Córdoba, R. (2021). La Vulnerabilidad Ecosistémica. *Según el planteamiento en la protección del suelo de la comunidad de Madrid*, 12. Retrieved 2023, from https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/4583/4004

Durán, R., Torres, W., & Espejel, I. (s.f.). *Vegetación de dunas costeras.* Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán , Yucatán. Retrieved 2023, from https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap3/04%20Vegetacion%20de%20dunas.pdf

Fenocat. (s.f.). *Parcs de Catalunya*. Xarxa de Parcs Naturals: https://parcs.diba.cat/es/web/conservacio-de-la-biodiversitat/fenologia

Fernández, D. (s.f.). Marea astronómica y meteorológica. *Marea y Variación del Nivel del Mar*, 13. Retrieved Mayo de 2023, from https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Marea%20y%20Variacion%20del%20Nivel%20de%20Mar_dhf%20(2).pdf

Flores, M., & Arancibia, J. (2017). *Informe diagnóstico de la línea de base de flora y avifauna en campo dunar de la playa de Santo Domingo, Chile central.* Diagnóstico.

Flores, O. M. (22 de Julio de 2021). *Minería en Línea*. https://mineriaenlinea.com/articulos/erosion/amp/

Garcia, F., Anfuso, G., Benavente, J., Del Río, L., & J.A., M. (2005). Monitoring coastal erosion at different temporal scales on sandy beaches: aplication to the Spanish Gulf of Cadiz coast. *Journal of Coastal Research*(49). Retrieved 2023, from https://www.jstor.org/stable/25737399

Geoformología Dinámica y Climática. (s.f.). *UC Educación Geografía*. https://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/glosario.html

Gili, M. (1 de Agosto de 2003). Las Viviendas de Segunda Residencia. ¿Ocio o Negocio? *VII*. (S. Nova, Recopilador) Barcelona, España. Retrieved 2023, from https://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146(052).htm

Gobierno de Navarra . (s.f.). *Meteorología y Climatología de Navarra* . Navarra.es: http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm

Gómez, L. M. (2010). La segunda residencia: espacios fragmentados e interconectados. *XV*.

Herrera, M., Winckler, P., & Morales, E. (2019). *Costas de Chile.* Chile. Retrieved 2023, from http://www.cona.cl/pub/libros/Costas_de_Chile.pdf

Junta de Andalucía. (s.f.). La Fragmentación del paisaje como principal amenaza a la integridad del funcionamiento del territorio. España. Retrieved 2023, from https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/integra_territorial/integ2.pdf

Leubert, F., & Pliscoff. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile.* Santiago , Chile. Retrieved 2023, from https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=Q6TQdlb6bEwC&oi=fnd&pg=PA167&dq=Luebert+%26+Pliscoff,+2006&ots=i5FttYFv24&sig=aKozdufn8nUpeBB0dHEfo6kExhs#v=onepage&q=Luebert%20%26%20Pliscoff%2C%202006&f=false

Madrid, A., & Teillier, S. (2021). Flora y vegetación de las dunas de playa grande de Cartagena, una playa urbana en Chile central. *Darwiniana* . https://doi.org/https://doi.org/10.14522/darwiniana.2021.92.959

Maravilla, A. (s.f.). *LANDUUM*.

Martínez, C., Arenas, F., Bergamini, K., & Urrea, J. (2019). *Hacia una ley de costas en Chile: criterios y desafíos en un contexto.* Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN). Retrieved Mayo de 2023, from https://www.cigiden.cl/hacia-una-ley-de-costas-en-chile-criterios-y-desafios-en-un-contexto-de-cambio-climatico/

Martínez, C., Cienfuegos, R., Barragán, J. M., Navarrete, S., Hidalgo, R., Arenas, F., & Fuentes, L. (2022). *Hacia una Ley de Costas en Chile: bases para una Gestión integrada de Áreas Costeras.* Santiago , Chile. Retrieved 2023.

