PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Facultad De Ingeniería

TEMA:

Modelo matemático para proyectar el crecimiento poblacional de las especies demersales con el fin de sugerir áreas sensibles o resilientes de la Reserva Marina de Galápagos (RMG)

AUTOR:

Cristian Enrique Jitala Simbaña

TUTOR:

Alfonso Prado Albornoz, MSc.

TRABAJO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN MENCIÓN DATA SCIENCE

Quito, 2023

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Cristian Enrique Jitala Simbaña portador de la cédula de identidad No. 2000089231 y autor del trabajo de tesis "Modelo matemático para proyectar el crecimiento poblacional de las especies demersales con el fin de sugerir áreas sensibles o resilientes de la Reserva Marina de Galápagos (RMG)", certifico que todas las ideas, comentarios, conclusiones y contenidos expuestos en el presente trabajo de investigación son de exclusiva responsabilidad del autor, a excepción de cada contenido citado con su respectiva fuente de información.



CRISTIAN ENRIQUE JITALA SIMBAÑA

CI. 2000089231

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

HOJA DE EVIDENCIA ANTIPLAGIO

turnitin

Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author:	ALFONSO PRADO ALBORNOZ
Assignment title:	Tesis Jitala
Submission title:	Tesis Jitala
File name:	l_Informe_Proyecto_de_Titulacion_-_Borrador_4_Final_Enviad...
File size:	6.47M
Page count:	122
Word count:	25,125
Character count:	136,086
Submission date:	29-Nov-2023 03:52PM (UTC-0500)
Submission ID:	2242308588



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Facultad De Ingeniería

TEMA:

Modelo matemático para proyectar el crecimiento poblacional de las especies demersales con el fin de sugerir áreas sensibles o resilientes de la Reserva Marina de Galápagos (RMG)

AUTOR:

Cristian Enrique Jitala Simbaña

TUTOR:

Alfonso Prado Albornoz, MSc.

TRABAJO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN MENCIÓN DATA SCIENCE

Quito, 2023

Copyright 2023 Turnitin. All rights reserved.

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta nueva meta culminada a mi madre, por ser mi fuente de energía siempre, por sus sabios consejos, su amor incondicional y su guía en todas las etapas de mi vida, por ser mi ejemplo y creer siempre en mí.

A mis hermanos por ser mis amigos, apoyarme, por estar ahí cuando los necesité y también cuando no.

A todos quienes formaron parte de este camino académico, amigos, compañeros y equipo de investigaciones marinas.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar un profundo agradecimiento a mi tutor el MSc. Alfonso Prado, por su paciencia y el tiempo que ha tomado para ser mi guía, gracias por esas tutorías virtuales, sus recomendaciones y correcciones para culminar esta nueva etapa académica. Gracias por sus consejos y su tiempo ahora son parte de mi memoria y será parte de mi futuro profesional.

A todos mis maestros durante el Período formativo de la maestría, gracias por transmitirme sus conocimientos durante este Período. También quisiera expresar mi agradecimiento a la PUCE por haberme permitido obtener un nuevo nivel profesional, agradecer a sus coordinadores y personal administrativo por la asesoría y guía en cada etapa.

También quiero expresar un agradecimiento a la Fundación Charles Darwin, A la Dra. María José Barragán por brindarme la oportunidad de trabajar en Ciencias. A esta institución que me abrió sus puertas y me permitieron formar parte de su equipo, aportando un granito de arena como Staff y finalmente como tesista. Me permito agradecer enormemente a la Dra. Inti Keith, quien me abrió las puertas del programa y me hizo sentir parte de su equipo de trabajo en el Programa de Monitoreo Ecológico, a ella y todo su equipo de investigadores, Billy, Nathalia por ser el apoyo requerido para lograr comprender la información de monitoreo y trabajar conjuntamente en la depuración de información para llevar acabo mi trabajo.

A todo el equipo de investigaciones marinas por los momentos sociales y también por sus interesantes conversaciones y enseñanzas sobre la vida marina. Gracias Rosita, Gabriel, Ana, Solange, Nicolás por las conversaciones estimulantes, y los momentos compartidos, por las risas y por las discusiones de varios temas.

¡Gracias!

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca explorar como han venido fluctuando las poblaciones de peces demersales en la Reserva Marina de Galápagos, a través de información espacio-temporal, recopilada por la Fundación Charles Darwin por medio del proyecto de Monitoreo Ecológico Submareal.

Mediante la aplicación de un modelo matemático se procura descubrir la dinámica de las poblaciones, proyectando su crecimiento o disminución en el tiempo, considerando para algunos casos un factor extractivo.

Todo el trabajo de investigación está basado en la metodología CRISP-DM, lo cual permite aplicar un proceso estándar y sistemático a través de las distintas fases para extraer conocimiento útil de los datos disponibles sobre las características, el comportamiento y la dinámica de las poblaciones.

Este trabajo concluye con la presentación de los resultados previa evaluación a las poblaciones de especies que muestran alguna preocupación por su decremento en un momento dado.

Palabras clave: biodiversidad, Galápagos, decremento poblacional, modelo de crecimiento, modelo logístico, bifurcación, extracción, CRISP-DM.

ABSTRACT

This research paper aims to explore how demersal fish populations in the Galápagos Marine Reserve have been fluctuating, using spatio-temporal information compiled by the Charles Darwin Foundation through the Submarine Ecological Monitoring Project. By applying a mathematical model, it seeks to uncover the dynamics of these populations, projecting their growth or decline over time, and considering an extractive factor in some cases.

The entire research work is based on the CRISP-DM methodology, which allows for the application of a standard and systematic process across different phases to extract useful knowledge from available data about the characteristics, behavior, and dynamics of the populations.

This paper concludes with the presentation of results following an evaluation of species populations that show some concern due to their decline at a given time.

Keywords: biodiversity, Galápagos, population decline, growth model, logistic model, bifurcation, extraction, CRISP-DM.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....I
DERECHOS DE AUTOR II
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....III
HOJA DE EVIDENCIA ANTIPLAGIO..... IV
DEDICATORIA V
AGRADECIMIENTOS VI
RESUMEN VII
ABSTRACT..... VIII
ÍNDICE GENERAL IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIÓNES.....XII
ÍNDICE DE TABLAS XV
ÍNDICE DE ANEXOS..... XVI
1. Introducción 1
1.1. Antecedentes de la Investigación 1
1.2. Justificación del Tema 4
1.3. Planteamiento del Problema 5
1.4. Objetivos 6
1.4.1. Objetivo General 6
1.4.2. Objetivos Específicos 6
1.5. Alcance del Trabajo 7
2. Marco Teórico 9
2.1. Estado del Arte 9
2.2. Taxonomía de especies monitoreadas en la RMG 9
2.2.1. Demersales 10
2.2.2. Macroinvertebrados móviles.....11
2.2.3. Organismos Sésiles 13
2.3. Características de los Sitios de Monitoreo 14
2.3.1. Resiliencia.....14
2.3.2. Susceptibilidad.....14
2.4. Bioregiones y Biodiversidad 14
2.5. Diversidad.....15
2.6. Densidad Poblacional 16
2.7. Distribución espacial.....16
2.8. Proyecciones y para que se pueden usar en Ciencias de la vida.....16

2.9. Herramientas de Modelamiento 16
2.9.1. Modelos Determinísticos....17
2.9.2. Modelos Estocásticos 17
2.9.3. Modelos Poblacionales Continuos....17
2.9.3.1. Crecimiento Exponencial 17
2.9.3.2. Modelo Logístico 21
2.9.3.3. Modelos con Extracción....28
2.9.3.3.1. Modelos con Rendimiento Constante 28
2.9.3.3.1.1. Solución Cualitativa de la EDO 29
2.9.3.3.1.2. Diagrama de Bifurcación....31
2.9.3.3.1.3. Punto de Bifurcación (LP)....32
2.9.3.3.2. Modelos con Esfuerzo Constante 33
3. Marco Metodológico....36
3.1. Materiales y Herramientas 36
3.1.1. Datos biológicos 36
3.1.2. MariaDB....37
3.1.3. HeidiSQL 37
3.1.4. R 37
3.1.5. RStudio 38
3.2. Metodología CRISP-DM 38
3.2.1. Comprensión del Negocio....39
3.2.2. Comprensión de los datos 39
3.2.2.1. Recolección inicial de los datos 39
3.2.2.1.1. Dataset de monitoreo de Peces programa MES – FCD (2004-2022)....39
3.2.2.1.2. Listado de Captura (en libras) anual y promedio de los últimos cuatro años (2017-2020) de especies pesqueras en Galápagos.....40
3.2.2.1.3. Listado de Especies pesqueras de interés comercial en la Reserva Marina de Galápagos (DPNG)....41
3.2.2.1.4. Listado de Episodios fríos y cálidos por temporada....41
3.2.2.1.5. Listado de especies consideradas y sus características ecológicas 42
3.2.2.2. Integración, Homologación, Estandarización y Actualización de los datos....43
3.2.2.3. Descripción de los datos 45
3.2.2.4. Dimensionalidad de los Datos....49
3.2.2.5. Exploración de los datos 50
3.2.3. Preparación de los datos 55
3.2.3.1. Formateo de los datos 56

3.2.3.2. Selección de los datos 56
3.2.3.3. Construcción de nuevos datos 58
3.2.3.4. Limpieza de datos 63
3.3. Modelado 64
3.3.1. Selección de la técnica 64
3.3.2. Construcción del modelo 64
3.3.3. Evaluación del modelo 67
3.3.3.1. Diagrama de Bifurcación Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020-2021 67
3.3.3.2. Diagrama de Bifurcación Especie: *Paralabrax albomaculatus*. Período 2020-2021 67
3.3.3.3. Diagrama de Bifurcación Especie: *Calamus taurinus*. Período 2020-2021 68
4. Resultados 70
4.1. Análisis de los Resultados 70
4.1.1. Resultados del Modelo Logístico de Crecimiento 70
4.1.2. Resultados del Modelo Logístico de Crecimiento con Rendimiento Constante 91
4.1.3. Resultados del Modelo Logístico de Crecimiento con Esfuerzo Constante 97
5. Conclusiones y Recomendaciones 100
5.1. Conclusiones 100
5.2. Recomendaciones 102
6. Referencias 104
ANEXOS 106

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓNES

Ilustración 1. Especie: *Anisotremus espinozai*. Clase: Actinopteri 10
Ilustración 2. Especie: *Cephalopholis panamensis*. Clase: Teleostei 10
Ilustración 3. Especie: *Carcharhinus galapagensis*. Clase: Elasmobranchii 11
Ilustración 4. Especie: *Panulirus gracilis*. Clase: Malacostraca 12
Ilustración 5. Especie: *Phataria unifascialis*. Clase: Asteroidea 12
Ilustración 6. Especie: *Octopus sp*. Clase: Cephalopoda 12
Ilustración 7. Especie: *Padina durvillaei*. Clase: Phaeophyceae 13
Ilustración 8. Especie: *Tubastrea sp*. Clase: Anthozoa 14
Ilustración 9. Bioregiones y Biodiversidad 15
Ilustración 10. Representación de la curva Logística 23
Ilustración 11. Diagrama de Bifurcación 32
Ilustración 12. Curva de rendimiento vs Esfuerzo 35
Ilustración 13. Ciclo de vida de la Metodología CRISP-DM 38
Ilustración 14. Esquema de tablas convertidas a partir de Datasets individuales 44
Ilustración 15. Página web FishBase 45
Ilustración 16. Página web World Register of Marine Species 45
Ilustración 17. Código R que describe el número de columnas y filas 50
Ilustración 18. Distribución espacial de sitios del programa MES 50
Ilustración 19. Clúster de Bioregiones 51
Ilustración 20. Agrupamiento de los Sitios Cercanos de Monitoreo 51
Ilustración 21. Acción de zoom sobre la Bioregión Elizabeth 52
Ilustración 22. Distribución espacial de sitios del programa MES a través de los años. 53
Ilustración 23. Cantidad de Observaciones en las Bioregiones 54
Ilustración 24. Top 10 de las Especies con más Observaciones 54
Ilustración 25. Top de las Especies en peligro según la IUCN 55
Ilustración 26. Código para generar la función Gradiente en el Modelo Logístico 65
Ilustración 27. Variable que guarda la solución de la Ecuación Diferencial 65
Ilustración 28. Código para el despliegue de la App Shiny 66
Ilustración 29. Aplicación de Shiny que despliega la solución basada en el modelo Logístico ...66
Ilustración 30. Diagrama de Bifurcación Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020-2021.....67
Ilustración 31. Diagrama de Bifurcación Especie: *Paralabrax albomaculatus*. Período 2020-2021 68
Ilustración 32. Diagrama de Bifurcación Especie: *Calamus taurinus*, Período 2020-2021.....69
Ilustración 33. Curva Logística decreciente Especie: *Girella freminvillii*. Período: 2004 - 2005. Bioregión: West.....70
Ilustración 34. Curva Logística decreciente Especie: *Melichthys niger*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: Far north 70
Ilustración 35. Curva Logística decreciente Especie *Cephalopholis colonus*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: Far north 71
Ilustración 36. Curva Logística decreciente Especie: *Ophioblennius steindachneri*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: South east 71
Ilustración 37. Curva Logística decreciente Especie: *Apogon atradorsatus*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: Spouth east 72
Ilustración 38. Curva Logística decreciente Especie: *Alphestes immaculatus*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: South east 72

Ilustración 39. Curva Logística decreciente Especie: *Cephalopholis colonus*. Período: 2005 - 2006 Bioregión: South east 73
Ilustración 40. Curva Logística decreciente Especie: *Halichoeres nicholsi*. Período: 2006 - 2007 Bioregión: South east 73
Ilustración 41. Curva Logística decreciente Especie: *Thalassoma lucasanum*. Período: 2006 - 2007. Bioregión: South east 74
Ilustración 42. Curva Logística decreciente Especie: *Dermatolepis dermatolepis*. Período: 2007 - 2008. Bioregión: Far north 74
Ilustración 43. Curva Logística decreciente Especie: *Coryphopterus urospilus*. Período: 2007 - 2008. Bioregión: South east 75
Ilustración 44. Curva Logística decreciente Especie: *Gobioclinus dendriticus*. Período: 2008 - 2009. Bioregión: Elizabeth.....75
Ilustración 45. Curva Logística decreciente Especie: *Johnrandallia nigrirostris*. Período: 2008 - 2009. Bioregión: Far north 76
Ilustración 46. Curva Logística decreciente Especie: *Canthigaster punctatissima*. Período: 2008 - 2009. Bioregión: Far north 76
Ilustración 47. Curva Logística decreciente Especie: *Stegastes arcifrons*. Período: 2008-2009. Bioregión: South east 77
Ilustración 48. Curva Logística decreciente Especie: *Holacanthus passer*. Período: 2008-2009. Bioregión: South east 77
Ilustración 49. Curva Logística decreciente Especie: *Cephalopholis colonus*. Período: 2008 - 2009. Bioregión: South east 78
Ilustración 50. Curva Logística decreciente Especie: *Apogon atradorsatus*. Período: 2009 - 2010. Bioregión: Elizabeth 78
Ilustración 51. Curva Logística decreciente Especie: *Stegastes beebei*. Período: 2009 - 2010. Bioregión: Elizabeth 79
Ilustración 52. Curva Logística decreciente Especie: *Mulloidichthys dentatus*. Período: 2009 - 2010. Bioregión: Far north 79
Ilustración 53. Curva Logística decreciente Especie: *Scarus rubroviolaceus*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: Far north 80
Ilustración 54. Curva Logística decreciente Especie: *Sphoeroides annulatus*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: West.....80
Ilustración 55. Curva Logística decreciente Especie: *Prionurus laticlavius*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: North.....81
Ilustración 56. Curva Logística decreciente Especie*: Scarus ghobban*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: South east 81
Ilustración 57. Curva Logística decreciente Especie: *Chaetodon humeralis*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: South east 82
Ilustración 58. Curva Logística decreciente Especie: *Abudefduf troschelii*. Período: 2011 - 2012. Bioregión: Elizabeth 82
Ilustración 59. Curva Logística decreciente Especie: *Mycteroperca olfax*. Período: 2011 - 2012. Bioregión: Elizabeth 83
Ilustración 60. Curva Logística decreciente Especie: *Scarus ghobban*. Período: 2011 - 2012. Bioregión: South east 83
Ilustración 61. Curva Logística decreciente Especie: *Mycteroperca olfax*. Período: 2011 - 2012. Bioregión: South east 84
Ilustración 62. Curva Logística decreciente Especie: *Thalassoma lucasanum*. Período: 2012 - 2013. Bioregión: Elizabeth.....84

Ilustración 63. Curva Logística decreciente Especie: *Anisotremus scapularis*. Período: 2012 - 2013. Bioregión: West.....85
Ilustración 64. Curva Logística decreciente Especie: *Stegastes beebei*. Período: 2012 - 2013. Bioregión: West.....85
Ilustración 65. Curva Logística decreciente Especie: *Bodianus diplotaenia*. Período: 2012 - 2013. Bioregión: North.....86
Ilustración 66. Curva Logística decreciente Especie: Apogon atradorsatus. Período 2020 - 2021. Bioregión West.....87
Ilustración 67. Curva Logística decreciente Especie: Azurina atrilobata. Período 2021 - 2022. Bioregión South East 89
Ilustración 68. Curva Logística decreciente Especie: Calamus taurinus. Período 2021 - 2022. Bioregión Elizabeth 90
Ilustración 69. Curva Logística decreciente Especie: Cirrhithichthys oxycephalus. Período 2021 - 2022. Bioregión South east 91
Ilustración 70. Curva Logística creciente bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021 92
Ilustración 71. Diagrama de Bifurcación bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021 93
Ilustración 72. Curva Logística creciente bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Paralabrax albomaculatus*. Período 2020 - 2021 94
Ilustración 73. Diagrama de Bifurcación bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Paralabrax albomaculatus*. Período 2020 - 2021 94
Ilustración 74. Curva Logística creciente bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Calamus taurinus*. Período 2020 - 2021 95
Ilustración 75. Diagrama de Bifurcación bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Calamus taurinus*. Período 2020 - 2021 96
Ilustración 76. Curva Logística bajo un enfoque de esfuerzo constante E = 0.07. Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021 97
Ilustración 77. Diagrama de Bifurcación Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021.....98
Ilustración 78. Diagrama de la ecuación E. Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021.99
Ilustración 79. Grafica de Curva Rendimiento vs Esfuerzo. Especie: Mycteroperca olfax. Período 2020 - 2021 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación por clase (rango taxonómico) de especies demersales en la RMG. 10
Tabla 2. Clasificación por clase (rango taxonómico) de especies macro invertebrados en la RMG 11
Tabla 3. Clasificación por clase (rango taxonómico) de especies sésiles en la RMG.....13
Tabla 4. Dataset de monitoreos de Peces programa MES – FCD.....40
Tabla 5. Listado de Captura (en libras) anual y promedio de los últimos cuatro años (2017-2020) de especies pesqueras en Galápagos 40
Tabla 6. Listado de Especies pesqueras de interés comercial en la Reserva Marina de Galápagos 41
Tabla 7. Listado de Episodios fríos y cálidos por temporada 42
Tabla 8. Listado de especies consideradas y sus características ecológicas 43
Tabla 9. Columnas del Dataset Final de monitoreos 46
Tabla 10. Matriz Final sobre las especies que se aplicara en el modelo 56
Tabla 11. Matriz pivoteada por años agrupados por Bioregión y Especie (Parte 1) 60
Tabla 12. Matriz pivoteada por años agrupados por Bioregión y Especie (Parte 2) 60
Tabla 13. Matriz basada en criterios para el modelo Logístico.....61
Tabla 14. Matriz pivoteada por años agrupados por Especie (Parte 1) 62
Tabla 15. Matriz pivoteada por años agrupados por Especie (Parte 2) 62
Tabla 16. Matriz basada en criterios para el modelo Logístico con enfoque Extractivo 63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acuerdo de Confidencialidad de Datos y Manejo de Información que constituye secreto 106

CAPITULO I

1. Introducción

1.1. Antecedentes de la Investigación

La Biodiversidad si bien es un término acuñado en los años 80 cuyo significado se relaciona con la variedad biológica que nace de contribuciones significativas de numerosos científicos a lo largo de la historia, en la actualidad es un complejo e irrepetible proceso evolutivo. Según la Convención de Diversidad Biológica (1992), reconoce a la Biodiversidad como la variabilidad de organismos vivos de cualquier ecosistema terrestre, marino, otros ecosistemas acuáticos, y los demás sistemas ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad en cada especie, entre especies y en los ecosistemas.

La conservación de la diversidad biológica al ser considerada como un tema de interés global llama a promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible para ello es necesario la integración de los países que mediante prácticas y políticas puedan proteger la biodiversidad, promover el uso sostenible y contribuir al bienestar humano a largo plazo; es así como el 29 de diciembre de 1993 entra en vigor el Convenio sobre Biodiversidad (CDB) como un tratado internacional jurídicamente vinculante y que fue el primer acuerdo global en el cual se establecieron tres objetivos principales como: la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de los componentes de diversidad biológica y la participación justa y equitativa en los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos.

Al inicio, no todos los países fueron parte del CDB debido a desafíos internos que dificultaban su participación, sin embargo, con el tiempo la mayoría de países han firmado y ratificado su compromiso con la Biodiversidad. Actualmente 196 países y la Unión Europea son parte del CDB, y ha sido esta vinculación general, la que ha permitido establecer nuevos protocolos, estrategias, planes de acción nacional y estratégicos como el del 2010, en el cual se determinaron 20 metas, organizadas en 5 objetivos estratégicos que mediante una eficiente gestión participativa resolver las causas de la pérdida de biodiversidad mediante planes que permitan la reducción de los efectos de factores ambientales y antropogénicos mejorando de esta manera la situación de las especies y logrando conseguir un desarrollo sostenible (Convención de Diversidad Biológica, 2010).

Uno de los objetivos estratégicos que propone la CBD (2010) consiste en "Abordar las causas subyacentes de la pérdida de diversidad biológica mediante la incorporación de la diversidad biológica en todos los ámbitos gubernamentales y de la sociedad" para ello es necesario comprender tanto las poblaciones de especies como la diversidad biológica que nos rodea, su estado y su dinámica través del tiempo. Sin embargo, dar un valor concreto resulta una tarea difícil incluso para los taxónomos, aunque se puede estimar su valor. Según Mora *et al.* (2011) con el fin de estimar las cantidades de especies dada las relaciones predecibles en los niveles taxonómicos superiores se podrían extrapolar a niveles inferiores como el de especie, similar situación funciona para grupos bien estudiados hacia especies pocas conocidas.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) a través del proyecto Red List (Lista Roja) evalúa la condición de las especies año tras año a nivel global mediante el seguimiento a trabajos taxonómicos efectuados. Según la UICN Red List (2022, citado en Ritchie, 2022) reportó la diversidad en términos cuantitativos, presentando valores acumulados de diversidad para los últimos años: 2.115.985 (2020), 2.130.023 (2021) y 2.161.755 (2022), el grupo de Invertebrados es uno de los más abundantes, con valores acumulados de 1.478.938 (2020), 1.491.386 (2021) y 1.521.459 (2022) especies; y por muy debajo de este grupo se encuentran los organismos marinos como peces con valores acumulados de 35.672 (2020), 36.058 (2021) y 36.367 (2022) especies. Este último grupo tiene altos niveles estrés, tanto de factores ambientales como antropogénicos durante años, hecho por el que los Estados han manifestado su preocupación por mantener niveles saludables de sus poblaciones para un futuro sostenible. Mediante uno de sus objetivos estratégicos que pretende "Reducir las presiones directas sobre la diversidad biológica y promover la utilización sostenible".

Si bien se han tratado de múltiples maneras de evaluar el número de especies, el resultado termina siendo un cálculo erróneo, debido a que muchos autores tienden a subestimar valores. En gran parte, esto puede considerarse debido a la organización de los ecosistemas y su alta heterogeneidad (Moreno, 2001). Esto hace que muchas especies ya definidas terminen siendo sinónimos, ya si bien existe un proceso de evaluación continua, el registro de las especies es mucho más rápido que el proceso de búsqueda de sinónimos.

La cantidad de especies que se han identificado y descrito representa apenas una pequeña fracción de las que realmente existen, considerando que aún existen grupos y hábitats poco explorados por el hombre hasta la actualidad (Ritchie, 2022).

El océano es uno de los dos hábitats, y el más grande, de grupos como peces, moluscos, crustáceos, mamíferos marinos, algas y corales. Aparte de ser hogar de una gran cantidad de vida marina es una fuente importante de alimentos y recursos para los seres humanos; cubre las ¾ partes de la tierra y contiene el 97% del agua existente, por ende, desempeñan un papel fundamental en la producción de oxígeno y secuestro de CO2, generando entre el 50 y 85% de oxígeno liberado a la atmósfera mediante el fitoplancton (organismos unicelulares autótrofos que flotan en la zona eufótica del océano) que generalmente está presente en los 200 primeros metros de profundidad, por ello también es considerado como "los pulmones del planeta" (Rodríguez, 2023).

El océano, además de ser inspirador, fuente de recreación y de estudios no solo biológicos sino también oceanográficos, constituye el medio por el que obtenemos alimentos, medicinas, y otros varios servicios que aporta al ser humano.

Uno de los problemas que está afectando directamente la diversidad y los ecosistemas es el cambio climático. Para el presente año, en el que se está desarrollando esta investigación, se ha registrado que el incremento de temperatura del océano ha alcanzado niveles máximos históricos, lo que conlleva a que por cada grado de temperatura que se incrementa se genera una pérdida de biomasa oceánica del 5% ocasionado inundaciones costeras, especies en una lucha contra reloj adaptándose a temperaturas más cálidas, además no debemos olvidar que el 10% de la población mundial depende directamente de los océanos y la pesca para subsistir (FAO, 2021).

En los océanos uno de los más devastadores problemas constituye la acidificación, el debilitamiento en organismos que generan carbonato de calcio por ejemplo moluscos es uno de los problemas altamente difundidos, pero que aún se continúa evaluando las afectaciones que puedan generar en otras comunidades (OIEA, 2022).

Problemas como el blanqueamiento de corales, la acidificación entre otros ocasionados por el cambio de temperatura, pH originado por las actividades humanas podrían estar afectando la supervivencia de algunos organismos. Por ello la importancia de cuidar no solo la calidad del agua de los océanos sino también sus poblaciones que ayudan a mantener un equilibrio para un entorno marino saludable y sostenible.

La diversidad de las islas Galápagos está ampliamente condicionada por corrientes oceánicas cálidas y frías, consecuentemente su diversidad está directamente asociada con las áreas influenciadas por estas corrientes.

Galápagos al ser considerado un laboratorio vivo, la diversidad es uno de los temas relevantes, por lo que para el archipiélago en términos de números de especies marinas se ha ampliado su conocimiento partiendo de la cita de 1999 donde se documentaba la presencia de 2909 especies (Bustamente *et al.*), los esfuerzos continuos en documentar de mejor manera la diversidad se evidencia con la publicación de Hickman (2009) quien reporta para esta fecha un total de 3089 especies e indica los grupos con el nivel de estudio considerado, a la fecha la Fundación Charles Darwin (FCD) (unpublised report) indica, que actualmente la diversidad bordea las 4050 especies, mismas que contemplan especies nativas, endémicas e introducidas en áreas de la Reserva Marina de Galápagos (RMG).

De los números anteriormente mencionados se resalta la presencia de peces como parte del presente estudio, con base en Hickman (2009) se había reportado un total de 452 especies, en tanto que para la fecha la FCD (unpublised report –DataZone) & Grove, 2021 contemplan un total de 664 especies que incluyen especies migrante y vagrante (consideradas aquellas especies migratorias ocasionales) en aguas de la RMG.

En la RMG alrededor del 77% de área asignada a la extracción artesanal con base en la demarcación física del 2001 sigue siendo considerada por parte del sector extractivo, mientras que el 23% se distribuye entre zonas de turismo y conservación y uso especial (Edgar et al, 2002), pese a que existe una nueva zonificación (2017) que contempla de modo integrar la protección de ambientes terrestres y marinos, está aún no está siendo regulada por procesos de socialización que se están llevando a cabo a raíz de la ratificación emitida en el 2021 sobre la legalidad de la misma (Registro Oficial).

Uno de los aspectos fundamentales no solo es entender la biología, sino también evaluar sus cambios en el tiempo y como factores tanto ambientales como antropogénicos están generando mayor presión en este tipo de ambientes.

La presente investigación busca contribuir a este enorme propósito desde el estudio del crecimiento poblacional mediante modelos matemáticos, adicional generar simulaciones directamente asociadas a efectos antropogénicos (pesca) en aguas de la RMG.

1.2. Justificación del Tema

Conocedores de que la diversidad es uno de los aspectos trascendentales en las islas Galápagos, reconocemos que su carácter vulnerable a factores antropogénicos, cambios

ambientales drásticos, efectos del cambio climático, constituyen una amenaza latente para la diversidad. Por ello, determinar el estado de las poblaciones a partir de la documentación in situ levantada por la FCD desde el 2004 al 2022 será de vital importancia para sugerir áreas de interés que beneficien o contribuyan a los intereses de las instituciones que velan por mantener el estado más prístino posible del Archipiélago.

Por esta razón se plantea generar un primer acercamiento al análisis de set de datos biológicos marinos mediante las herramientas de ciencia de datos.

El resultado de este estudio beneficiará a las comunidades submareales biológicas que habitan en el archipiélago pues se encuentran muy relacionados entre sí. Estas herramientas (soluciones a partir de un modelo) permiten visibilizar la disminución o incremento de la densidad poblacional y muestran escenarios que pueden desencadenarse a corto o largo plazo. Adicionalmente se puede entender riesgos de extinción de especies, su dinámica, el impacto que genera el dinámico sistema de corrientes en las islas, fenómenos como El Niño y La Niña, etc., de manera que se pueda tener información disponible para preparar planes de mitigación de impactos en la biodiversidad costera de las islas Galápagos.

1.3. Planteamiento del Problema

El aislamiento geográfico, la historia evolutiva y la ubicación sobre un punto volcánico caliente en el Pacífico Oriental Ecuatorial han configurado las comunidades marinas de Galápagos (Chávez y Brusca, 1991, Banks, 2002 & Palacios, 2004). En las aguas del archipiélago se alojan un diverso conjunto de hábitats marinos con grandes discontinuidades espacio-temporales, directamente relacionadas con las condiciones oceanográficas que, en conjunto, han permitido y facilitado la existencia de un alto porcentaje de fauna y flora endémica (Heylings, *et al.* 2002). Mientras que se ha dedicado un trabajo sustancial a los recursos pesqueros de la RMG (Nicolaides, *et al.*, 2001; 2002; Edgar, *et al.* 2002; Ruiz, 2002; Zimmerhackel, *et al*. 2015), a las comunidades de los arrecifes rocosos submareales (Banks 2007, Glynn 2007) y a las condiciones oceanográficas generales (Palacios, 2000; Banks, 2002), los estudios sobre las poblaciones de especies a lo largo de la RMG continúan ejecutándose, especialmente a través del programa de Monitoreo Ecológico Submareal (MES), mismo que no solo contempla cambios en la dinámica y función de los ecosistemas submareales, sino

también aspectos ecológicos. En los últimos años, este programa conducido por la FCD, ha podido desarrollar y mantener uno de los conjuntos de datos más largos y completos sobre biodiversidad costera submareal (peces, macro-invertebrados móviles y organismos sésiles). Esta iniciativa tiene como objetivo realizar investigación de campo, in-situ, recabar información sobre la distribución de especies marinas en el Archipiélago, analizar estos datos para generar información, y producir conocimiento científico y ponerlo a disposición de los tomadores de decisiones sobre conservación y biodiversidad en la RMG.

Durante estos años, el esfuerzo aplicado en el monitoreo de especies submareales realizado por años ha permitido la generación de datos, producción de información y de conocimiento, a largo plazo. Esto ha dado origen al mantenimiento de sets de datos e información, que ha sido solo parcialmente, tratada con técnicas y herramientas de la Ciencia de Datos. Esto no ha permitido sacarle mayor provecho y darle una utilidad mayor a esta información como, por ejemplo, el inferir en proyecciones de crecimiento poblacional de las especies para determinar qué áreas pueden ser sensibles o resilientes y así minimizar el impacto que pudiesen ocasionar nuevos eventos naturales o la misma acción del ser humano.

El estudio en desarrollo busca explorar como han venido fluctuando las poblaciones de peces demersales, a través de información espacio-temporal, recopilada por la FCD, con el fin de determinar desde un punto de vista cualitativo el estado de sus poblaciones tanto su crecimiento como su disminución, pudiendo considerar en algunos casos un enfoque extractivo según los datos muestren las condiciones necesarias.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar el crecimiento poblacional de peces demersales con base en supuestos biológico-ecológico, para sugerir áreas sensibles o resilientes mediante el análisis de información biológica recabada entre 2004 - 2022 en sitios monitoreados de la Reserva Marina de Galápagos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Depurar, estandarizar y homologar los Datasets del programa MES - FCD (2004-2022) en formato Darwin Core (DwC) previo el análisis.

- Actualizar la nomenclatura de las especies.
- Alcanzar información de especies pesqueras.
- Alcanzar información extractiva de los últimos años.
- Unificar y preparar los datos mediante el uso de un Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD) o librerías de R.
- Proyectar la distribución espacial de los sitios de monitoreo a través de la historia de los datos.

1.5. Alcance del Trabajo

Para el presente trabajo de investigación se cuenta con un set de datos de monitoreo en sitios marinos costeros que han sido seleccionados por el programa MES (FCD - Galápagos) el cual contiene 74640 registros de presencias y/o abundancias por tallas estimadas visualmente de especies observadas en transectos de 5m de ancho x 50m de largo ($250m^2$), que pertenecen a tres grandes grupos de organismos como son: Demersales, Macroinvertebrados y Sésiles. Para el presente proyecto se toma en cuenta únicamente los registros de organismos Demersales. Estos monitoreos han sido realizados desde el año 2004 al 2022 (exceptuando el año 2015 que por problemas de logística no se realizó).

Dada las condiciones presentes en los sitios, se consideró beneficioso y oportuno gestionar los datos en función de Bioregiones. Esto permite obtener un número adecuado de registros a lo largo de los años de monitoreo. Por ende, después de llevar a cabo un agrupamiento "año, bioregión y especie" se consideró esencial incorporar a los datos una característica denominada "Error de Muestreo". Esta característica evalúa, en pares de años, la diferencia en la cantidad observaciones, seleccionando exclusivamente aquellas combinaciones que no superen el 6% de fluctuación poblacional. Este enfoque aborda de manera efectiva la necesidad de garantizar la integridad de los datos ante las variaciones moderadas en la población.

Con base en el concepto de "Modelo Logístico" y "capacidad máxima de carga (K)" detallado en el Marco Teórico, el valor **K** no puede superar a la población **x** debido a la naturaleza del modelo y sus suposiciones sobre el crecimiento. El modelo logístico asume que la tasa de crecimiento de la población disminuye a medida que la población se acerca a su capacidad máxima de carga.

Adicionalmente es necesario considerar aquellas especies cuya dinámica poblacional demuestre un decremento en el tiempo, por lo cual basado en el concepto de la "tasa intrínseca de reproducción (r)" fundamentada dentro del Modelo Logístico se determinó aquellas especies que entre pares de años registran un decremento en su población, por lo cual se seleccionaron aquellas especies que presentan valores de "r" bajos.

Disponer de una cantidad suficiente de observaciones significa contar con una cantidad de información adecuada y relevante tanto para el análisis como para el modelado, factor considerado para seleccionar aquellas especies cuyos valores determinen representatividad en la dinámica poblacional, de este modo poder generar conclusiones sólidas al respecto.

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico

2.1. Estado del Arte

Evaluar mediante modelos matemáticos cambios en la dinámica poblacional de peces es factible así lo demuestran Melià et al, (2020) en su evaluación de los efectos de áreas protegidas y no protegidas con el análisis de una serie temporal de 12 años mediante la densidad poblacional de la pesca blanca de *Diplodus sargus sargus* mostrando así que se pude emplear modelos demográficos para evaluar la viabilidad poblacional y su dinámica mediante la comparación de las tasas de crecimiento y a su vez evaluar los efectos de la presión pesquera en las poblaciones anuales.

Para la región se han efectuado modelos de crecimiento de von Bertalanffy para la especie *Mycteroperca olfax* (bacalao), fundamentado por la alta presión pesquera directamente asociada a aspectos culturales del país, por lo que el estudio se enfocó en evaluar edad, crecimiento y biología reproductiva de bacalao, derivándose del estudio que la captura mayoritariamente es en individuos inmaduros, hecho altamente preocupante puesto que la edad media de madurez estaría alcanzando a partir de los 6 años de edad tanto en hembras como en machos (Usseglio et al, 2015).

Estudios conducidos en la RMG para entender la dinámica de los ecosistemas han sido llevados a cabo, para Wolf et al, (2014) quienes condujeron un estudio durante un episodio fuerte de fenómeno El Niño en el Canal Bolívar indican que el incremento de temperatura, disminuye las concentraciones de nutrientes y por ende de fitoplancton alrededor del archipiélago, por lo que consecuentemente varias especies sufren sus estragos en efecto domino. Este tipo de modelos evaluados consideran el rendimiento energético del ecosistema.

2.2. Taxonomía de especies monitoreadas en la RMG

Las especies que han sido monitoreadas durante 18 años por el programa MES se dividen en los grupos de interés para el cual es el enfoque del muestro, pudiendo estar otras especies que no pertenecen a los grupos en cuestión, pero fueron registrados como observaciones para futuros estudios. Es así que para los siguientes grupos se encuentran los siguientes resúmenes basados en el rango taxonómico Clase de cada especie:

2.2.1. Demersales

Son especies de vertebrados acuáticos cuyo hábitat son las aguas profundas, cerca del fondo de zonas litorales, eurolitoral y plataforma continental. A continuación, se presentan una tabla que describe las clases que agrupan estas especies demersales y la cantidad de especies por cada una de ellas.

Tabla 1. Clasificación por clase (rango taxonómico) de especies demersales en la RMG.

Clase	# Especies
Actinopteri	8
Elasmobranchii	16
Teleostei	176
Total	**200**

Fuente (Dataset de monitoreos de Peces programa MES – FCD, 2022)

Ilustración 1. Especie: ***Anisotremus espinozai*****. Clase: Actinopteri**



Fuente (EFE, 2021)

Ilustración 2. Especie: ***Cephalopholis panamensis*****. Clase: Teleostei**



Fuente (Edgar, 2006)

Ilustración 3. Especie: *Carcharhinus galapagensis***. Clase: Elasmobranchii**



Fuente (Kleinlein, 2021)

2.2.2. Macroinvertebrados móviles

Se denomina macro-invertebrados móviles a aquellas especies de invertebrados con un tamaño superior a 500um y viven toda su vida en el agua, entre los que se incluyen esponjas, planarias, sanguijuelas, moluscos, crustáceos como los cangrejos, etc. Estos grupos de especies cumplen con un rol vital para los ecosistemas acuáticos muchos de estos pueden y considerados indicadores bilógicos.

A continuación, se presentan una tabla que describe las clases que agrupan estas especies de macro invertebrados y la cantidad de especies por cada una de ellas.

Tabla 2. Clasificación por clase (rango taxonómico) de especies macro invertebrados en la RMG

Clase	# Especies
Ascidiacea	1
Asteroidea	16
Bivalvia	6
Cephalopoda	1
Echinoidea	11
Gastropoda	39
Holothuroidea	13
Malacostraca	31
Ophiuroidea	6
Pilidiophora	1
Polychaeta	1
Rhabditophora	1
Total	**127**

Fuente (Dataset de monitoreos de MacroInvertebrados programa MES – FCD, 2022)

Ilustración 4. Especie: *Panulirus gracilis***. Clase: Malacostraca**



\

Fuente (Edgar, 2006)

Ilustración 5. Especie: *Phataria unifascialis***. Clase: Asteroidea**



Fuente (Tirado-Sánchez, 2023)

Ilustración 6. Especie: *Octopus sp***. Clase: Cephalopoda**



Fuente (Tirado-Sánchez, 2023)

2.2.3. Organismos Sésiles

Son especies que crecen adheridas a un sustrato volviéndose sedentarios pues no poseen ningún medio de auto-locomoción y su movimiento puede estar influenciado por las corrientes de agua. A continuación, se presentan una tabla que describe las clases que agrupan estas especies sésiles y la cantidad de especies por cada una de ellas.