Martínez, C., Contreras-López, M., Winckler, P., Hidalgo, H., Godoy, E., & Agredano, R. (2017). Coastal erosion in central Chile: a New hazard. *Ocean & Coastal Management*, 15. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.07.011

Martínez, M. L., & Valverde, M. T. (26 de Junio de 1992). *Revista de cultura científica*. https://www.revistacienciasunam.com/es/174-revistas/revista-ciencias-26/1606-las-dunas-costeras.html

Martínez, M., & Psuty, N. (2004). *Coastal Dunes: Ecology and Conservation Ecological Studies.* https://doi.org/10.1007/978-3-540-74002-5

Martínez, V. (09 de Mayo de 2022). *Botanical online.* Características de las plantas parennes: https://www.botanical-online.com/botanica/plantas-perennes-caracteristicas

Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). *Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur.* Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile , Departamento de Oceanografía , Valparaíso .

Millenium Ecosystem Assessment. (s.f.). *GreenFacts*. https://www.greenfacts.org/es/glosario/tuv/vulnerabilidad.htm#:~:text=capacidad%20de%20resistencia%20de%20las,de%20cumplir%20con%20su%20funci%C3%B3n.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2006). *Plantas perennes: Creadoras de ambiente entre el verde.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Administración General del Estado . https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_hort/hort_2006_196_22_28.pdf

Minitab. (s.f.). *Soporte Minitab*. Interpretar los resultados clave para gráfica de caja: https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/graphs/boxplot/interpret-the-results/key-results/

MITECO. (s.f.). *Vicepresidencia Tercera del Gobierno*. Retrieved 2023, from Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/conociendo-litoral/zonas-litorales-espanolas/clasificacion-tipologica/playas-arenales-sistemasdunares.html#:~:text=Dunas%20fijas,el%20movimiento%20de%20la%20arena.

Morales, M., Ortega, A., & Robles, A. (1983). *Estudio botánico de las plantas adventicias en los cultivos extratempranos del litoral almeriense.* Departamento de Bótanica de la Facultad de Ciencias de la Univerisdad de Granada . Retrieved 2023.

Mueso Nacional de Historia Natural de Chile. (s.f.). *Chile Biogeográfico* . Zona Mediterránea : https://www.chilebiogeografico.cl/zona-mediterranea.html

Organización Meteorológica Mundial. (2014). *El Niño/ Oscilación del Sur.*

Pavez, M. I. (11 de Mayo de 2018). *FAU.UCHILE*. Retrieved 2023, from https://fau.uchile.cl/noticias/143431/columna-de-m-isabel-pavez-por-plan-regulador-rocas-de-santo-domingo

Rojas, K. P. (Octubre de 2018). Metropolización sobre Zonas Costeras: Criterios de Ordenamiento para la Conservación de los Sistemas Ambientales. 122. Santiago, Chile. Retrieved 2023.

Romualdo, A. (2022). *Caracterización biogeomorfológica de la duna costera (foredune) en sistemas playa-duna áridos: naturaleza, amenazas y gestión.* Tesis Doctoral.

Sánchez, G. A. (4 de Abril de 2021). *America Latina en Movimiento*. https://www.alainet.org/es/articulo/212062?language=en

Santillán, L., & Gutiérrez, B. (21 de Marzo de 2018). *Ciencia UNAM*. https://ciencia.unam.mx/contenido/infografia/29/conoce-las-dunas-y-como-cuidarlas#:~:text=Una%20duna%20est%C3%A1%20compuesta%20por,y%20son%20conocidas%20como%20paleodunas.

Segui, P. (s.f.). *OVACEN*. https://ovacen.com/temperatura-oceanos/#:~:text=El%20aumento%20de%20la%20temperatura,inexorable%20del%20nivel%20del%20mar.

SEMARNAT. (2013). *Manejo de ecosistemas de dunas costeras, criterios ecológicos y estrategias* (Primera ed.). México. Retrieved 2023, from www.semarnat.gob.mx

Sepúlveda, A. (13 de Mayo de 2023). *MeteoRed*. Sepúlveda, A. (2023, 13 mayo). ¿Por qué se llaman El Niño y La Niña? Los fenómenos que alborotan el clima mundial. Meteored.cl | Meteored. https://www.meteored.cl/noticias/ciencia/por-que-se-llaman-el-nino-y-la-nina-los-fenomenos-que-alborotan-el-clima-mu

Taveria - Pinto, F., R, S., & Pais - Barbosa, J. (2011). *Coastal Erosion Along the Portuguese Northwest Coast Due to Changing Sediment Discharges from Rivers and Climate Change.* ResearchGate. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0400-8_9

Tovar, R., & Vázquez, S. (s.f.). *Dirección de Comunicación de la Ciencia* . Universidad Veracruzana : Dirección de Comunicación de la Ciencia

Twenergy. (21 de Octubre de 2019). *Twenergy*. https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/medio-ambiente/que-es-la-erosion/

United Stated Departament of Agriculture. (2017). *Soil Survey Manual.* Retrieved Mayo de 2023.