Tabla 3. Clasificación por clase (rango taxonómico) de especies sésiles en la RMG

Clase	# Especies
Anthozoa	45
Ascidiacea	18
Bacillariophyceae	1
Bivalvia	11
Calcarea	3
Demospongiae	16
Florideophyceae	62
Gastropoda	4
Gymnolaemata	13
Hexanauplia	1
Holothuroidea	1
Hydrozoa	12
Malacostraca	1
Ophiuroidea	2
Phaeophyceae	18
Polychaeta	6
Stenolaemata	2
Thecostraca	2
Ulvophyceae	5
Total	223

Fuente (Dataset de monitoreos de Sésiles programa MES – FCD, 2022)

Ilustración 7. Especie: *Padina durvillaei*. Clase: Phaeophyceae



Fuente (Edgar, 2006)

Ilustración 8. Especie: *Tubastrea sp***. Clase: Anthozoa**



Fuente (Tirado-Sánchez, 2023)

2.3. Características de los Sitios de Monitoreo

2.3.1. Resiliencia

La resiliencia de un hábitat marino se puede definir como la capacidad que tiene para mantener funciones y procesos clave ante eventos poco usuales, ya sea mediante un proceso de recuperación o de adaptabilidad a las nuevas condiciones. Según Karsai et al. (2020), resume la resiliencia como la capacidad que tiene un ecosistema para volver a su estado de equilibrio después de una perturbación. O'Leary, *et al.* (2017) exponen que todos los ecosistemas a nivel mundial han evidenciado ser resilientes. El hábitat biogénico remanente, el reclutamiento la conectividad, el entorno físico y factores estresores del ecosistema a nivel tanto local como global son factores que marcan el grado de resiliencia del ecosistema, por lo que estos ambientes costeros son puntos importantes de protección de la diversidad frente al cambio climático.

2.3.2. Susceptibilidad

Se puede definir como la incapacidad que tiene un área determinada de poder enfrentarse a eventos o efectos producidos por corrientes fuertes.

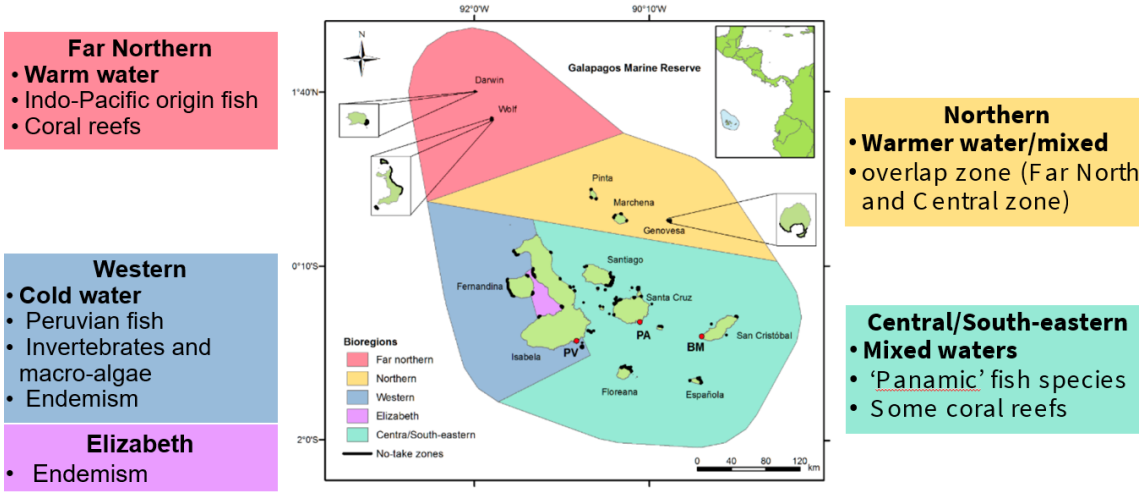
2.4. Bioregiones y Biodiversidad

La formación geológica, oceanográfica y climatológica de las islas son factor importante en cuanto a considerar análisis de biodiversidad, puesto que los hábitats marinos no son solo el reflejo de las condiciones oceanográficas que influyen el archipiélago, sino

también aspectos como la variabilidad interanual, las comunidades de especies responden a la estacionalidad asociada directamente con cambios en la temperatura del agua, salinidad, nutrientes, niveles de oxígeno y sedimentos aunados a procesos físicos como fuerza del viento, afloramientos, frentes oceanográficos y formación de remolinos y mezclas de mareas (Banks, 2002).

Razón por la que otros investigadores mediante censos visuales submareales en transectos longitudinales de 50 m. se obtuvieron patrones de riqueza específica de especies de organismos móviles y peces, donde se resalta la presencia más numerosa de especies de peces, resumiendo que las aguas costeras de la RMG se dividen en cinco regiones biogeográficas marinas ("Bioregiones") denominadas como 'Lejano norte', 'norte´, 'sureste', 'oeste' y 'Elizabeth' como se muestra en la Ilustración 9, regiones obtenidas mediante el análisis de técnicas multivariadas (Graham, 2002; Graham 2004ª, Moity, 2018).

Ilustración 9. Bioregiones y Biodiversidad



Fuente (Edgar, 2004b, citado en Banks, 2022)

2.5. Diversidad

Es el conjunto de seres vivos, la relación que mantienen con el sitio en el que habitan como con otras especies.

La Diversidad está dada por la riqueza y abundancia

- **Riqueza** (s): Número de especies en un área dado

- **Abundancia** (N, según el autor): Número de individuos de cada una de las especies.

2.6. Densidad Poblacional

Es el número de individuos por la unidad de espacio de estudio.

2.7. Distribución espacial

La distribución espacial es una de las propiedades más características de las especies, porque produce parámetros que las segregan y estos son expresiones poblacionales del comportamiento a nivel individual. Se le puede definir como el producto de la heterogeneidad ambiental y el crecimiento de la población y reproducción, actuando sobre procesos aleatorios y dirigidos de movimiento y mortalidad (Badii *et al*., 1994a, 1994b, Badii *et al.*, 2000).

2.8. Proyecciones y para que se pueden usar en Ciencias de la vida

Las proyecciones se refieren a la capacidad de predecir el comportamiento futuro una especie o su población, de manera que se pueda prever o favorecer dicha situación o comportamiento mediante la manipulación precisa de ciertos factores (toma de decisiones).

En lo que refiere a la Ciencia el rol de las proyecciones como resultado de modelos matemáticos basados en ecuaciones diferenciales ordinarias determina las condiciones o características que favorecen o perjudican una situación u organismo en el tiempo.

2.9. Herramientas de Modelamiento

Los modelos poblaciones son considerados como representaciones matemáticas o estadísticas, empleadas para analizar, describir y proyectar dinámicas relacionadas con poblaciones de organismos (desde bacterias, vertebrados, mamíferos hasta la población humana) en algunas disciplinas entre las cuales se destaca la biología, ecología, demografía entre otras.

Son la base de investigaciones para demógrafos, sociólogos, biólogos, economistas y expertos en la salud, dado que buscan comprender como cambian, interactúan y evolucionan a lo largo del tiempo tomando en cuenta factores determinantes como la reproducción, el crecimiento, la migración, y la mortalidad entre otros, es así que este tipo de soluciones propone responder a preguntas como ¿Cuál es la capacidad que puede soportar un ecosistema si tiene una población que está en constante crecimiento? en biología y ecología, ¿Cómo podría evolucionar la migración en el futuro? en demografía y ¿Cuál es la tasa extracción sostenible? en la gestión de recursos naturales.

Estos modelos en base al tratamiento de la aleatoriedad y probabilidad pueden ser determinísticos o estocásticos.

2.9.1. Modelos Determinísticos

Hace referencia a modelos en los que los resultados están completamente determinados por las condiciones iniciales y las reglas o leyes predefinidas y no incluye ninguna forma de aleatoriedad o probabilidad. Esto implica que, dadas las mismas condiciones iniciales, se producirán los mismos resultados.

2.9.2. Modelos Estocásticos

Son modelos que incluyen componentes aleatorios o impredecibles. En estos casos, no se pueden predecir los resultados exactos, solo se pueden establecer probabilidades de ocurrencia. Los modelos estocásticos consideran la variabilidad o probabilidad en los datos o procesos modelados, lo cual ofrece ser una mejor representación de los sistemas naturales.

Dada la naturaleza misma de las poblaciones y su crecimiento, los modelos poblacionales pueden ser continuos o discretos, para lo cual dado el enfoque de una sola especie se presentan los siguientes:

2.9.3. Modelos Poblacionales Continuos

Estos modelos consideran el cambio que ocurre a cada instante en la dinámica de las poblaciones.

2.9.3.1. Crecimiento Exponencial

Este modelo matemático considera una población en la cual sus individuos se desarrollan independientemente unos de otros, en un ambiente sin ningún tipo de restricciones como por ejemplo el alimento, es decir su crecimiento es continuo al disponer de recursos

ilimitados y al no haber depredadores ya que no existe ninguna forma de competencia y tampoco migraciones. Este crecimiento poblacional está condicionado en base a nacimientos y muertes por lo tanto la tasa de crecimiento está dada como el número de nacimientos menos muertes.

Tal es el caso de microorganismos como bacterias cultivadas en laboratorio, ciertas especies de peces e insectos y algas entre otros que no están sometidos a ninguna restricción y donde se mantiene un ambiente ideal son ejemplos claros de crecimiento exponencial, por lo que la tasa de nacimientos resulta ser proporcional al número de organismo presentes.

Dado lo anterior, podemos decir, que en una población que tiene un tamaño x en un tiempo t y transcurrido un intervalo corto de tiempo *h* desde el tiempo *t* hasta el tiempo *(t + h),* el número de nacimientos se representa matemáticamente mediante la expresión (1)

$$bhx \tag{1}$$

y el número de muertes como

$$\mu hx \tag{2}$$

Donde *b* en la expresión (1) es la tasa de crecimiento per cápita y μ en la expresión (2) es la tasa de mortalidad per cápita. Para ambas expresiones (1) y (2), *h* es el intervalo de tiempo y *x* es la población inicial.

Es así que el cambio neto en el tamaño de la población desde un tiempo *t* hasta un tiempo *(t + h),* lo cual es *x(t+h) – x(t),* puede ser aproximado por *[(bh - μh)]x(t).* Donde el intervalo de tiempo *h* debe ser corto para asegurar que el tamaño de la población no cambie drásticamente, de manera que el número de nacimientos y muertes sean proporcional al tamaño de la población inicial *x(t).* Podemos tener entonces la ecuación (3) con igualad aproximada

$$x(t+h) - x(t) \approx [(bh - \mu h)]x(t) \tag{3}$$

Factorizando la parte derecha de ecuación mediante el factor común h tenemos la expresión (4)

$$x(t\ +h)-x(t)\ \approx\ (b-\mu)x(t)h \tag{4}$$

Dividiendo ambas partes para *h,* tenemos la expresión (5)

$$\frac{x(t\ +h)-x(t)}{h}\approx\ (b-\mu)x \tag{5}$$

Asumiendo que cuando $h\ \rightarrow 0$, la expresión (5) con igualdad, toma la forma de la siguiente ecuación diferencial Ordinaria (EDO) (6)

$$\frac{dx}{dt}=\ (b-\mu)x \tag{6}$$

Como la tasa de crecimiento está dada por la diferencia de los nacimientos y las muertes entonces tenemos la siguiente EDO (7) del modelo exponencial

$$\frac{dx}{dt}=rx \tag{7}$$

La EDO (7) tiene múltiples soluciones, pero en vista de que la forma más conveniente de imponer una condición que describa la dinámica poblacional de una población determinada es especificando el tamaño de la población inicial en el tiempo $t=0$ como $x(0)=\ x_0$, por tal razón definimos una solución (8) estableciendo x_0 como valor inicial.

$$\boldsymbol{x(t)=\ x0e^{rt}} \tag{8}$$

En la solución (8) para un valor de $r>0$ la población crece ilimitadamente cuanto $t\rightarrow\infty$, al contrario, cuando $r<0$ la población se aproxima a *0* cuanto $t\rightarrow\infty$.

Para cuando la cantidad de nacimientos sea nula $(b=0)$, la población se agota a una tasa μ, es así que el promedio de vida de un organismo de la población es $1/\mu$

En tanto que $b>0$, el número promedio de descendientes a lo largo de la vida de un organismo promedio es b/μ

A partir de la solución (8) es posible determinar la tasa de crecimiento cuando esta sea necesaria, mediante una seria de operaciones detalladas a continuación:

Intentamos despejar r de la ecuación (8):

$$x(t)/x0 = e^{rt} \tag{9}$$

Aplicamos logaritmo natural

$$ln\left(\frac{x(t)}{x0}\right) = ln\,(e^{rt}) \tag{10}$$

Resolvemos

$$ln\left(\frac{x(t)}{x0}\right) = rtln(e) \tag{11}$$

Entonces se aplica una propiedad fundamental de los logaritmos que indica que el logaritmo natural de *e* (base del logaritmo natural) elevado a una potencia es la potencia.

$$ln\left(\frac{x(t)}{x0}\right) = rt \tag{12}$$

Para finalizar y obtener la fórmula de la tasa de crecimiento

$$\frac{ln\left(\frac{x(t)}{x0}\right)}{t} = r \tag{13}$$

Si la población inicial es pequeña conviene usar un modelo estocástico dado que se debe considerar la probabilidad de que esta se extinga debido al azar, caso contrario de contar con una población grande una mejor compresión sobre la dinámica se lograría con un modelo determinístico.

2.9.3.2. Modelo Logístico

La mayoría de las poblaciones pueden presentar inicialmente un crecimiento exponencial lo que se puede considerar como un comportamiento temporal que se desacelera a medida que la población se acerca a la capacidad de carga del entorno, por lo cual está limitado a un tiempo que es determinado por la cantidad de alimento disponible, predación, entre otros factores; de modo que las tasas de crecimiento (r) total no son constantes en el tiempo ya que por lo general tienden a disminuir a medida que aumenta el tamaño de la población.

El modelo logístico es una ecuación diferencial que pretende explicar esta dinámica (crecimiento) compleja de manera cualitativa en poblaciones cuyos organismos la conforman plantas, animales o seres humanos, por ende, no se pueden aplicar un modelo exponencial dado que no toma en cuenta la competencia entre las especies y la estructura de edad (donde la tasa de mortalidad va a depender de la edad en lugar de la densidad de población, mientras que la tasa de natalidad puede depender del tamaño de la población adulta más que del tamaño total de la población).

Se debe considerar que este modelo es aplicable para el llamado crecimiento logístico de poblaciones que crecen inicialmente de manera rápida con una fuente de presión constante, misma que puede volverse tan numerosa que pierden su capacidad de crecer, alcanzando entonces su estado de equilibro.

Según Brauer (2012), la tasa de crecimiento per cápita está dada por: $x'(t)/x(t)$ que suponemos es una función de x(t). En comparación con el modelo exponencial en cual la tasa de crecimiento total era proporcional al tamaño de la población (un modelo lineal), es decir una tasa de crecimiento per cápita constante, en el modelo logístico se consideran las tasas de crecimiento total que disminuyen a medida que aumenta el tamaño de la población (p. 8).

Brauer considera que el modelo de población más simple en el que la tasa de crecimiento per cápita es una función decreciente del tamaño de la población es $\lambda - ax$. Esta suposición conduce a la siguiente ecuación diferencial logística:

$$x' = x(\lambda - ax) \tag{14}$$

Este modelo, también llamado como la ecuación logística es una ecuación diferencial ordinaria (EDO) propuesto inicialmente por Pierre François Verhulst en 1838 y posteriormente estudiado por R. Pearl y L. J. Reed en 1920 la cual describe el crecimiento

de una población en un ambiente con recursos limitados, considerando la capacidad de carga del entorno. La ecuación modela la tasa de cambio o variación de una población con respecto al tiempo y a la población misma teniendo en cuenta la capacidad de carga del entorno y se expresa comúnmente como:

$$\frac{dx}{dt} = rx\left(1 - \frac{x}{K}\right) \tag{15}$$

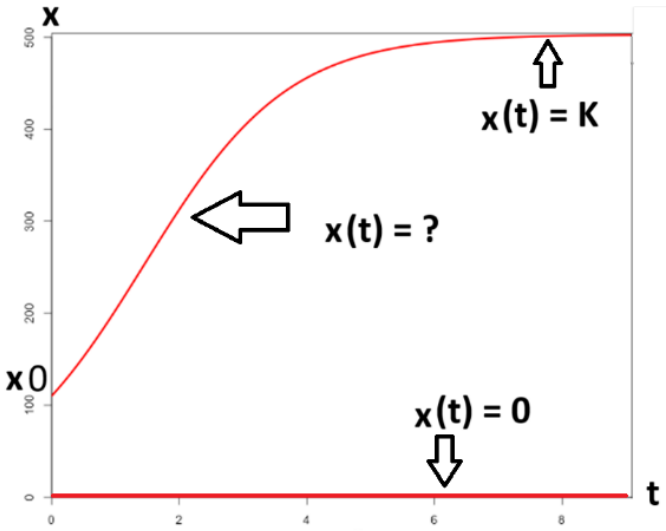
Donde, según Brauer:

- *dx/dt* es la derivada de x con respecto a *t* (otra notación puede ser x') y se la conoce como la tasa de cambio (crecimiento) de la población *x* respecto al tiempo *t* (p. 8).
- *x* es el tamaño de la población en un momento dado (p. 8).
- *K* es la capacidad de carga que puede soportar el ecosistema, es decir el tamaño de población que los recursos disponibles del entorno pueden mantener de forma sostenible (p. 9).
- *r* es la tasa intrínseca de crecimiento de la población, representa la tasa de crecimiento per cápita lograda si el tamaño de la población fuera lo suficientemente pequeño como para garantizar limitaciones de recursos insignificantes (p. 9).

La EDO requiere de valores *r* y *K* positivos para conseguir un significado biológico.

La Ilustración 10 presenta la gráfica de la curva logística que al inicio muestra un crecimiento exponencial y se ve alterada por la densidad poblacional a medida que esta crece, dicho de otra manera, en algún punto intermedio x0 por debajo de K y donde t es igual 0, se obtiene una fracción pequeña cerca de 1 por lo que la tasa de cambio será casi proporcional a N. A medida que x aumenta la tasa de cambio aumenta, en tanto que x se acerca a K se obtendría un valor cercano 1 y la tasa de cambio se acercaría a 0 formándose una asíntota hacia K.

Ilustración 10. Representación de la curva Logística



Fuente: Propia del autor

La resolución de la ecuación logística (50) permite calcular la población en cualquier momento t, de la manera $x(t) = ?$, para ello es necesario establecer valores iniciales como $x_0, K y\, r$.

Resolviendo las EDO Logística mediante una serie de operaciones como integrales, factorización y separación de variables, tomado de Prado (2023) basado en Brauer (2012)

Partimos definiendo a la ecuación logística como una ecuación diferencial separable en la cual se debe buscar una x de t que satisfaga la ecuación logística.

Iniciamos con la separación de variables.

$$\frac{dx}{dt}\frac{1}{x\left(1-\frac{x}{K}\right)} = r \tag{16}$$

Mediante la expansión de fracciones parciales se debe encontrar una expresión cuya integral sea fácil de encontrar. Por lo cual el denominador de 1 se expande en 2 fracciones a continuación.

$$\frac{A}{x}+\frac{B}{1-\frac{x}{K}}=\frac{1}{x\left(1-\frac{x}{K}\right)} \tag{17}$$

Para el lado izquierdo de la ecuación lo resolvemos mediante el mínimo común múltiplo.

$$\frac{A-\frac{Ax}{K}+Bx}{x\left(1-\frac{x}{K}\right)}=\frac{1}{x\left(1-\frac{x}{K}\right)} \tag{18}$$

Encontrando valores de A y B

$$A-\frac{Ax}{K}+Bx=1 \tag{19}$$

$$Bx=1-A+\frac{Ax}{K} \tag{20}$$

$$B=\frac{1-A+\frac{Ax}{K}}{x} \tag{21}$$

para **A = 1**, procedemos a buscar el valor correspondiente a B

$$B=\frac{1-1+\frac{1x}{K}}{x} \tag{22}$$

$$B=\frac{\frac{x}{K}}{x} \tag{23}$$

$$\boldsymbol{B=\frac{1}{K}} \tag{24}$$

Dado el paso anterior en el que realizamos la expansión de fracciones, reemplazamos la ecuación que hemos instanciado r al inicio.

$$\frac{dx}{dt}\left(\frac{A}{x}+\frac{B}{1-\frac{x}{K}}\right)=r \tag{25}$$

Reemplazamos para valores de A y B

$$\frac{dx}{dt}\left(\frac{1}{x}+\frac{\frac{1}{K}}{1-\frac{x}{K}}\right)=r \tag{26}$$

Recordando que la derivada de una constante es 0 se obtiene en el segundo término de la ecuación que el numerador es la derivada del denominador cuando el numerador cambia de signo. Es así que tenemos lo siguiente:

$$\frac{dx}{dt}\left(\frac{1}{x}-\frac{-\frac{1}{K}}{1-\frac{x}{K}}\right)=r \tag{27}$$

Como se conoce que la integral de $1/x$ es un logaritmo natural del valor absoluto de x, determinamos a continuación la derivada con respecto a x como:

$$\frac{d}{dx}\ln|x|=\frac{1}{x} \tag{28}$$

Ahora corresponde encontrar la derivada respecto a t del logaritmo natural del valor absoluto de x.

$$\frac{d}{dt}\ln|x|=\frac{1}{x}\frac{dx}{dt} \tag{29}$$

Resolviendo mediante integrales

$$\frac{d}{dx}\ln\left|1-\frac{x}{K}\right|=-\frac{1}{K}\frac{1}{1-\frac{x}{K}} \tag{30}$$

Resolviendo la derivada del segundo término respecto al tiempo t

$$\frac{d}{dt}\ln\left|1-\frac{x}{K}\right|=-\frac{1}{K}\frac{1}{1-\frac{x}{K}}\frac{dx}{dt} \tag{31}$$

En la ecuación tomamos la integral de cada fracción de la ecuación con respecto a t, por lo que a continuación se muestra la ecuación en términos de logaritmos sus valores respectivamente.

$$\ln|x| - \ln|1 - \frac{x}{K}| + C_1 = rt + C_2 \tag{32}$$

Asumiendo que 0 < x(t) < K, se mantiene una ecuación más clara

$$\ln(x) - \ln\left(1 - \frac{x}{K}\right) + C_1 = rt + C_2 \tag{33}$$

$$\ln(x) - \ln\left(1 - \frac{x}{K}\right) = rt + C_2 - C_1 \tag{34}$$

Ahora se usan las propiedades de logaritmos para reescribir el lado izquierdo de la ecuación.

$$\ln\left(\frac{x}{1 - \frac{x}{K}}\right) = rt + C \tag{35}$$

Para continuar con la resolución se puede aplicar e como base elevado a la potencia de ambos lados de la ecuación respectivamente. Para lo cual utilizando la propiedad de inversiones de funciones exponenciales y logarítmicas menciona que la base *e* con potencia logaritmo de algún valor el resultado es el valor. Para el lado derecho queda como base *e*.

$$\frac{x}{1 - \frac{x}{K}} = e^{rt+C} \tag{36}$$

$$\frac{x}{1 - \frac{x}{K}} = e^{rt}e^{C} \tag{37}$$

$$\frac{x}{1 - \frac{x}{K}} = Ce^{rt} \tag{38}$$

A continuación, se resuelve x. Se toma el reciproco de ambos lados.

$$\frac{1 - \frac{x}{K}}{x} = C_3e^{-rt} \tag{39}$$

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{K} = C_3e^{-rt} \tag{40}$$

$$\frac{1}{x} = C_3 e^{-rt} + \frac{1}{K} \tag{41}$$

Se resuelve mediante valores recíprocos para ambos lados de la ecuación. Se escribe en forma de Notación la función logística.

$$x(t) = \frac{1}{C_3 e^{-rt} + \frac{1}{K}} \tag{42}$$

Asumimos entonces $x(0)$ para averiguar la constante cuando $t = 0$.

$$x(0) = x_0 \tag{43}$$

$$x(0) = \frac{1}{C_3 + \frac{1}{K}} = x_0 \tag{44}$$

Nuevamente resolvemos por recíprocos ambos lados.

$$C_3 + \frac{1}{K} = \frac{1}{x_0} \tag{45}$$

$$C_3 = \frac{1}{x_0} - \frac{1}{K} \tag{46}$$

Sobrescribimos la función logística:

$$x(t) = \frac{1}{\left(\frac{1}{x_0} - \frac{1}{K}\right) e^{-rt} + \frac{1}{K}} \tag{47}$$

Resolviendo la operación aun faltante:

$$x(t) = \frac{1}{\left(\frac{K - x_0}{x_0 K}\right) e^{-rt} + \frac{1}{K}} \tag{48}$$

$$x(t) = \frac{1}{\frac{(K - x_0) e^{-rt} + x_0}{K x_o}} \tag{49}$$

Finalmente tenemos resuelto la función Logística.

$$\boldsymbol{x(t) = \frac{Kx_o}{(K - x_0)e^{-rt} + x_0}} \tag{50}$$

Esta ecuación (50) permite encontrar la solución para cada instante de tiempo *t*, de modo que si aplicamos diferentes tiempos $t = 1, t = 2, t = 3$ obtendríamos la población para cada momento, sim embargo en el presente estudio nos interesa conocer la población cuando $t \to \infty$ para comprender el comportamiento del sistema a largo plazo. A esta solución se la denomina como discretizada.

2.9.3.3. Modelos con Extracción

Los modelos con extracción son una categoría de modelos que consideran principalmente la explotación o extracción de recursos naturales de una población. Estos modelos se utilizan para comprender cómo la extracción de individuos de una población puede afectar su tamaño (mantenerse, aumentar o disminuir), estructura y dinámica a lo largo del tiempo. Pueden aplicarse a situaciones en las que se extraen recursos biológicos, como la pesca en poblaciones de peces como el atún, la caza de animales salvajes, la cosecha de plantas, entre otros.

El objetivo de estos modelos es entender cómo la extracción sostenible o insostenible de individuos de una población afecta su viabilidad a largo plazo, calculando el tamaño de la extracción que sería sustentable. Ayudan a predecir y evaluar los efectos de la extracción sobre la conservación de especies, la sostenibilidad de recursos naturales y el equilibrio de ecosistemas.

Estos modelos basados en extracción pueden ser de dos tipos:

- Modelos con Rendimiento Constante
- Modelos con Esfuerzo Constante

2.9.3.3.1. Modelos con Rendimiento Constante

El Modelo con Rendimiento Constante también conocido como de tasa constante asume que la tasa de rendimiento sostenible de una población (la cantidad de individuos que se puede extraer de la población en cada Período sin reducir su capacidad de recuperación) se mantiene con el tiempo.

Este modelo surge cuando se establecen políticas, acuerdos donde se determina una cuota de extracción por temporada.

Este modelo se basa principalmente en el coeficiente H que indica la cantidad de organismos (peces) que se extraen.

La ecuación diferencial básica está dada como:

$$x' = f(x) - h(t) \tag{51}$$

Dado que el modelo es de extracción constante de individuos, entonces podemos determinar que h(t) es va hacer una constante H:

$$x' = f(x) - H \tag{52}$$

Aplicando al modelo logístico de crecimiento (15), queda de la siguiente manera.

$$\boldsymbol{\frac{dx}{dt} = rx\left(1 - \frac{x}{K}\right) - H} \tag{53}$$

Se puede notar que el lado derecho de esta ecuación diferencial tiene la forma de una ecuación de segundo grado, de modo que la podemos representar de la siguiente forma.

$$\boldsymbol{\frac{dx}{dt} = x^2 - Kx + \frac{KH}{r}} \tag{54}$$

Para encontrar la solución de la ecuación (54) se realiza un análisis cualitativo. Este tipo de análisis lo que pretende es, realizar una estimación cuando $t \to \infty$ analizando la forma del lado derecho de la EDO.

2.9.3.3.1.1. Solución Cualitativa de la EDO

Como hemos visto la solución a la ecuacion logistica (15) resulto en la ecuacion (50), cuando incorporamos nuevos factores, como en el modelo con extracción (54), la solución a la EDO se vuelve cada vez más complicada. En estos casos recurrimos a un análisis cualitativo, el analisis cualitativo lo que busca encontrar hacia donde tiende la solución antes que la solución en t=2, t=3...

Una alternativa en la resolución de la EDO, es hacer un análisis cualitativo para buscar sus puntos de equilibrio.

Un punto de equilibrio se refiere a un punto en el dominio de la función solución donde la derivada es 0, es decir, donde la tasa de cambio de la función es nula, lo que indica que su solución no cambia.

En derivadas, decimos que la derivada representa la tasa de cambio instantánea de una función en un punto dado, dicho de otra manera, es la pendiente de la curva que representa la función en un punto dado.

Definimos un equilibrio de la ecuación diferencia como un valor denominado x_∞, tal que $f(x_\infty) = 0$, de modo que un equilibrio corresponde a una solución constante $x(t) = x_\infty$ de la EDO.

Si x(t) es una solución de una ecuación diferencial x' = f(x) que tiende a un límite de $t \to \infty$, entonces decimos que es un punto de equilibrio. De hecho, para una EDO, cada solución debe tener a un equilibrio cuando $t \to \infty$ o ser limitada o abierta, es decir no tiene límite.

Un punto de equilibrio puede ser estable o inestable, se la considera inestable cuando la segunda derivada > 0. Si el sistema sufre una alteración de sus condiciones iniciales por pequeño que este sea, entonces se alejará más y más de él (de ahí el nombre inestabilidad).

El punto de equilibrio es estable si la segunda derivada es < 0. La respuesta del sistema frente a cambios de las condiciones iniciales del punto de equilibrio es volver alrededor del punto de equilibrio.

Dado que la ecuación (54) presenta en el lado derecho una ecuación polinómica de la forma $ax^2 + bc + c = 0$ donde a, b y c son coeficientes y *x* es la variable, de modo que se la puede resolver mediante la fórmula general siguiente función para hallar sus raíces.

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{55}$$

Aplicando a la ecuación (54)

$$X_L = \frac{K + \sqrt{K^2 - 4HK}}{2} \tag{56}$$

$$X_U = \frac{K - \sqrt{K^2 - 4HK}}{2} \tag{57}$$

De esta ecuación podemos extraer algunas conclusiones, si se obtiene un valor negativo de una de o las dos raíces, entonces el modelo indicaría que la población es negativa, por lo que concluimos que el sistema a colapsado y la población se ha extinguido.

Si el valor que esta al interior de la raíz cuadrada es negativa, tendríamos una solución imaginaria, esto sucede si $H > \frac{rK}{4}$, por lo tanto, el modelo no sirve.

Para tener un valor real o no imaginario debería:

$$0 \leq H \leq \frac{rK}{4} \tag{58}$$

Al límite superior se llamará Hc, y es el valor critico de extracción:

$$H_c = \frac{rK}{4} \tag{59}$$

Cuando H aumenta al valor crítico $Hc = \frac{rK}{4}$, hay una discontinuidad en el comportamiento del sistema: los dos equilibrios se unen y se anulan entre sí.

Si trazamos la curva de la f(x) y la recta $y = Hc$, veremos que el máximo rendimiento se logra en el valor max($f(x)$), pasado ese punto, la curva $f(x)$ empieza a descender lo que indica que su derivada se vuelve negativa y su población tiende a bajar.

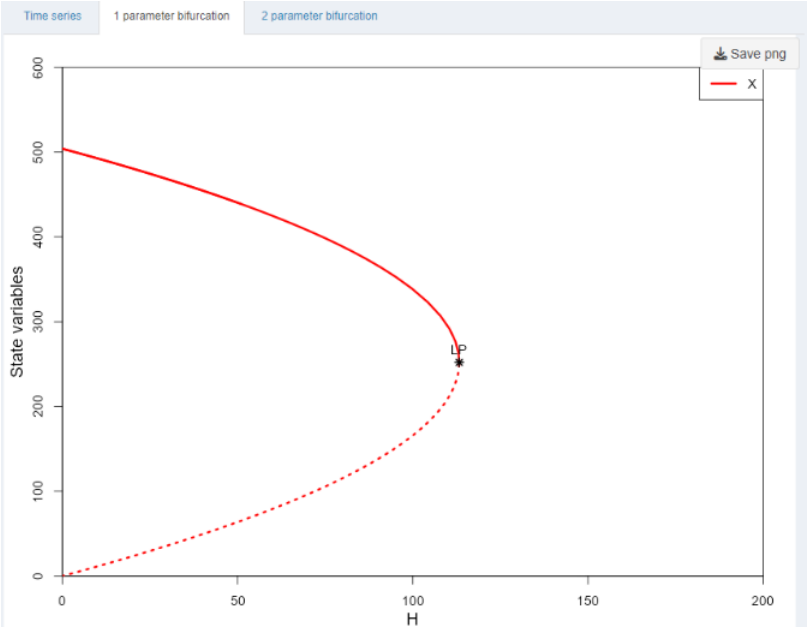
2.9.3.3.1.2. Diagrama de Bifurcación

Los parámetros **r**, **K**, y **H** son valores estimados, es decir habría una solución para un **r** más pequeño y otro para un **r** más grande, similar situación ocurre con **H**. La utilidad de lo diagramas de bifurcación está justamente en modelar la solución de la EDO basado en un parámetro dado pudiendo alterar estos valores para descubrir la dinámica de la población en estudio.

Este tipo de diagrama es fundamental en el contexto de sistemas dinámicos y ecuaciones diferenciales, pues representa gráficamente el comportamiento de una población ***x*** frente a parámetros como la extracción **H**.

En este diagrama es importante notar que la línea llena muestra una solución real, mientras que la línea punteada una solución inestable que no se va a mantener en el tiempo, o dicho de otra manera imaginaria lo cual no tiene un significado biológico, como lo muestra la Ilustración 11.

Ilustración 11. Diagrama de Bifurcación



Fuente: Propia del autor

Dependiendo de la EDO que se trata de solucionar se pueden presentar distintos tipos de puntos de bifurcación. Pero para la EDO de población con extracción el que más nos interesa son los puntos de bifurcación LP también conocidos como nodos de silla.

Independientemente de una estimación de **H** inicial, este modelo determina para distintas **H** una población **x**, a medida que incremente **H** la población va a disminuir hasta llegar al punto de Bifurcación (LP) para ese momento se considera que se tiene entonces la mínima población, por lo tanto, pasado este punto se puede considerar que se tiene una especie en peligro de extinción.

2.9.3.3.1.3. Punto de Bifurcación (LP)

También llamado punto crítico en un sistema dinámico donde ocurren cambios (cualitativos) en el comportamiento de las soluciones a medida que sus parámetros

cambian. Estos cambios en el contexto extractivo incluyen la aparición o extinción de especies.

Este punto de bifurcación es determinante en la toma decisiones porque ayuda a limitar la extracción a sus valores.

2.9.3.3.2. Modelos con Esfuerzo Constante

Este tipo modelo de extracción que deriva del modelo logístico se llama de recolección proporcional o de esfuerzo constante. Se implementa en sistemas dinámicos con extracciones, donde se supone que **x**, el número de individuos capturados por unidad de tiempo, es proporcional a **E**, el esfuerzo realizado en la extracción.

Este esfuerzo de extracción (E) puede medirse, por ejemplo, por el número de embarcaciones o por el número de personas que pescan en un momento dado.

La importancia y necesidad de este modelo surge dada la situación en la cual tenemos una población de peces que está disminuyendo y se cuenta con una determinada cantidad de embarcaciones, es poco realista que esta misma cantidad de embarcaciones puedan mantenerse capturando una cantidad constante H de peces por ciclo.

La ecuación diferencial básica está dada por:

$$x' = f(x) - h(t) \tag{60}$$

Dado que la extracción es proporcional a x nuestra fórmula se convertirá en la siguiente:

$$x' = f(x) - Ex \tag{61}$$

Aplicando al modelo logístico de crecimiento, queda de la siguiente manera.

$$\boldsymbol{\frac{dx}{dt} = rx\left(1 - \frac{x}{K}\right) - Ex} \tag{62}$$

Para la solución de la ecuación (62) recurriremos nuevamente a un método cualitativo, se puede notar que el lado derecho de esta ecuación diferencial tiene la forma de una ecuación de segundo grado, por lo que tomará la forma de una parábola como se muestra en la Ilustración 12.

El esfuerzo constante en la ecuación está dado por una función simple de x que representa un porcentaje de la población x mediante un coeficiente escalar E, esta función indica la cantidad que se está extrayendo por cada Período.

Si bien se podría resolver la EDO para calcular la población en un momento **t** dado, el objetivo de este modelo es encontrar un punto de equilibrio entre la extracción y la sostenibilidad.

Establecida una vez la EDO de esfuerzo constante se necesita determinar los puntos donde la derivada es 0 indicando que no habría ningún cambio. Para ello resolvemos el lado derecho de la EDO

De la ecuación de segundo grado es fácil deducir que la misma tiene dos soluciones:

$$x = 0 \tag{63}$$

$$K(r - E)/r \tag{64}$$

Entonces es fácil ver que la condición de E sería:

$$0 \leq E \leq r \tag{65}$$

A medida que el esfuerzo aumenta de cero a r, el equilibrio disminuye de K a 0.

Para un esfuerzo dado E el rendimiento de la pesca sería:

$$KE - KE^2/r \tag{66}$$

Este rendimiento alcanza un valor máximo de E = r/2, con x∞(E) = K/2;

$$rK/4 \tag{67}$$

Aumentar el esfuerzo más allá de $r/2$ es contraproducente porque disminuye el rendimiento como habíamos anticipado.

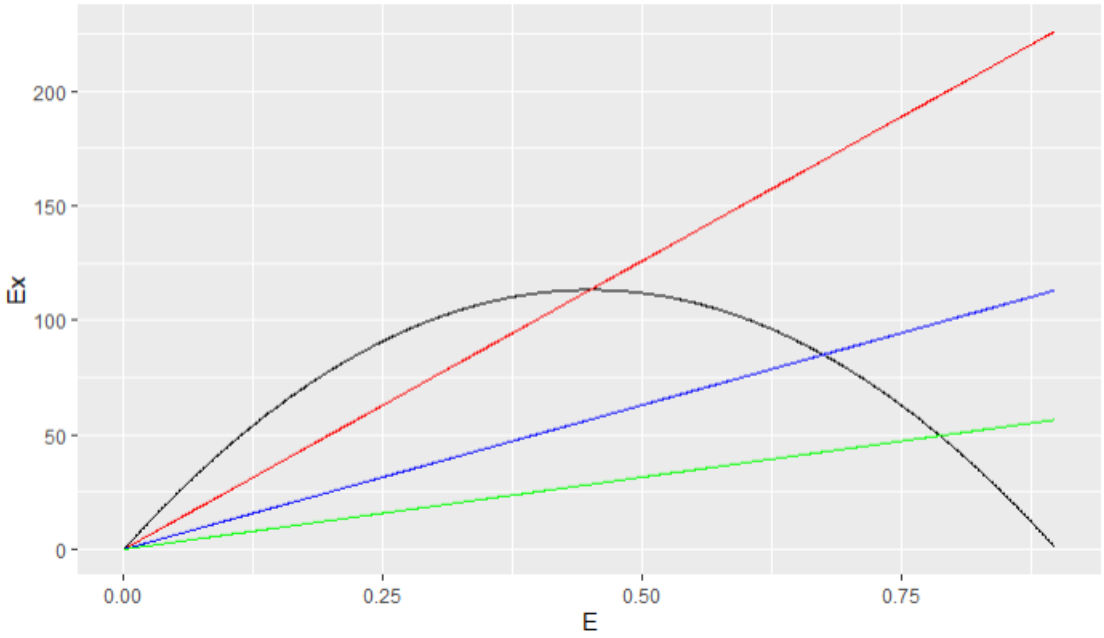
Para aclarar el resultado de este modelo podemos trazar una curva de rendimiento-esfuerzo.

La curva denominada de rendimiento-esfuerzo es el grafico de rendimiento frente al esfuerzo.

La parábola representa la función cuadrática del modelo y la intersección de esta con la línea $Y = Emax * K$ nos indica el valor óptimo del esfuerzo, denominado máximo esfuerzo sostenible, esto es, el esfuerzo que produce una pesca máxima.

El seguir incrementando el esfuerzo hace que el rendimiento lleva a un punto en el cual los réditos son nulos.

Ilustración 12. Curva de rendimiento vs Esfuerzo



Fuente: Propia del autor

CAPÍTULO III

3. Marco Metodológico

3.1. Materiales y Herramientas

3.1.1. Datos biológicos

Datasets del Monitoreo de sitios marinos costeros de las Islas Galápagos (Datos - FCD

1. **Fuente de los Datos**

   Registros Anuales en Hojas Cálculo (Excel) por grupos de monitoreo (macro, sésiles, peces) contenidas en hardware del grupo de Investigaciones Marinas.

   Para el acceso se requiere un consentimiento informado y haber firmado un acuerdo de Confidencialidad para único uso en la presente Investigación.

2. **Estructura de los Datos**

   Contiene información como: Fechas, Información de Sitio, Coordenadas, Especies, # individuos, Profundidad de muestreo (6m y 15 m), Tipo de Uso del Sitio (Turismo, pesca, conservación) y de taxonomía de la Especie.

3. **Grupos de Muestreo**

   Las observaciones se enfocan en 3 grandes grupos como son:

   - **Peces**
   - **Macro-invertebrados**
   - **Sésiles** (organismos adheridos a un sustrato).