Universidad de Buenos Aires. (s.f.). Biblioteca Digital Universidad de Buenos Aires. *Riesgo de erosión costera y de playa*. Argentina. Retrieved 2023, from Biblioteca Digital Universidad de Buenos Aires: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/libro/libro_n0002_Marcomini/5_riesgos/index.htm#:~:text=Una%20playa%20est%C3%A1%20en%20erosi%C3%B3n,en%20el%20perfil%20de%20playa.

Vega de Seoane, C., Gallego, J., & Vidal, C. (2007). *Manual de restauración de dunas costeras.* Ministerio de Medio Ambiente de España, Dirección General de Costas. Retrieved 2023.

Veloso, B. (Octubre de 2005). Estructura y dinámica del sistema dunar de Longotoma. Chile.

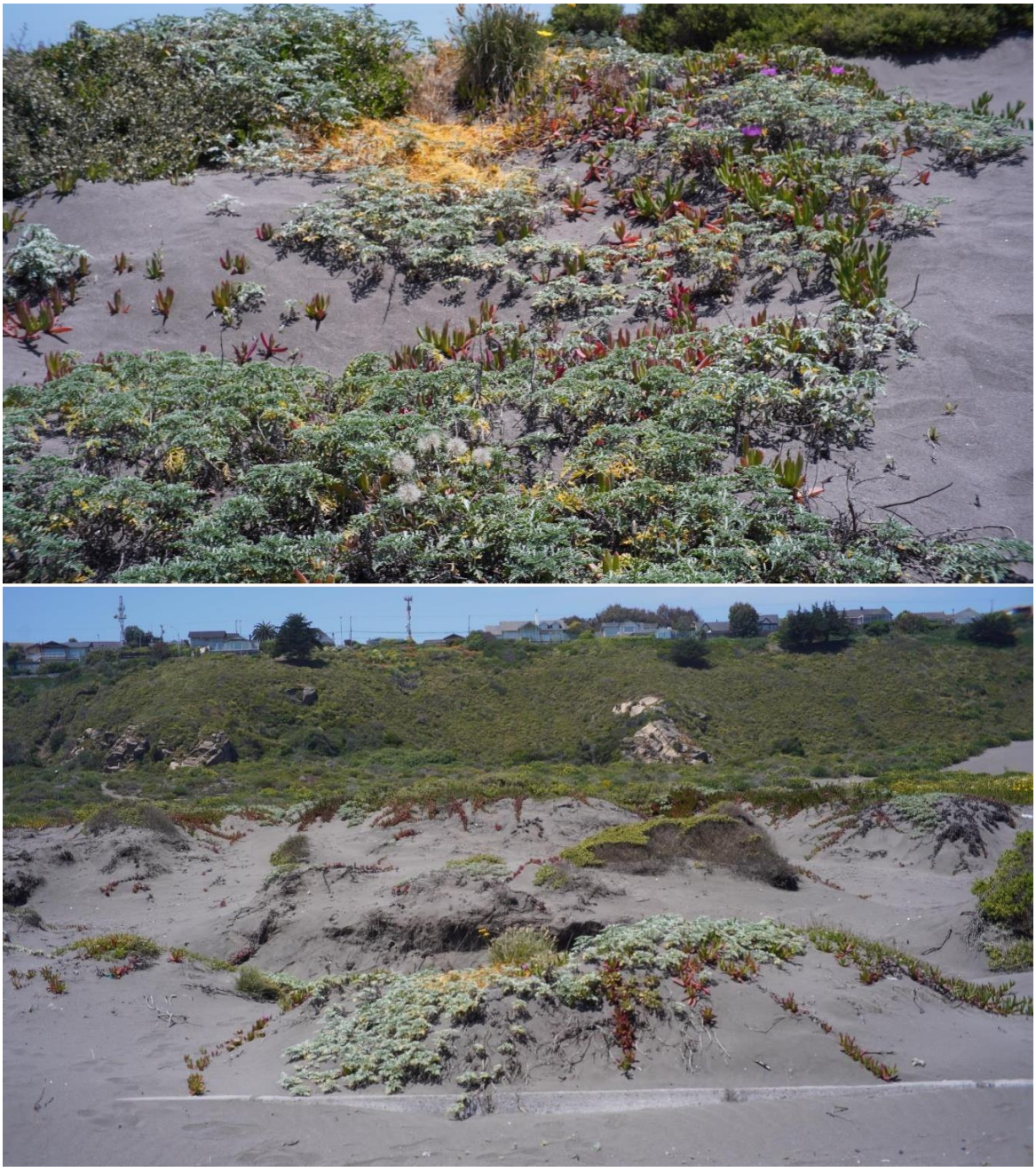
Anexos

Todas las imágenes presentadas a continuación son de elaboración propia a partir del trabajo en terreno el día 05 de noviembre del año 2023.

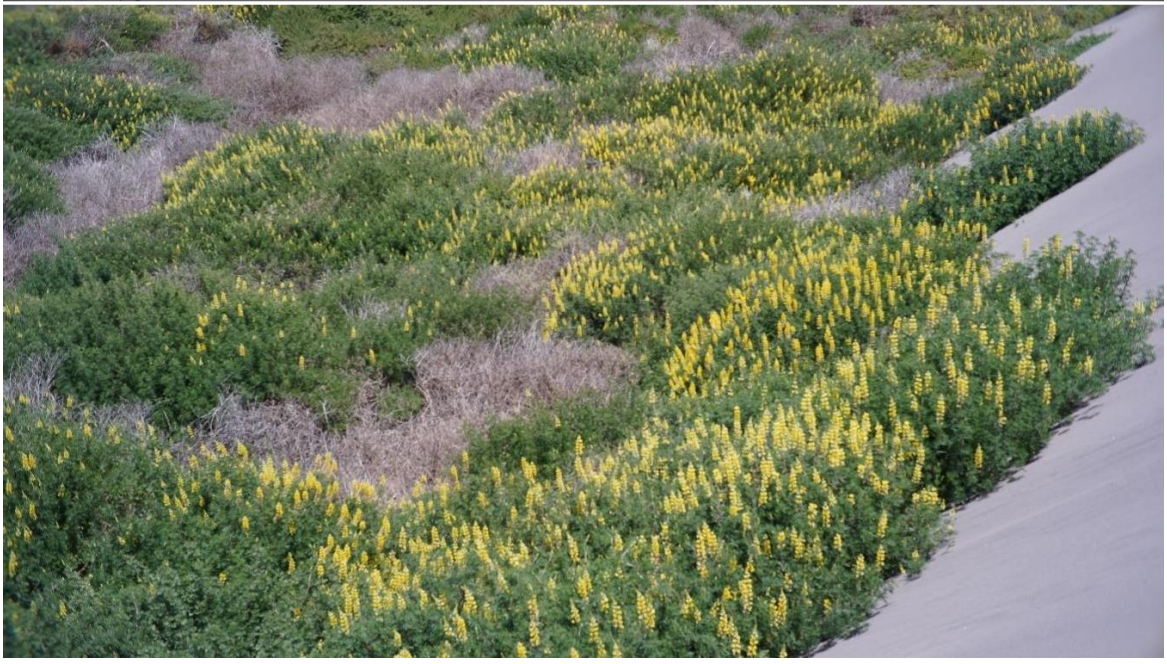
Variabilidad de la cobertura vegetal en las dunas de Santo Domingo entre los años 1985-2022: Influencia de factores físicos y antrópicos en un ambiente costero de la Región de Valparaíso, Chile.

Variabilidad de la cobertura vegetal en las dunas de Santo Domingo entre los años 1985-2022: Influencia de factores físicos y antrópicos en un ambiente costero de la Región de Valparaíso, Chile.

Variabilidad de la cobertura vegetal en las dunas de Santo Domingo entre los años 1985-2022: Influencia de factores físicos y antrópicos en un ambiente costero de la Región de Valparaíso, Chile.



Variabilidad de la cobertura vegetal en las dunas de Santo Domingo entre los años 1985-2022: Influencia de factores físicos y antrópicos en un ambiente costero de la Región de Valparaíso, Chile.



Variabilidad de la cobertura vegetal en las dunas de Santo Domingo entre los años 1985-2022: Influencia de factores físicos y antrópicos en un ambiente costero de la Región de Valparaíso, Chile.