4. **Método de Muestreo en los Datos**

   Para cada grupo el método de muestreo es diferente, se enfoca en hábitats de arrecife rocoso submareal dominante >80%, a profundidades inferiores a 40m, ya que este rango concentra la mayor interacción de usuarios de la RMG, se describe un breve resumen de la metodología, tomado de Banks et al (2014):

   - **Peces**

     El monitoreo de peces requiere de un mayor énfasis en la estimación visual de la abundancia y diversidad de individuos. El área monitoreada forma un túnel imaginario de 50m de largo y 5m a cada lado de la cinta y 5m por

encima del fondo marino dentro del cual se registran y cuentan las especies de peces presentes y a la par se registran estimaciones de talla.

- **Macro-Inverterbrados móviles**

  Efectúa la medición simultánea de abundancia y talla de varias especies a la vez, incluyendo especies comerciales y no comerciales. Se efectúan 20 sub cuadrantes de 1m por 5m ubicados a lo largo de una cinta de 50 m de longitud sobre el substrato.

- **Sésiles**

  Se determina el grado de uso del sustrato por medio del porcentaje de cobertura, en cuadrantes de PVC, cubren 0.25 m2 (50x 50 cm por lado cuadrado) divididos por una rejilla con 81 puntos de intersección.

Observaciones desde el año 2004 hasta el 2022 con excepción del año 2015 que no se realizó monitoreo.

3.1.2. MariaDB

Es un Sistema de Gestión de base de datos (DBMS) relacionales que se distribuye de forma gratuita y es de código abierto, desarrollado a partir de un fork de MYSQL en el 2009 y que permite la organización e integración de los diferentes conjuntos de datos asociados al programa MES, para ello se realizó la importación de las hojas de cálculo y se definieron las relaciones entre las diferentes entidades.

3.1.3. HeidiSQL

Es un IDE multiplataforma para la gestión de los datos alojados en el DBMS el cual permite trabajar en la homologación y estandarización de valores de tipo fecha y actualización de conceptos como sinonimia en especies.

Mediante lenguajes SQL se generó la matriz principal base para el presente trabajo de investigación.

3.1.4. R

Lenguaje de Programación de código abierto que permite realizar una estadística descriptiva de las características de los datos haciendo uso de múltiples librerías no solo para el análisis estadístico sino también para la representación gráfica.

3.1.5. RStudio

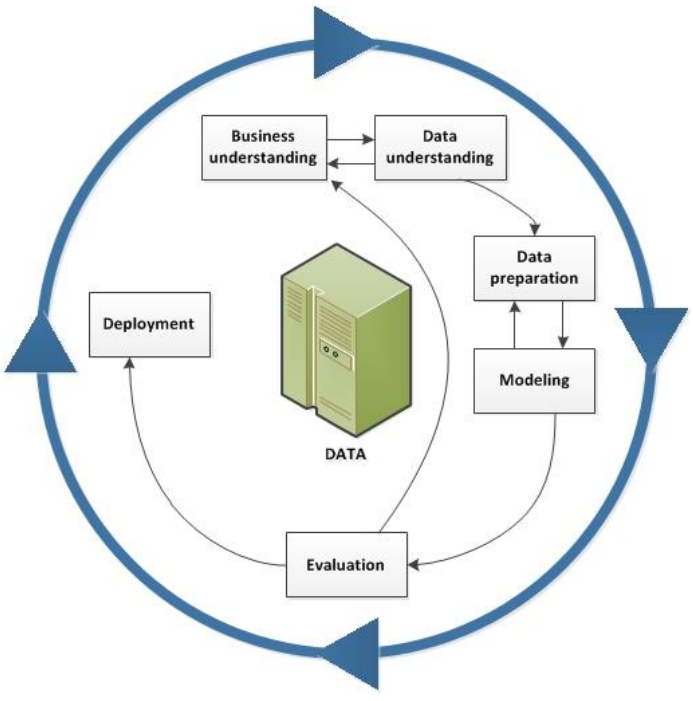
Es un entorno de desarrollo Integrado (IDE) para el lenguaje R que proporciona una interfaz gráfica amigable que facilita el uso de R en:

- **Análisis de Datos**: Se realiza inicialmente una estadística descriptiva de los datos del programa MES.
- **Creación de Visualizaciones**: Se logra tener una mejor apreciación de los datos mediante representaciones como diagrama de barras, puntos y mapas.
- **Desarrollo de proyectos relacionados con la Estadística y la Ciencia de Datos**: RStudio es fundamental en el presente trabajo de Investigación donde se desarrollará todo el análisis, despliegue y evaluación del Modelo Logístico propuesto para dar solución al presente trabajo de investigación.

3.2. Metodología CRISP-DM

Cuyo acrónimo refiere a "Cross-Industry Standard Process for Data Mining" es un método estándar ampliamente utilizado en proyectos de minería y de aprendizaje automático que está compuesto de fases para el desarrollo de soluciones basados en datos, como se muestra en la Ilustración 13.

Ilustración 13. Ciclo de vida de la Metodología CRISP-DM



Fuente (IBM, 2023)

CRISP-DM como marco estándar ampliamente aceptado para Minería de Datos y el proceso de descubrimiento de conocimiento en los datos, proporciona una guía estructurada y un conjunto de etapas dividiendo al proyecto en fases manejables y definidas. Dada su flexibilidad permite ser adaptable a una variedad de proyectos y sectores razón por la cual el presente trabajo de investigación hace uso de la misma.

3.2.1. Comprensión del Negocio

Esta fase permite alinear los objetivos del proyecto con los objetivos del negocio, determinando los objetivos del negocio.

El programa MES de la FCD es un proyecto a largo plazo que se ha llevado a cabo durante varias décadas estableciendo una línea de base de la RMG. Fue desarrollado para proporcionar a la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG) una descripción completa de esta comunidad y proporcionar información sobre la dinámica y magnitud de las fluctuaciones de esta biota a través del espacio y tiempo, incorporando efectos naturales y antropogénicos como el cambio climático.

La escala a largo plazo del programa MES en Galápagos, ha permitido el reconocimiento de patrones y procesos que son de fundamental importancia en los ecosistemas costero-marinos.

Al observar la condición ecológica submareal se ilustrarían las amenazas y riesgos actuales a los que están más expuestos estos ecosistemas, y los mecanismos para mitigarlos/minimizarlos.

3.2.2. Comprensión de los datos

Previo a la comprensión del negocio se necesita conocer los datos que maneja mediante tareas exploratorias, tanto su estructura como distribución siendo capaz de determinar la calidad de esta.

Esta fase de comprensión de los datos abarca actividades como: recolección, análisis, interpretación y limpieza de datos que han sido obtenidos para el presente trabajo.

3.2.2.1. Recolección inicial de los datos

3.2.2.1.1. Dataset de monitoreo de Peces programa MES – FCD (2004-2022)

Es una matriz compuesta por 118 columnas y 74640 filas (registros) en la cual se han registrado las salidas de campo realizadas desde el año 2004 al 2022 como se muestra en la Tabla 4.

Es administrado mediante la herramienta de Office, Microsoft Excell.

Tabla 4. Dataset de monitoreos de Peces programa MES – FCD

	Transect cod		TransCode_Co	d	Tcode_SpID_Corr	Dive_Dat	Yea	Seas	Dia	Va		te (	Site	General	Isla
2	DA02D141004A		DA02D141004A	DA(	DA02D141004A-AcaNig	10/14/2004	2004	Cool	Yes		Yes	DA02	DA02-Darwin Fondeadero Su	Darwin Fo	Darw
3	DA02D141004A		DA02D141004A	DA(	DA02D141004A-AcaNig	10/14/2004	2004	Cool	Yes		Yes	DA02	DA02-Darwin Fondeadero Su	Darwin Fo	Darw
4	DA02D141004A		DA02D141004A	DA(	DA02D141004A-AroMel	10/14/2004	2004	Cool	Yes		Yes	DA02	DA02-Darwin Fondeadero Su	Darwin Fo	Darw
5	DA02D141004A		DA02D141004A	DA(	DA02D141004A-AroMel	10/14/2004	2004	Cool	Yes		Yes	DA02	DA02-Darwin Fondeadero Su	Darwin Fo	Darw
6	DA02D141004A		DA02D141004A	DA(	DA02D141004A-CirOxy	10/14/2004	2004	Cool	Yes		Yes	DA02	DA02-Darwin Fondeadero Su	Darwin Fo	Darw
7	DA02D141004A		DA02D141004A	DA(	DA02D141004A-CirRiv	10/14/2004	2004	Cool	Yes		Yes	DA02	DA02-Darwin Fondeadero Su	Darwin Fo	Darw
8	DA02D141004A		DA02D141004A	DA(	DA02D141004A-CirRiv	10/14/2004	2004	Cool	Yes		Yes	DA02	DA02-Darwin Fondeadero Su	Darwin Fo	Darw
9	DA02D141004A		DA02D141004A	DA(	DA02D141004A-DerDer	10/14/2004	2004	Cool	Yes		Yes	DA02	DA02-Darwin Fondeadero Su	Darwin Fo	Darw
10	DA02D141004A		DA02D141004A	DA(	DA02D141004A-EpiLab	10/14/2004	2004	Cool	Yes		Yes	DA02	DA02-Darwin Fondeadero Su	Darwin Fo	Darw

Fuente (MES - FCD, 2022)

3.2.2.1.2. Listado de Captura (en libras) anual y promedio de los últimos cuatro años (2017-2020) de especies pesqueras en Galápagos.

En el año 2022 el Proyecto de Pesquerías de la FCD realizó una Evaluación integral de las pesquerías de pequeña escala de Galápagos para lo cual generó un resumen de información sobre las extracciones en libras realizadas durante el Período 2017-2020 como se muestra en la Tabla 5, mismo que será necesario para realizar un análisis con enfoque extractivo.

Tabla 5. Listado de Captura (en libras) anual y promedio de los últimos cuatro años (2017-2020) de especies pesqueras en Galápagos

Anexos

Anexo 1. Captura (en libras) anual y promedio de los últimos cuatro años (2017-2020) de especies pesqueras en Galápagos. Fuente: Certificados de Monitoreo de la Dirección del Parque Nacional Galápagos.

Nombre comúnn	Especie	Pesquería	2017	2018	2019	2020	Promedio
ALBACORA - ATUN DE ALETA AMARILLA	*Thunnus albacares*	Pesca de altura	518,474	537,306	197,299	365,179	404,564
LANGOSTA ROJA	*Panulirus penicillatus*	Langosta espinosa	294,419	199,855	320,370	181,831	249,119
PEZ ESPADA	*Xiphias gladius*	Pesca de altura	81,164	96,078	62,954	322,038	140,558
BACALAO	*Mycteroperca olfax*	Pesca blanca	110,419	146,784	76,211	75,472	102,221
BRUJO SP/BRUJO MOTEADO	*Pontinus clemensi*	Pesca blanca	63,535	95,189	102,131	32,667	73,381
LANGOSTA VERDE	*Panulirus gracilis*	Langosta espinosa	70,365	50,639	56,775	59,251	59,257
MERO SP/MERO DE PROFUNDIDAD	*Hyporthodus mystacinus*	Pesca blanca	72,398	71,410	43,583	28,808	54,050
CAMOTILLO	*Paralabrax albomaculatus*	Pesca blanca	50,771	92,431	43,625	28,138	53,741
LISA RABO AMARILLO/LISA GALAPAGOS	*Mugil galapagensis*	Pesca blanca	34,673	46,829	69,770	4,700	38,993
LANGOSTINO	*Scyllarides astori*	Langostino	18,853	30,337	45,981	14,064	27,309
BLANQUILLO	*Caulolatilus princeps*	Pesca blanca	29,110	34,548	26,335	9,263	24,814
GUAJO - WAHOO	*Acanthocybium solandri*	Pesca de altura	18,861	30,089	19,426	28,390	24,191
VIEJA MANCHADA DORADA	*Semicossyphus darwinii*	Pesca blanca	27,652	26,990	20,143	9,215	21,000
LISA RABO NEGRO	*Xenomugil thoburni*	Pesca blanca	30,675	1,850	38,653	2,250	18,357
PALOMETA/ALMACO	*Seriola rivoliana*						

Fuente (DPNG, 2022, citado en Ramírez-González, 2022)

Esta matriz está compuesta de 57 especies pesqueras que pertenecen a categorías como pesca blanca, pesca de altura, langosta espinosa, langostino, y recursos menores. De la cual para el presente trabajo ocuparemos aquellos de pesca blanca (especies demersales).

3.2.2.1.3. Listado de Especies pesqueras de interés comercial en la Reserva Marina de Galápagos (DPNG)

En la resolución N° 0000062, emitida en el año 2011 por la DPNG, se establecen las reglas para el manejo de la pesquería de peces pelágicos (grandes y pequeños), peces demersales y moluscos para lo cual se elaboró una tabla de 71 especies de interés comercial como se muestra en la Tabla 6.

Esta matriz fue necesaria para identificar en el Dataset del programa MES todas las especies que son de uso extractivo.

Tabla 6. Listado de Especies pesqueras de interés comercial en la Reserva Marina de Galápagos

ANEXO I
LISTADO DE ESPECIES PESQUERAS DE INTERES COMERCIAL EN LA RESERVA MARINA DE GALÁPAGOS

PECES DEMERSALES	
NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO
Bacalao	*Mycteroperca olfax*
Blanquillo	*Caulolatilus princeps*
Brujo	*Pontinus clemensi*
Brujo de piedra	*Scorpaena mystes*
Cabezudo	*Caulolatilus affinis*
Cabrilla	*Epinephelus labriformis*
Cabrilla	*Alphestes immaculatus*
Cagaleche	*Dermatolepis dermatolepis*
Camiseta rayada	*Archosargus pourtalesii*
Camotillo	*Paralabrax albomaculatus*
Carabalí	*Cirhitus rivulatus*
Chivo	*Mulloidichthys dentatus*
Enjambre	*Cephalopholis panamensis*
Gringo	*Paranthias colonus*
Loro barba azul	*Scarus ghobban*
Mojarra peruana	*Diapterus peruvianus*
Mojarra rayada	*Gerres cinereus*
Mero	*Epinephelus mystacinus*
Mero orillero	*Epinephelus analogus*
Norteño	*Epinephelus cifuentesi*
Ojo de uva	*Hemilutjanus macrophthalmos*
Pámpano de hebra	*Alectis ciliaris*
Pargo	*Lutjanus jordani*

PECES PELÁGICOS PEQUEÑOS	
NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO
Bonito sierra	*Sarda orientalis*
Botellita	*Auxis rochei*
Burro	*Seriolella violacea*
Caballita, jurel verde	*Caranx caballus*
Diabla	*Chanos chanos*
Jurel negro	*Caranx lugubris*
Jurel ojón	*Caranx sexfasciatus*
Jurel, burro	*Caranx caninus*
Lisa rabo amarillo	*Mugil galapagensis*
Lisa rabo negro	*Xenomugil thoburni*
Morenillo, macarela	*Scomber japonicus*
Ojón blanco	*Xenichthys agassizii*
Ojón rayado	*Xenocys jessiae*
Palometa - Huayaipe	*Seriola rivoliana*
Palometa - Huayaipe	*Seriola peruana*
Pámpano acerado	*Trachinotus stilbe*
Picuda	*Sphyraena idiastes*
Róbalo	*Centropomus viridis*
Sardina	*Opisthonema berlangai*
Sierra	*Scomberomorus sierra*

PECES PELÁGICOS GRANDES	
NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO

Fuente (DPNG, 2011)

3.2.2.1.4. Listado de Episodios fríos y cálidos por temporada

Según la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica NOAA (2023), el Índice Niño Oceánico (ONI) también como Índice Oscilación del Sur es una medida específica para monitorear, evaluar y predecir el El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y sus fases: cálida (El Niño - Rojo) y fría (La Niña - Azul) en el Pacífico ecuatorial y es

calculado a partir de la media móvil de tres meses de anomalías de temperatura superficial del Mar (SST) como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Listado de Episodios fríos y cálidos por temporada

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.5			

Fuente (NOAA, 2022)

3.2.2.1.5. Listado de especies consideradas y sus características ecológicas

Las características ecológicas de las especies son muy variadas, muchas se encuentran adaptadas a condiciones ambientales específicas. Estas pueden considerarse desde hábitat, nicho ecológico, hábitos alimenticios, reproducción e interacciones ecosistemas.

La tabla 8, resume algunas características ecológicas importantes que serán consideradas en el análisis.

Tabla 8. Listado de especies consideradas y sus características ecológicas

	specie name	functional group	origin	max. length	trophic level	range_preferred_temp	is extractive
1	Abudefduf troschelii	Diurnal zooplanktivores	Native	22 TL	3	WM	0
2	Alphestes immaculatus	Demersal Piscivores	Native	30 TL	3.5	TM	1
3	Anisotremus scapularis	Medium invertivores	Native	40 TL	3.7	TL	0
4	Apogon atradorsatus	Nocturnal zooplanktivores	Native	11 TL	3.5	WM	0
5	Azurina atrilobata	Diurnal zooplanktivores	Native	13.4 TL	3.4	TM	0
6	Bodianus diplotaenia	Hard Invertivores	Native	76 TL	3.4	TM	1
7	Calamus taurinus	Medium invertivores	Native	40 TL	3.3	CM	1
8	Canthigaster punctatissima	Medium invertivores	Native	9 TL	3.1	WL	0
9	Cephalopholis colonus	Demersal Piscivores	No data	36 TL	3.8		1
10	Chaetodon humeralis	Soft invertivores	Native	26 TL	2.7	CH	0
11	Cirrhitichthys oxycephalus	Demersal Piscivores	Native	10 TL	4	WL	0
12	Coryphopterus urospilus	Medium invertivores	Native	7 TL	3.5	TM	0
13	Dermatolepis dermatolepis	Demersal Piscivores	Native	100 TL	4.5	WL	1
14	Girella freminvillii	Browsers	Endemic	45 TL	2	TL	0
15	Gobioclinus dendriticus	Carnivore	Native	13 TL	4	WL	0
16	Halichoeres nicholsi	Medium invertivores	Native	38 TL	4	TM	0
17	Holacanthus passer	Soft invertivores	Native	36 TL	2.6	WM	0
18	Johnrandallia nigrirostris	Soft invertivores	Native	20 TL	3	CH	0
19	Melichthys niger	Diurnal zooplanktivores	Native	50 TL	2.4	WL	0
20	Mulloidichthys dentatus	Medium invertivores	Native	31 TL	3.7	TM	1
21	Mycteroperca olfax	Demersal Piscivores	Native	120 TL	4.5	FM	1
22	Ophioblennius steindachneri	Browsers	Native	22 TL	2.7	TM	0
23	Prionurus laticlavius	Scrapers	Native	32 TL	2.7	CH	0
24	Scarus ghobban	Excavators	Native	90 TL	2	WL	1
25	Scarus rubroviolaceus	Excavators	Native	70 TL	2	WL	0
26	Sphoeroides annulatus	Hard Invertivores	Native	44 TL	3.1	CH	0
27	Stegastes arcifrons	Browsers	Native	16 TL	3	WL	0
28	Stegastes beebei	Browsers	Native	15 SL	3	WL	0
29	Thalassoma lucasanum	Diurnal zooplanktivores	Native	15 TL	3.5	TM	0

Fuente: Propia del autor

3.2.2.2. Integración, Homologación, Estandarización y Actualización de los datos

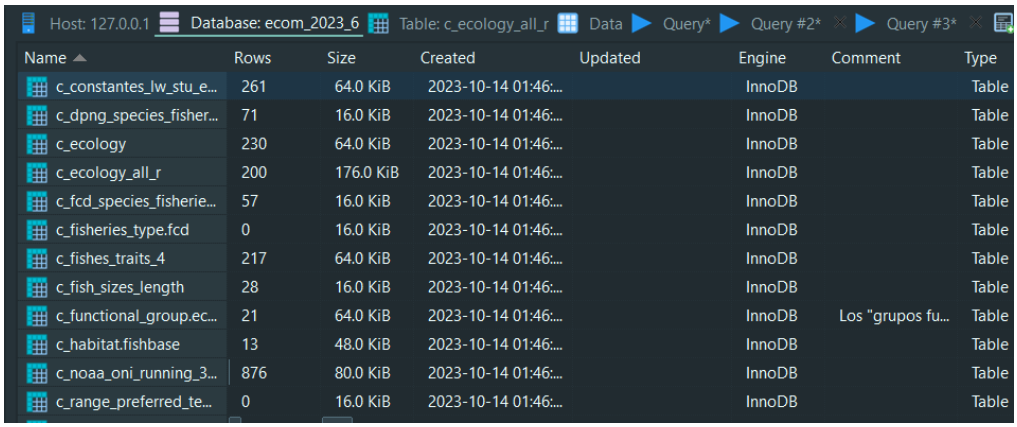
Previa a la recolección de información y después de algunas conversaciones con el equipo del programa MES se determina que existen algunos problemas respecto a la estructura e información del dataset principal como, por ejemplo:

- Redundancia de la información (columnas).
- Información incompleta, duplicada respecto a los buceos.
- Pares de columnas dependientes con inconsistentes.
- Nomenclatura científica (nombres especies) desactualizada.
- Sumatoria errónea de los individuos por talla.
- El formato de fecha inconsistente.
- Estimación incorrecta de las constantes para determinar el peso de los individuos.

Además, la matriz de "Sitios" a partir del cual se necesita extraer las coordenadas y otras columnas importantes como la Biorregión se encuentra en una hoja aparte, similar situación ocurre con los datasets de pesquerías y de la DPNG sobre las especies pesqueras, por lo que se inicia con la importación a un esquema de base de datos relacional, como

se muestra en la Ilustración 14, para establecer todas las conexiones y eliminar la redundancia de información de manera que se pueda conseguir una única matriz.

Ilustración 14. Esquema de tablas convertidas a partir de Datasets individuales



Name	Rows	Size	Created	Updated	Engine	Comment	Type
c_constantes_lw_stu_e...	261	64.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_dpng_species_fisher...	71	16.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_ecology	230	64.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_ecology_all_r	200	176.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_fcd_species_fisherie...	57	16.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_fisheries_type.fcd	0	16.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_fishes_traits_4	217	64.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_fish_sizes_length	28	16.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_functional_group.ec...	21	64.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB	Los "grupos fu...	Table
c_habitat.fishbase	13	48.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_noaa_oni_running_3...	876	80.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table
c_range_preferred_te...	0	16.0 KiB	2023-10-14 01:46:...		InnoDB		Table

Fuente: Propia del autor

Mediante técnicas de WebScrapping se logró extraer información ecológica para una mejor comprensión de los datos y las constantes a y b que son específicas de cada especie, estas constantes sirven para determinar el peso de un pez mediante una relación talla (longitud) y peso usando una ecuación alométrica (también conocida como de crecimiento) que en el caso de Fishbase hacen uso de una denominada Ecuación de Fulton, misma que se usó en el presente trabajo para corregir inconsistencias en la data principal.

La ecuación de Fulton se expresa de la siguiente forma:

$$W = a.L^b \tag{68}$$

Donde:

- W = Peso
- L = Longitud Media del Pez
- a & b = Constantes de cada especie.

Ilustración 15. Página web FishBase



Fuente (FishBase, 2023)

Para la actualización taxonómica (de las especies marinas) se recurre a una de las fuentes más importantes y utilizadas en taxonomía y biodiversidad marina como "World Register of Marine Species" cuya abreviatura es **WORMS** y se trata de una base de datos en línea cuyo fin es compilar y documentar los cambios taxonómicos, y a su vez proporcionar información sobre todas las especies marinas conocidas en el mundo, mediante el uso de su API de consumo se logra obtener información de las cerca de 200 especies que están presentes en el Dataset del programa MES.

Ilustración 16. Página web World Register of Marine Species



Fuente (Worms, 2023)

3.2.2.3. Descripción de los datos

Esta etapa es catalogada como parte crucial en la metodología CRISP-DM que busca comprender en detalle los datos que forman parte de la matriz a utilizar en el proyecto, los datos a continuación como se muestra en la Tabla 9, detallan información del momento que se hace el levantamiento de la información, del sitio, del buzo, de la especie,

de los conteos por cada especie mediante una estimación visual de tallas, adicional se han agregado campos calculados a partir de los conteos e información respecto a extracciones durante el Período 2017-2020.

Tabla 9. Columnas del Dataset Final de monitoreos

Columna	Tipo de Dato	Descripción
Transect.Code	Factor	Código de Transecto creado a partir de otras columnas. Ejm: "DA01D020714A"
Transect.Code_Unique	Factor	Código Único generado creado a partir de otras columnas.
Transect.Date	Factor	Fecha del registro de la observación en el transecto. Ejm: "2004-10-07
Transect.Season	Factor	Temporada en la que se realiza la observación. Ejm: "Cool","Cool to Warm"
Transect.Depth_Strata	int	Profundidad a la que se realiza la observación
Transect.Depth_Rge	Factor	Descripción categórica donde se realiza la observación. Ejm: "Deep","Shallow"
Transect.Bin	Factor	Numero de Bin en que se realiza el transecto
Size_0.1.0	Factor	Registro de individuos entre 0 y 1.0 cm
Size_1.1.2.5	Factor	Registro de individuos entre 1.1 y 2.5 cm
Size_2.6.5.0	Factor	Registro de individuos entre 2.6 y 5.0 cm
Size_5.1.7.5	Factor	Registro de individuos entre 5.1 y 7.5 cm
Size_7.6.10.0	Factor	Registro de individuos entre 7.6 y 10.0 cm
Size_10.1.12.5	Factor	Registro de individuos entre 10.1 y 12.5 cm
Size_12.6.15.0	Factor	Registro de individuos entre 12.6 y 15.0 cm
Size_15.1.20.0	Factor	Registro de individuos entre 15.1 y 20.0 cm
Size_20.1.25.0	Factor	Registro de individuos entre 20.1 y 25.0 cm
Size_25.1.30.0	Factor	Registro de individuos entre 25.1 y 30.0 cm
Size_30.1.35.0	Factor	Registro de individuos entre 30.1 y 35.0 cm
Size_35.1.40.0	Factor	Registro de individuos entre 35.1 y 40.0 cm
Size_40.1.50.0	Factor	Registro de individuos entre 40.1 y 50.0 cm

Size_50.1.60.0	Factor	Registro de individuos entre 50.1 y 60.0 cm
Size_60.1.70.0	Factor	Registro de individuos entre 60.1 y 70.0 cm
Size_70.1.80.0	Factor	Registro de individuos entre 70.1 y 80.0 cm
Size_80.1.90.0	Factor	Registro de individuos entre 80.1 y 90.0 cm
Size_90.1.100.0	Factor	Registro de individuos entre 90.1 y 100.0 cm
Size_100.1.110.0	Factor	Registro de individuos entre 100.1 y 110.0 cm
Size_110.1.125.0	Factor	Registro de individuos entre 110.1 y 125.0 cm
Size_125.1.150.0	Factor	Registro de individuos entre 125.1 y 150.0 cm
Size_150.1.175.0	Factor	Registro de individuos entre 150.1 y 175.0 cm
Size_175.1.200.0	Factor	Registro de individuos entre 175.1 y 200.0 cm
Size_200.1.225.0	Factor	Registro de individuos entre 200.1 y 225.0 cm
Size_225.1.250.0	Factor	Registro de individuos entre 225.1 y 250.0 cm
Size_250.1.275.0	Factor	Registro de individuos entre 250.1 y 275.0 cm
Size_275.1.300.0	Factor	Registro de individuos entre 275.1 y 300.0 cm
Sum_Ind_s_50x5m2	int	Suma total de todos los Individuos de la misma especie que se encuentra en el transecto
Densityx1250m3	num	Cantidad de individuos por cada m3
Tot_Weight	num	Peso total determinado mediante la Ecuación de Fulton
Biomass.250m2_old	num	Valor de Biomasa inicial
Tot_Biomass_.gr.m3.	num	Valor de Biomasa corregido
Site.Code	Factor	Código del Sitio donde se realiza la observación. Ejm: "DA01","DA02"
Site.Name	Factor	Nombre del Sitio. Ejm: "IS91-Caleta iguana sur 1"
Site.Island	Factor	Isla más cerca del Sitio donde se realiza la observación. Ejm: "Darwin","Española"
Site.Bioregion_Mioti_et_al	Factor	Bioregión al que pertenece el sitio. Ejm: "Elizabeth","Far north"
Site.Latitude	num	Coordenadas - Latitud
Site.Longitude	num	Coordenadas - Longitud
Site.Zoning_Cat_2022	Factor	Categorías de la Zonificación para los sitios. Ejm: "Conservation"

Site.Zoning_Use	Factor	Tipo de uso del sitio. Ejm: "Artisanal fishing"
Site.MPA_Status	Factor	Estado del sitio segun las Areas Protegidas marinas. Ejm: "Extractive use"
Diver_1	Factor	Buzo principal que realiza las observaciones. Ejm: "Billy Bensted Smith"
Diver_2	Factor	Buzo secundario que realiza las observaciones. Ejm: "Billy Bensted Smith"
Specie.Code	int	Código de la Especie
Specie.Name	Factor	Nombre científico de la Especie. Ejm: "Abantennarius sanguineus"
Specie.CommonName_Ec	Factor	Nombre común según el Dataset del programa MES. Ejm: "Anguila de galápagos"
Specie.CommonName_Spa	Factor	Nombre común según información de Worms (fuente). Ejm: "Anguila de galápagos"
Specie.Taxa.Class	Factor	Taxonomía - Clase. Ejm: "Actinopteri"
Specie.Taxa.Order	Factor	Taxonomía - Orden. Ejm: "Acanthuriformes"
Specie.Taxa.Family	Factor	Taxonomía - Familia. Ejm: "Acanthuridae"
Specie.Taxa.Rank	Factor	Taxonomía - Rango. Ejm: "species","Species"
Specie.RedList.Code	Factor	Código de la categoría de amenaza según la IUCN mediante su catálogo Red List. Ejm: "CR","DD","EN"
Specie.RedList.Name	Factor	Nombre de la categoría de amenaza según la IUCN mediante su catálogo Red List. Ejm: "Critically Endangered"
Specie.Origin	Factor	Origen de la Especie. Ejm: "Endemic","Migrant"
Specie.Tax_Group	Factor	Grupo taxonómico según el rol de las especies. Ejm: "Reef fish"
Specie.Dpng.Is_Extractive	int	Este campo determina si la especie es de carácter extractivo
Specie.Dpng.type	Factor	Categorías según el tipo de pesca al que pertenece la especie

Specie.Ecology.Var_a	num	Valor de la Constante "a" para determinar el peso de los peces
Specie.Ecology.Var_b	num	Valor de la Constante "b" para determinar el peso de los peces
Specie.Traits.Functional_Gr	Factor	Grupos funcionales de las especies. Ejm: "Browsers ","Carnivore"
Specie.Traits.Habitat	Factor	Hábitat de las especies. Ejm: "benthopelagic"
Specie.Traits.range_pref	Factor	Rango categórico de preferencia termina de las especies. Ejm: "Cold-High"
Specie.Traits.trophic_level	num	Valor del nivel trófico de la especie
Specie.Trait..s.minimum.	Factor	Cantidad de años en que se duplica la población de la especie. Ejm: "< 1.25"
Specie.Traits.vulnerability	Factor	Vulnerabilidad según criterios ecológicos
extracted_2017.fcd	Factor	Cantidad de libras extraídas durante el 2017
extracted_2018.fcd	Factor	Cantidad de libras extraídas durante el 2018
extracted_2019.fcd	Factor	Cantidad de libras extraídas durante el 2019
extracted_2020.fcd	Factor	Cantidad de libras extraídas durante el 2020
Specie.fishingpressure_M….	Factor	Media de las extracciones de los cuatro Períodos 2017-2020

Fuente: Propia del autor

3.2.2.4. Dimensionalidad de los Datos

La dimensionalidad de los datos se refiere a la cantidad de variables que tiene el Dataset a través del cual podremos notar alta o baja disponibilidad de características teniendo que recurrir en muchos casos a determinar aquellas que son necesarias para nuestro trabajo, que en unos pasos más adelante se encuentra como “Selección de los datos”

Como se muestra en Ilustración 17, se cuenta con una matriz de 73493 filas y 77 columnas.

Ilustración 17. Código R que describe el número de columnas y filas

```
Dimensionalidad de los datos
```{r}
dimensiones <- dim(dataor)
num_filas <- dimensiones[1]
num_columnas <- dimensiones[2]
print(paste("Número de filas:", num_filas, " | ", "Número de columnas:", num_columnas ))
```

[1] "Número de filas: 73493 | Número de columnas: 77"
```

Fuente: Propia del autor

3.2.2.5. Exploración de los datos

Se muestra una representación visual en la Ilustración 18, sobre la distribución espacial de los distintos sitios que el programa MES ha realizado durante todos los años, a partir de esta gráfica se puede identificar la diversidad de sitios que están cubriendo casi en su totalidad las áreas de mayor importancia y pueden ser referencia de otros puntos que compartan características similares tanto en su ecología como en su geología marina.

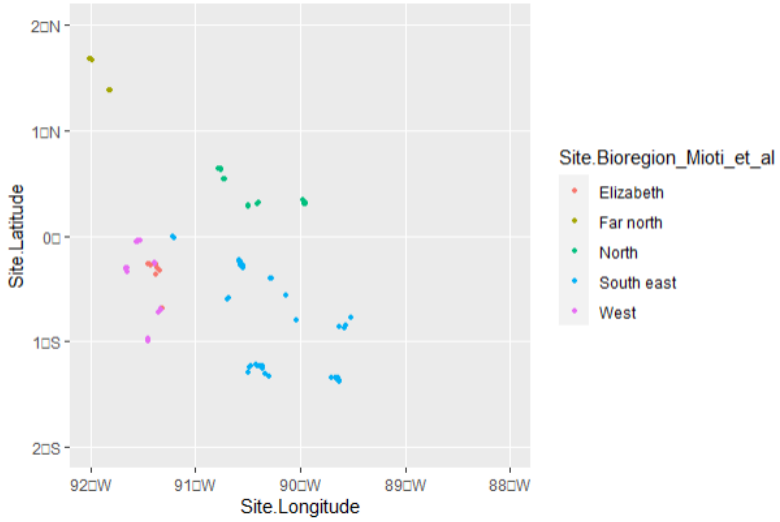
Ilustración 18. Distribución espacial de sitios del programa MES



Fuente: Propia del autor

A continuación, la Ilustración 19 muestra una visualización de los sitios marcados con colores diferentes según la Bioregión a la que pertenece, logrando determinar que muchos puntos de un mismo color están muy cercanos lo que se conoce también como Clústeres, esto responde a las Bioregiones que comprenden en la RMG.

Ilustración 19. Clúster de Bioregiones



Fuente: Propia del autor

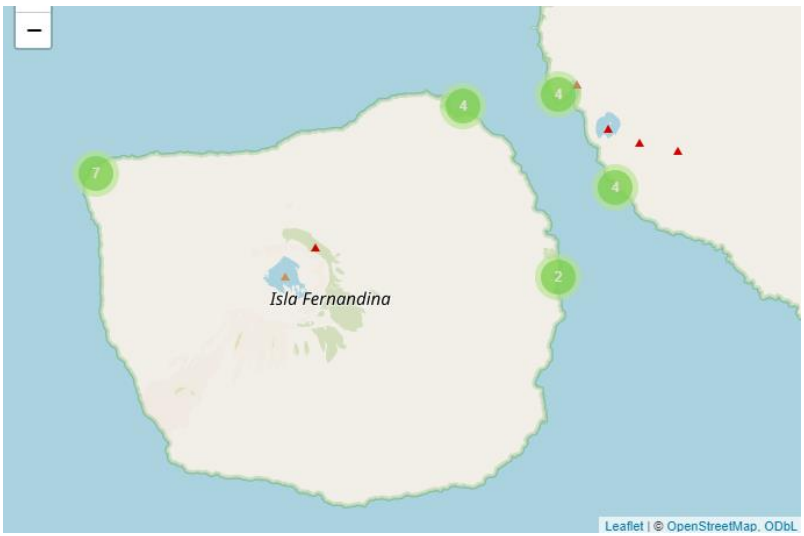
Mediante la librería Leaflet, se realiza un agrupamiento de los sitios como se muestra en la Ilustración 20, que de forma interactiva permite desplegar los sitios a medida que se realiza un zoom sobre áreas determinadas, tal como se muestra en la Ilustración 21.

Ilustración 20. Agrupamiento de los Sitios Cercanos de Monitoreo



Fuente: Propia del autor

Ilustración 21. Acción de zoom sobre la Bioregión Elizabeth

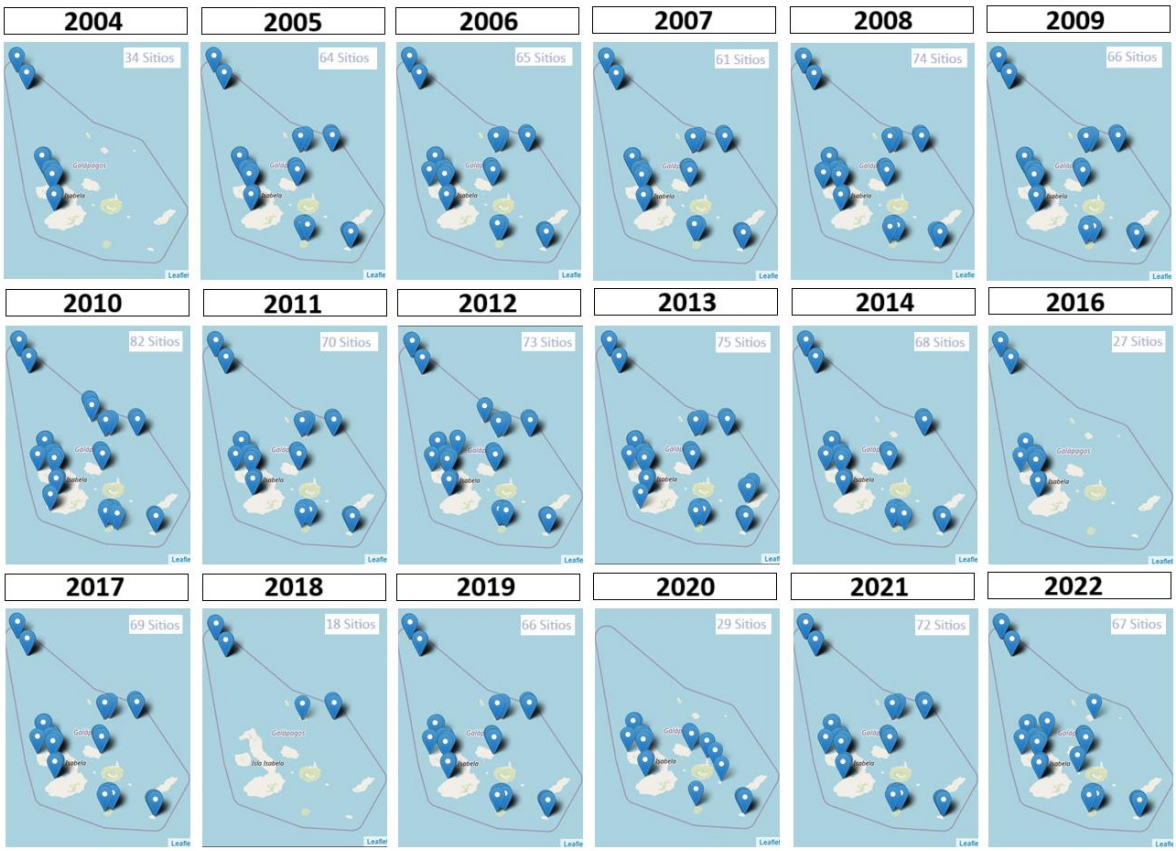


Fuente: Propia del autor

Distribución de los sitios monitoreados por años

La Ilustración 22 hace una representación visual de los sitios monitoreados por años, lo cual indica que para los años 2004, 2016, 2018 y 2020 fueron muy pocos los sitios que se visitaron por consiguiente la cantidad de registros de especies también son menor respecto a los demás años, al contar con este tipo de visualización grupal es fácil notar que los sitios faltantes concentran Bioregiones, de manera que se puede mencionar por ejemplo que para el 2014 las Bioregiones Norte, Sureste no se visitaron como tampoco para el 2018 las Bioregiones Oeste, Elizabeth y Sureste, similar situación ocurre en algunas como el 2016 y 2020.

Ilustración 22. Distribución espacial de sitios del programa MES a través de los años.

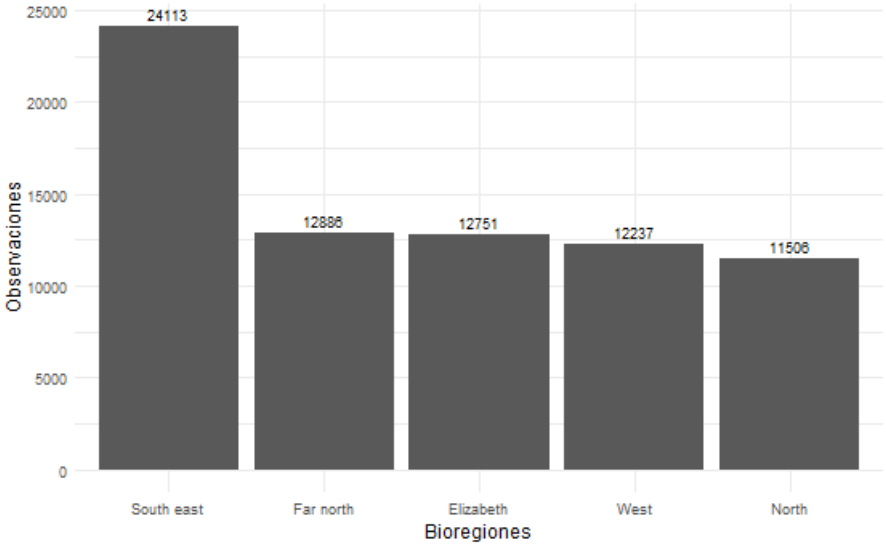


Fuente: Propia del autor

Las representaciones anteriores sobre la distribución espacial de los sitios nos hacen comprender la necesidad de agrupar por Bioregiones la información, de esta manera poder contar con la suficiente cantidad de registros para los siguientes análisis, si bien el agrupamiento concentra sitios algo distantes, al realizar un enfoque por Bioregión estos sitios guardarían características similares en lo que respecta a diversidad, hábitats e influencias a las que son sometidas como las corrientes.

El agrupamiento por Bioregiones expone la disponibilidad suficiente de registros para el análisis como se muestra en la Ilustración 23, indicando cantidades por sobre los 10000 registros, pese a contar con una buena data respecto a la cantidad suficiente de registros, aún permanece la necesidad de determinar cuáles serían las especies de interés.

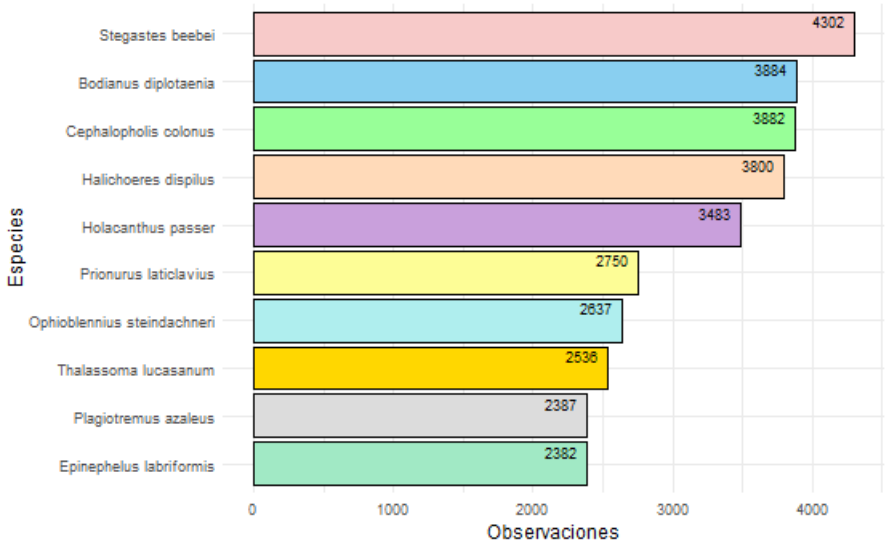
Ilustración 23. Cantidad de Observaciones en las Bioregiones



Fuente: Propia del autor

A continuación, se muestra el Top 10 de las Especies basado en la cantidad de observaciones como se muestra en la Ilustración 24, sobre la cual destaca la especie "*Stegastes beebei*" por sobre el resto, pese a ello, esto no indica que sea una especie de interés para el presente trabajo sino más representación pretende mostrar la diversidad y abundancia que existe en la data para continuar con el análisis.

Ilustración 24. Top 10 de las Especies con más Observaciones

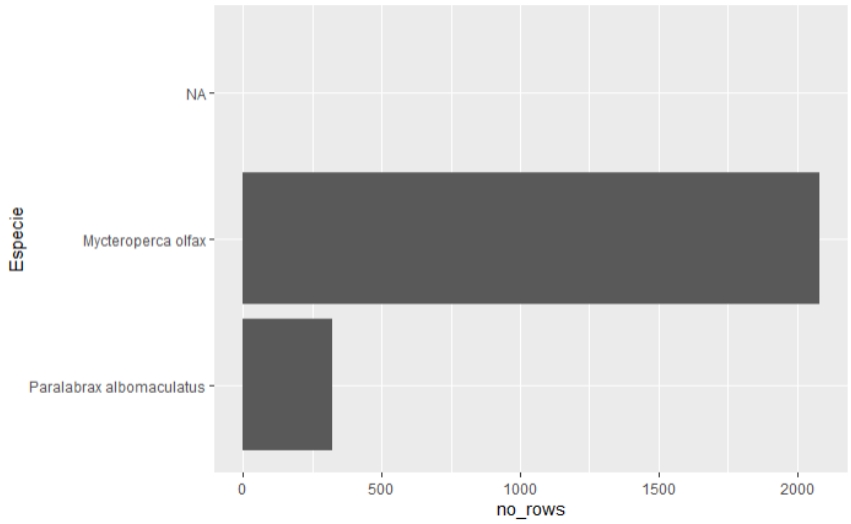


Fuente: Propia del autor

Dado que una de las características que tiene la data es la Categorización IUCN para determinar el nivel de amenaza a la que están siendo sometidas las especies, es por ello que nos interesa identificar las especies que se encuentran "En Peligro" obteniendo la siguiente representación de barras, la cual indica que existen 2 especies que son clave, por ser de interés extractivo comercial en la cual está el Bacalao *"Mycteroperca olfax"* que ha sido muy demando en los últimos años con una cantidad considerable de registros seguido por el Camotillo *"Paralabrax Albomaculatus"*, como se muestra en la Ilustración 25.

Posterior con información extractiva por años se hará un análisis con enfoque pesquero para evaluar estas especies que si bien son de carácter extractivo actualmente tienen esta categorización a nivel Global que alerta sobre un posible decremento en sus respectivas poblaciones.

Ilustración 25. Top de las Especies en peligro según la IUCN



Fuente: Propia del autor

3.2.3. Preparación de los datos

Esta fase requirió de los datos finales para la inmediata aplicación del modelo, para ello existió algunas tareas a seguir como la consolidación de Datasets en uno solo, la Limpieza de los Datos, entre otros más.

Conocida como una etapa clave en la metodología CRISP DM en la cual se realizan una serie de tareas con el objetivo de garantizar la calidad en los datos para el análisis y posterior construcción del modelo.

Previo a obtener los Datasets crudos ya se ha realizado una homologación, estandarización, actualización y corrección de los datos previas revisiones con el personal del Proyecto MES las cuales se detallan a continuación:

- Integración de datos
- Selección de características
- Limpieza de los datos
- Corrección de datos
- Construcción de datos
- Formato a los datos
- Actualización de los datos

Pese a ello aún se requiere realizar otras tareas de manera que la información guarde un formato adecuado.

3.2.3.1. Formateo de los datos

Inicialmente el formato para las columnas de valores extractivos 2017–2020 se importan manteniendo un formato tipo Factor, por lo que para el posterior análisis se transforman a tipo numérico.

- extracted_2017.fcd
- extracted_2018.fcd
- extracted_2019.fcd
- extracted_2020.fcd

3.2.3.2. Selección de los datos

De la matriz principal se seleccionan 21 columnas que se requieren a partir del cual se necesita crear una segunda matriz agrupada por años como se muestra en las Tabla 10, Bioregiones y especie que sirve de base para el modelo propuesto.

Tabla 10. Matriz Final sobre las especies que se aplicara en el modelo

Columna	**Tipo de Dato**	**Descripción**
Transect.Date	Factor	Fecha del registro de la observación en el transecto. Ejm: "2004-10-07
Sum_Ind_s_50x5m2	int	Suma total de todos los Individuos de la misma

		especie que se encuentra en el transecto
Tot_Weight	num	Peso total mediante la Ecuación de Fulton
Site.Code	Factor	Código del Sitio donde se realiza la observación. Ejm: "DA01","DA02"
Site.Name	Factor	Nombre del Sitio. Ejm: "IS91-Caleta iguana sur 1"
Site.Island	Factor	Isla más cerca del Sitio donde se realiza la observación. Ejm: "Darwin","Española"
Site.Bioregion_Mioti_et_al	Factor	Bioregión al que pertenece el sitio. Ejm: "Elizabeth","Far north"
Site.Latitude	num	Coordenadas - Latitud
Site.Longitude	num	Coordenadas - Longitud
Specie.Name	Factor	Nombre científico de la Especie. Ejm: "Abantennarius sanguineus"
Specie.CommonName_Spa	Factor	Nombre común según información de Worms (fuente). Ejm: "Anguila de galápagos"
Specie.RedList.Code	Factor	Código de categoría de amenaza IUCN Red List. Ejm: "CR","DD","EN"
Specie.RedList.Name	Factor	Nombre de la categoría de amenaza IUCN Red List. Ejm: "Critically Endangered"
Specie.Dpng.Is_Extractive	int	Este campo determina si la especie es de carácter extractivo
Specie.Ecology.Var_a	num	Valor de la Constante "a" para determinar el peso de los peces
Specie.Ecology.Var_b	num	Valor de la Constante "b" para determinar el peso de los peces
extracted_2017.fcd	Factor	Cantidad de libras extraídas durante el 2017
extracted_2018.fcd	Factor	Cantidad de libras extraídas durante el 2018
extracted_2019.fcd	Factor	Cantidad de libras extraídas durante el 2019
extracted_2020.fcd	Factor	Cantidad de libras extraídas durante el 2020
Specie.fishingpressure_M….	Factor	Media de las extracciones de los cuatro Períodos 2017-2020

Fuente: Propia del autor

3.2.3.3. Construcción de nuevos datos

Construcción de matriz pivot por todos los años agrupado por Bioregión y Especie

En la construcción de esta matriz se considera lo siguiente:

- Esta matriz se forma con la segunda matriz cuyos valores fueron seleccionados en el paso anterior.
- Dado que no todas especies no se encuentran en todas las Bioregiones y tampoco están presentes en todos los años, se necesita analizar los valores de las especies por pares de años, entonces la presente matriz se formó de modo que se pueda ver en línea horizontal los años, dado que para el cálculo de las nuevas variables deben estar las columnas de años en forma consecutiva.
- La generación de nuevas variables se realizó en el mismo proceso de creación de la matriz.
- Esta matriz aparte de ser necesaria para el modelo se presenta de una forma simple que brinda una vista general de todas las variables de modo que facilita a la interpretación de la misma.

Las nuevas variables que se crean en esta matriz son:

- **max_weight_record_kg**: Representa el peso (en Kg.) máximo histórico de todos los peces de una misma especie en una misma Bioregión información que es extraída del mismo Dataset principal.
- **mean_weight_unit_kg**: Representa el peso promedio de un pez en Kg en una misma Biregion y en un mismo año
- **K**: Es la máxima capacidad de carga que puede soportar un ecosistema y está calculado mediante la siguiente formula:

$$\boldsymbol{K = max_weight_record_kg \,/\, mean_weight_unit_kg} \qquad (69)$$

- **Error_Muestreo**: Dado que en la presente matriz se realizó un análisis por pares de años es necesario que entre años consecutivos la cantidad de observaciones sea igual o similar. Esto debido a que estamos contando el incremento de individuos. Si la diferencia de número de observaciones entre un año y otro consecutivo fuera grande la diferencia en individuos se incrementaría sin que necesariamente se

incremente la población. Por lo tanto, para este análisis se toma únicamente aquellas especies cuya cantidad de observaciones es similar (aprox +-6%)

- **r:** Es la tasa intrínseca de reproducción a la que una población crece y está calculado según la siguiente formula:

$$r = log(\frac{\boldsymbol{Poblacion\ 2}}{\boldsymbol{Poblacion\ 1}})/t \quad (70)$$

Descripción de los datos de la nueva matriz

- **Site.Bioregion_Mioti_et_al**: Nombre de la Bioregión.
- **Specie.Code**: Código de la Especie
- **Specie.Name**: Nombre científico de la Especie
- **tot_filas_2004**: Total de registros u observaciones en la data principal para el año 2004
- **tot_specimens_2004**: Total conteo de peces por Especie para el año 2004
- **tot_Weight_kg_2004**: Total Peso calculado de peces por Especie para el año 2004
- **max_weight_record_kg_2004**: Máximo peso histórico de todos los peces de una misma especie en una misma Bioregión para el año 2004
- **mean_weight_unit_kg_2004**: Peso promedio de un pez en Kg en una misma Bioregión y en el año 2004
- **K_2004**: Máxima capacidad de carga asignada a la Bioregión según la Especie en el año 2004
- **Error_Muestreo_2004_2005**: Valor porcentual que representa la diferencia de la cantidad de observaciones entre el año 2004 y 2005.
- **r_2004_2005**: Valor de la tasa intrínseca para la especie entre el 2004 y 2005
- **tot_filas_2005**: Total de registros u observaciones en la data principal para el año 2004

A partir de la tercera columna "Specie.Code" por cada grupo de 8 columnas en adelante representan los diferentes Períodos de años, como se muestra en la Tabla 11-12.

Tabla 11. Matriz pivoteada por años agrupados por Bioregión y Especie (Parte 1)

	Site.Bioregion_Mioti_et_al	Specie.Code	Specie.Name	tot_filas_2004	tot_specimens_2004	tot_Weight_kg_2004
1	Elizabeth	7645	Synodus lacertinus	1	1	3.202966e-02
2	Elizabeth	7651	Myripristis berndti	1	5	9.855281e-01
3	Elizabeth	7658	Hippocampus ingens	4	5	7.049548e-02
4	Elizabeth	7679	Prionurus laticlavius	12	206	1.085723e+02
5	Elizabeth	7685	Ophioblennius steindachneri	14	43	2.434979e+00
6	Elizabeth	7692	Lepidonectes corallicola	5	25	1.318680e-02
7	Elizabeth	7699	Bodianus diplotaenia	47	228	1.354314e+02
8	Elizabeth	7700	Bodianus eclancheri	19	33	2.449649e+01
9	Elizabeth	7702	Halichoeres dispilus	45	2114	5.822164e+01
10	Elizabeth	7703	Halichoeres nicholsi	5	6	1.300241e+00

Fuente: Propia del autor

Tabla 12. Matriz pivoteada por años agrupados por Bioregión y Especie (Parte 2)

max_weight_record_kg_2004	mean_weight_unit_kg_2004	K_2004	Error_Muestreo_._2004_2005	r_2004_2005
7.922253e-02	3.202966e-02	2.473411e+00	200.00	0.90559823
9.855281e-01	1.971056e-01	5.000000e+00	*NA*	*NA*
7.049548e-02	1.409910e-02	5.000000e+00	25.00	-0.25820500
2.549333e+03	5.270500e-01	4.836984e+03	203.88	1.41349652
3.886223e+00	5.662743e-02	6.862792e+01	230.23	0.46749932
3.862506e-01	5.274720e-04	7.322676e+02	1216.00	3.37727015
2.443617e+02	5.939975e-01	4.113851e+02	380.70	0.59018405
1.634515e+02	7.423180e-01	2.201907e+02	206.06	0.93568483
7.141008e+02	2.754099e-02	2.592866e+04	401.28	0.75167792
2.390454e+01	2.167068e-01	1.103082e+02	483.33	1.78029298

Fuente: Propia del autor

Una de las consideraciones que se debe tener en cuenta en la aplicación de cualquier modelo, son los valores de las características, por ejemplo, para el modelo Logístico no es dable disponer especies cuya capacidad de carga sea menor que la población inicial, referente a las especies si intentamos determinar aquellas cuyas poblaciones estén sufriendo decremento se necesita considerar especies cuya tasa intrínseca de reproducción sea negativa. Para ello se deben seguir los siguientes criterios:

- Un **r** bajo negativo
- Un Error de Muestreo que no supere el 6%
- Un valor de **K** superior a la población inicial

Siguiendo estos criterios se obtuvo una matriz como la que se muestra en la Tabla 13, cuyos valores sean aceptables para el modelo.

Tabla 13. Matriz basada en criterios para el modelo Logístico

	Site.Bioregion_Mioti_et_al	Specie.Code	Specie.Name	Period	Year_1	Year_2	K	Error_Muestreo	r
1	West	7763	Girella freminvilliii	2004_2005	558	537	847.00899	3.91	-0.14889072
2	Far north	7822	Melichthys niger	2005_2006	202	195	331.13555	3.59	-0.13477290
3	Far north	25130	Cephalopholis colonus	2005_2006	7967	8091	52587.94764	1.56	-0.39540699
4	South east	7685	Ophioblennius steindachneri	2005_2006	518	543	691.53026	4.83	-0.13292615
5	South east	7728	Apogon atradorsatus	2005_2006	76096	77919	301878.49915	2.40	-0.37508077
6	South east	7784	Alphestes immaculatus	2005_2006	20	21	38.70101	5.00	-0.09856805
7	South east	25130	Cephalopholis colonus	2005_2006	22057	21581	29789.25718	2.21	-0.02705672
8	South east	7703	Halichoeres nicholsi	2006_2007	190	187	222.55253	1.60	-0.70458093
9	South east	7708	Thalassoma lucasanum	2006_2007	5359	5400	28881.24583	0.77	-0.12116064
10	Far north	7675	Dermatolepis dermatolepis	2007_2008	17	18	211.87163	5.88	-0.15091020
11	South east	7696	Coryphopterus urospilus	2007_2008	23	22	96.07595	4.55	-0.01273903
12	Elizabeth	24823	Gobioclinus dendriticus	2008_2009	481	456	1648.37183	5.48	-0.42346407
13	Far north	7748	Johnrandallia nigrirostris	2008_2009	455	435	1246.81993	4.60	-0.53917671
14	Far north	7832	Canthigaster punctatissima	2008_2009	27	26	124.90244	3.85	-0.97812289
15	South east	7720	Stegastes arcifrons	2008_2009	160	166	513.47056	3.75	-0.81747845
16	South east	7779	Holacanthus passer	2008_2009	480	483	747.19291	0.62	-0.75132656
17	South east	25130	Cephalopholis colonus	2008_2009	11839	11520	36443.84096	2.77	-0.25342522
18	Elizabeth	7728	Apogon atradorsatus	2009_2010	4015	4046	43884.58442	0.77	-1.02353893
19	Elizabeth	11434	Stegastes beebei	2009_2010	5190	5015	11590.81915	3.49	-0.44687609
20	Far north	7774	Mulloidichthys dentatus	2009_2010	38	36	246.92904	5.56	-1.27180747
21	Far north	7726	Scarus rubroviolaceus	2010_2011	27	26	39.18376	3.85	-0.89071701
22	West	7836	Sphoeroides annulatus	2010_2011	25	26	76.44057	4.00	-0.33974212
23	North	7679	Prionurus laticlavius	2010_2011	3102	3094	8004.99822	0.26	-0.27699601
24	South east	7724	Scarus ghobban	2010_2011	87	86	165.38860	1.16	-0.29145417
25	South east	7743	Chaetodon humeralis	2010_2011	34	35	131.24088	2.94	-0.05572354
26	Elizabeth	7715	Abudefduf troschelii	2011_2012	178	168	459.62321	5.95	-0.20329694
27	Elizabeth	7790	Mycteroperca olfax	2011_2012	293	301	713.12136	2.73	-0.11685986
28	South east	7724	Scarus ghobban	2011_2012	86	90	218.80725	4.65	-0.07688823
29	South east	7790	Mycteroperca olfax	2011_2012	81	79	592.03611	2.53	-0.02682062
30	Elizabeth	7708	Thalassoma lucasanum	2012_2013	73	72	2857.04580	1.39	-0.39798244
31	West	7757	Anisotremus scapularis	2012_2013	529	519	2326.20035	1.93	-0.28940584
32	West	11434	Stegastes beebei	2012_2013	3295	3132	7493.04679	5.20	-0.55793730
33	North	7699	Bodianus diplotaenia	2012_2013	389	367	460.53450	5.99	-0.24719170
34	West	7728	Apogon atradorsatus	2020_2021	887	865	8062.57833	2.54	-1.38673342
35	Elizabeth	7799	Calamus taurinus	2021_2022	53	52	64.73525	1.92	-0.32186860
36	South east	7750	Cirrhitichthys oxycephalus	2021_2022	697	663	1452.00987	5.13	-0.60159264
37	South east	24990	Azurina atrilobata	2021_2022	985	946	6320.32885	4.12	-0.31817469

Fuente: Propia del autor

Construcción de matriz pivoteada por todos los años agrupado por especie para el modelo con enfoque extractivo

En la construcción de la matriz que se muestra a continuación en la Tabla 14-15, se consideró lo siguiente:

- Dado que la información de extracción es anual para toda RMG en un Período determinado, se necesita este tipo de Matriz que a diferencia de la anterior no considera las Bioregiones.

- Las nuevas variables que se crean en esta matriz son:
    - **tot_transect:** Contabiliza todos los transectos que se realizaron por años
    - **H:** El valor de Extracción transformado en Individuos y escalado al área total de las observaciones (cantidad de transectos x 250m2)

Tabla 14. Matriz pivoteada por años agrupados por Especie (Parte 1)

	Specie.Code	Specie.Name	tot_transects_2018	tot_filas_2018	tot_specimens_2018	tot_Weight_kg_2018
1	7637	Gymnothorax castaneus	31	0	0	0.0000000
2	7638	Gymnothorax dovii	31	18	30	79.2334992
3	7643	Muraena lentiginosa	31	0	0	0.0000000
4	7645	Synodus lacertinus	31	0	0	0.0000000
5	7651	Myripristis berndti	31	0	0	0.0000000
6	7652	Myripristis leiognathus	31	2	6	0.3149280
7	7656	Aulostomus chinensis	31	10	35	22.9097604
8	7657	Fistularia commersonii	31	4	4	0.3131386
9	7658	Hippocampus ingens	31	0	0	0.0000000
10	7675	Dermatolepis dermatolepis	31	19	43	25.6071416

Fuente: Propia del autor

Tabla 15. Matriz pivoteada por años agrupados por Especie (Parte 2)

max_weight_record_kg_2018	mean_weight_unit_kg_2018	K_2018	extracted_lbs_2018	H_2018	Error_Muestreo_._2018_2019
0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	NA	NA	NA
1.495020e+03	2.641117e+00	5.660561e+02	NA	NA	40.00
0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	NA	NA	NA
0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	NA	NA	NA
0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	NA	NA	NA
1.849221e+01	5.248800e-02	3.523132e+02	NA	NA	383.33
7.025983e+02	6.545646e-01	1.073383e+03	NA	NA	12.90
1.872414e+01	7.828465e-02	2.391802e+02	NA	NA	50.00
0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	NA	NA	NA
8.145620e+01	5.955149e-01	1.367828e+02	19350	0.1089552041	26.47

Fuente: Propia del autor

Filtro de matriz pivoteada por todos los años agrupado por especie según los siguientes criterios:

- Un r no sea nulo
- Un valor de H superior a 0

A continuación, se presenta la Tabla 16 como resultado de la aplicación de los criterios mencionados.

Tabla 16. Matriz basada en criterios para el modelo Logístico con enfoque Extractivo

	Specie.Code	Specie.Name	Period	Year_1	Year_2	K	Error_Muestreo	r	H
10	7771	Lutjanus novemfasciatus	2017_2018	7	5	76.53284	40.00	-1.09010846	4.092672e-01
11	7675	Dermatolepis dermatolepis	2018_2019	43	34	136.78280	26.47	-0.71123955	1.089552e-01
12	7769	Lutjanus argentiventris	2018_2019	12	59	1036.97056	391.67	2.15621722	1.835628e-02
13	7787	Epinephelus labriformis	2018_2019	16	202	728.27836	1162.50	2.68313478	5.630760e-05
14	7790	Mycteroperca olfax	2018_2019	37	924	891.22768	2397.30	3.16767483	8.265055e-01
15	7795	Paralabrax albomaculatus	2018_2019	1	15	360.06050	1400.00	3.61794585	5.204568e-01
16	7805	Sphyraena idiastes	2018_2019	8	521	69656.87416	6412.50	7.38632109	2.533842e-04
17	25129	Bodianus darwini	2018_2019	19	13	342.75788	46.15	0.25360763	1.519742e-01
18	7734	Caranx lugubris	2018_2019	15	4	197.40944	275.00	-1.04742750	4.504608e-04
19	7740	Seriola rivoliana	2018_2019	8	17	922.41171	112.50	1.36759639	7.629680e-02
20	7771	Lutjanus novemfasciatus	2018_2019	5	3	162.61024	66.67	-1.25942451	7.210188e-02
21	7675	Dermatolepis dermatolepis	2019_2020	34	3	220.25682	1033.33	-2.67725530	1.778049e-01
22	7751	Cirrhitus rivulatus	2019_2020	40	9	243.24525	344.44	-0.85218106	5.903216e-04
23	7769	Lutjanus argentiventris	2019_2020	59	112	590.20645	89.83	1.58246241	1.072496e-01
24	7773	Caulolatilus princeps	2019_2020	3	17	140.23777	466.67	1.94860366	6.218448e-01
25	7784	Alphestes immaculatus	2019_2020	2	1	33.10498	100.00	-1.98790288	4.179477e-03
26	7787	Epinephelus labriformis	2019_2020	202	92	628.43181	119.57	-0.42546166	1.674152e-02
27	7790	Mycteroperca olfax	2019_2020	924	110	937.03371	740.00	-1.50888455	1.799560e+00
28	7795	Paralabrax albomaculatus	2019_2020	15	57	144.94820	280.00	1.18343910	1.030111e+00
29	25129	Bodianus darwini	2019_2020	13	99	181.98551	661.54	2.10952765	4.756339e-01
30	7740	Seriola rivoliana	2019_2020	17	17	499.28001	0.00	3.13522309	4.660707e-01
31	7771	Lutjanus novemfasciatus	2019_2020	3	6	343.76389	100.00	2.36034263	3.153498e-01
32	7675	Dermatolepis dermatolepis	2020_2021	3	263	282.67599	8666.67	4.43916273	2.759581e-02
33	7769	Lutjanus argentiventris	2020_2021	112	166	230.20528	48.21	-1.58940045	2.868418e-03
34	7773	Caulolatilus princeps	2020_2021	17	28	113.22045	64.71	0.59978568	9.422041e-02
35	7784	Alphestes immaculatus	2020_2021	1	13	120.83662	1200.00	4.07446706	7.933922e-04
36	7790	Mycteroperca olfax	2020_2021	110	638	504.40126	480.00	0.89901631	7.676782e-01
37	7795	Paralabrax albomaculatus	2020_2021	57	223	168.66903	291.23	1.08488711	2.862112e-01
38	7799	Calamus taurinus	2020_2021	12	92	55.35591	666.67	1.21286019	6.103017e-03
39	7814	Scorpaena mystes	2020_2021	5	20	6.72802	300.00	0.05802594	1.017170e-03
40	25129	Bodianus darwini	2020_2021	99	109	168.10182	10.10	0.52945004	9.373217e-02
41	7734	Caranx lugubris	2020_2021	1	224	471.49231	22300.00	6.03493733	1.830905e-03
42	7736	Caranx sexfasciatus	2020_2021	20	107	50.32812	435.00	-0.25187685	2.237773e-03
43	7737	Elagatis bipinnulata	2020_2021	31	35	99.31409	12.90	-2.17938461	1.017170e-03
44	7740	Seriola rivoliana	2020_2021	17	99	21.71371	482.35	-1.62255309	2.358714e-01
45	7767	Hoplopagrus guentherii	2020_2021	5	2	44.73711	150.00	-2.83515528	1.037513e-03
46	7771	Lutjanus novemfasciatus	2020_2021	6	13	64.89429	116.67	-0.04745965	6.148790e-02

Showing 10 to 46 of 46 entries, 9 total columns

Fuente: Propia del autor

3.2.3.4. Limpieza de datos

Previo cálculo para valores como r, Error de Muestreo y K resultan en valores NaN, Inf, -Inf como resultado de estas operaciones, debido a valores faltantes o Nulos que son tomados en las diferentes ecuaciones. Estos valores son reemplazados con NA

3.3. Modelado

En esta fase se construyó y aplicó el modelo necesario para cumplir con los objetivos del proyecto propuesto.

En la Naturaleza existen poblaciones que crecen exponencialmente tal es caso de microorganismos como las bacterias. Sin embargo, para otras especies de mayor tamaño las tasas de crecimiento (r) no son constantes y por lo general tienden a disminuir a medida que aumenta el tamaño de la población debido a:

- La competencia entre especies por los recursos
- La estructura de edad (la tasa de mortalidad depende de la edad en lugar de la densidad de población, mientras que la tasa de natalidad puede depender del tamaño de la población adulta más que del tamaño total de la población).

3.3.1. Selección de la técnica

La propuesta para resolver la pregunta de investigación se basó en un modelo matemático que utiliza valores de la data del proyecto MES para describir como las poblaciones están creciendo hacia un límite determinado por una tasa de crecimiento (r) y una capacidad de carga máxima (K).

El **modelo logístico de crecimiento (15)** a veces denominado como curva logística, en un inicio muestra un crecimiento exponencial cuando la población aún es pequeña y a medida que esta se acerca a su capacidad de carga máxima su crecimiento poblacional se desacelera lo que indica que la población ha llegado a su máximo y no puede crecer más.

Modelo Logístico de crecimiento con extracción (53)

Se realizó además un enfoque con extracción sobre el modelo logístico de crecimiento propuesto, para aquellas especies que son sujetas a pesca blanca y sobre la cual puedan existir estos valores en libras de extracción que posterior deberá pasarse a números de individuos.

3.3.2. Construcción del modelo

Para resolver la EDO tenemos que crear una función conocida como la función gradiente llamada como “logistico1”, esta es una función que define la EDO como se muestra en la Ilustración 26, en donde los parámetros utilizados son los siguientes:

- **tim**: es el argumento que indica los rangos de tiempo que se usaran recuerde que la EDO es generalmente dx/dt, que se lee la derivada de x con respecto a t
- **parms**: Este argumento indica cualquier parámetro que figure en la EDO en nuestro caso el r, K, además también figura el H que es la extracción o pesca, por el momento es 0
- **state**: indica el estado inicial de la(s) variable(s), en este caso solo X que representa la población inicial

Ilustración 26. Código para generar la función Gradiente en el Modelo Logístico

```r
# Calamus taurinus 7799 (Elizabeth) - 2021_2022

tim <- seq(0, 100, by = 0.01) # 0.01
parms <- c(r1 =-0.32 , k1  = 64.73, H=0 )
state <- c(X = 53)
logistico1 <- function(t, state=state, parms=parms) {
  with(as.list(c(state,parms)), {
    dX <- r1*X*(1 - (X /k1) ) - H
    return(list(c(dX)))
  })
}
```

Fuente: Propia del autor

La solución se guarda en una variable conocida como “sol”, como se muestra en la Ilustración 27.

Ilustración 27. Variable que guarda la solución de la Ecuación Diferencial

```r
sol <- ode(y = state, times=tim,  func = logistico1, parms = parms )
```

Fuente: Propia del autor

En la Ilustración 28, se muestra la función llamada “**bifurcación**”, que despliega la aplicación de Bifurcación (desarrollada en Shiny) donde se determina la solución en el tiempo sobre el panel llamado “Time Series” como se muestra en la Ilustración 28.

Ilustración 28. Código para el despliegue de la App Shiny

```
1260 ```{r}
1261 bifurcation(logistico1, state, parms, resume=FALSE)
1262 ```
```

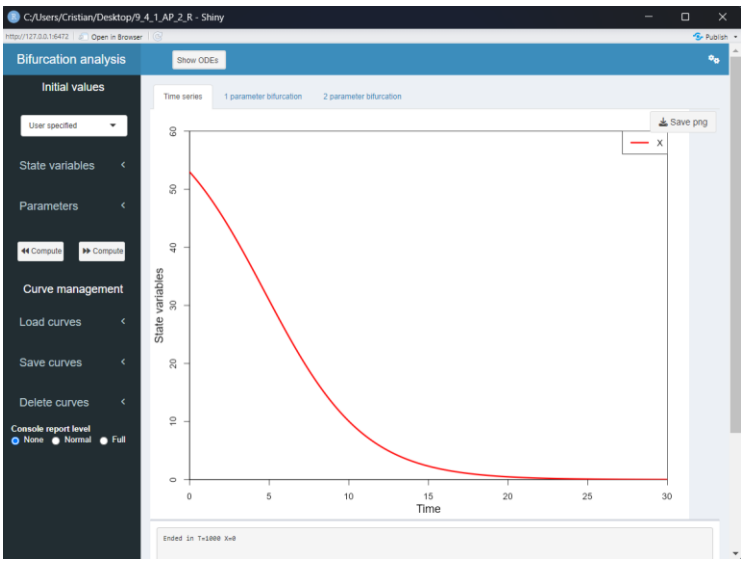
Fuente: Propia del autor

El botón "Show ODEs" muestra los valores iniciales que se cargaron a la función ode, esta herramienta nos permite además alterar los valores iniciales de manera que se puede corregir en caso de algún error o mostrar cómo sería la solución dado nuevos valores, para ello se debe actualizar desde el menú izquierdo ítem “Parameters”

El botón **compute** genera la solución, pero es posible que no salga ningún gráfico, esto se debe a que hay que configurar las escalas manualmente. Antes en la parte inferior del gráfico muestra un recuadro que indica "Ended in T=...., X=....." Este último parámetro nos da una idea de la escala del eje Y que debe configurarse. Para ajustar la escala hay un icono en la esquina superior derecha, este es el icono de Configuración, una vez dado clic se despliega un panel donde permite ajustar el valor de eje Y.

A continuación, en la Ilustración 29, se puede visualizar la solución para una de las especies del 2021 como es el *Calamus tarinus* en la Bioregión Elizabeth que dado su r bajo indica que su población está en descenso y la representación de la curva logística en la serie de tiempo lo demuestra.

Ilustración 29. Aplicación de Shiny que despliega la solución basada en el modelo Logístico



Fuente: Propia del autor

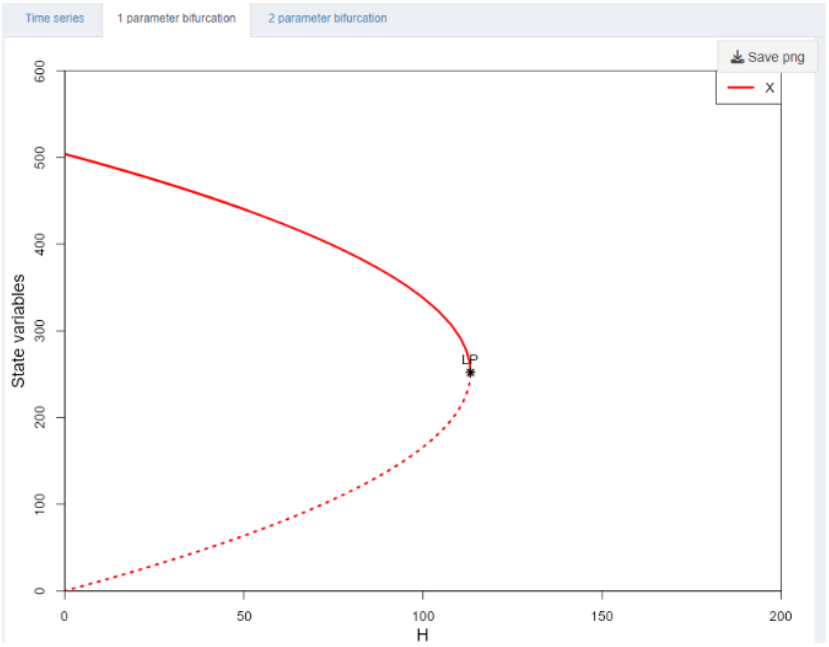
3.3.3. Evaluación del modelo

Lo que se presenta a continuación son las curvas de Bifurcación para aquellos escenarios en que se consideró la extracción.

3.3.3.1. Diagrama de Bifurcación Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020-2021

La Ilustración 30, presenta el comportamiento cambiante de la población de la especie *Mycteroperca olfax* dado el factor antropogénico en el cual a medida que el H crece la población se ve disminuida dada la extración a la que esta sometida la especie. Esta especie tiene una población de 110 individuos con un tasa creciente de 0.89 % cada año, una capacidad maxima de carga de 504 individuos y una extraccion de 0.76 individuos cada año. El punto de Extraccion crítica para esta especie se establecio en 113 individuos, para este punto la población ya ha presentado un decremento considerable con una tendencia hacia su posible extinsion.

Ilustración 30. Diagrama de Bifurcación Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020-2021



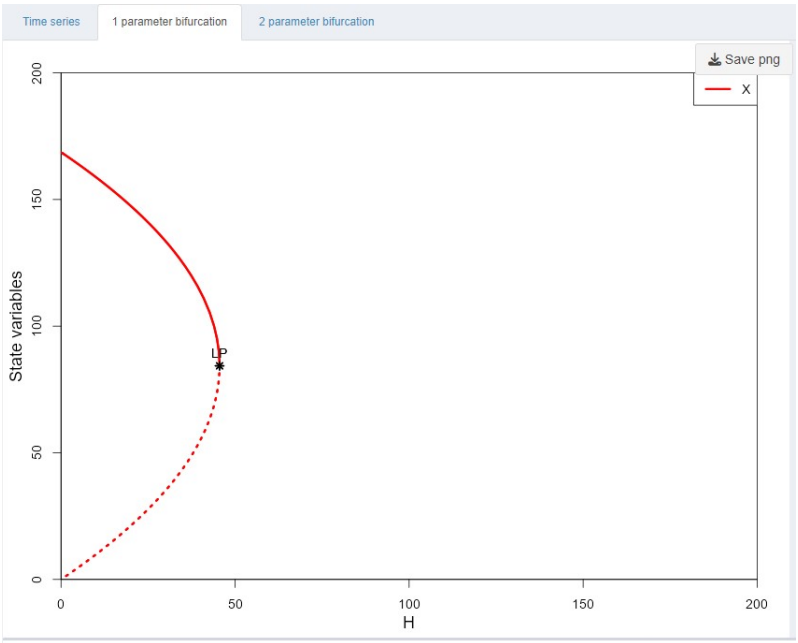
Fuente: Propia del autor

3.3.3.2. Diagrama de Bifurcación Especie: *Paralabrax albomaculatus*. Período 2020-2021

La Ilustración 31, expone la variabilidad en el comportamiento poblacional de la especie *Paralabrax albomaculatus* dado el factor antropogénico en el cual a medida que el H

crece la población se ve disminuida dada la extración a la que esta sometida la especie. Esta especie tiene una población de 57 individuos con un tasa creciente de 1.08 % cada año, una capacidad maxima de carga de 168 individuos y una extraccion de 0.28 individuos cada año. El punto de Extracción Crítica para esta especie se establecio en 45 individuos, para este punto la población ya ha presentado un decremento considerable con una tendencia hacia su posible extinsión.

Ilustración 31. Diagrama de Bifurcación Especie: *Paralabrax albomaculatus*. Período 2020-2021

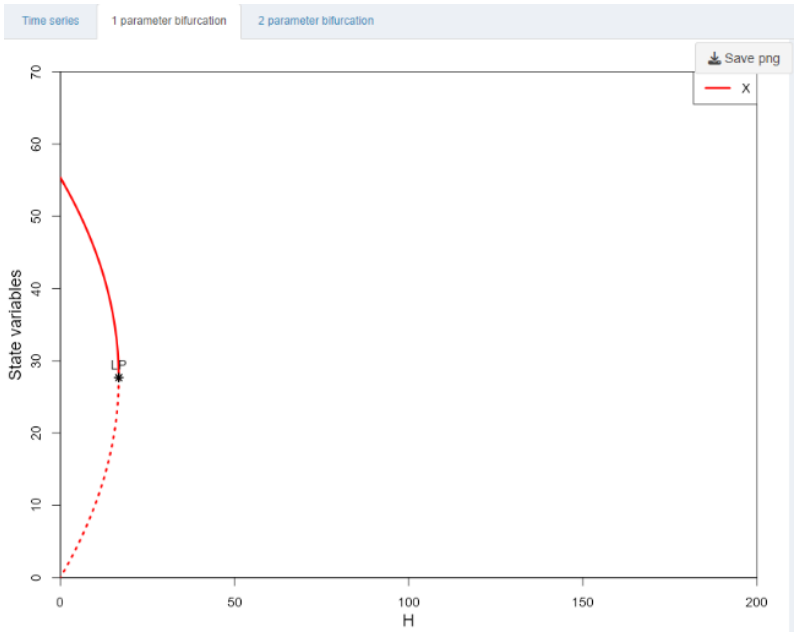


Fuente: Propia del autor

3.3.3.3. Diagrama de Bifurcación Especie: *Calamus taurinus*. Período 2020-2021

La Ilustración 32, presenta el comportamiento cambiante de la población de la especie *Calamus taurinus* dado el factor antropogénico en el cual a medida que el H crece la población se ve disminuida dada la extración a la que esta sometida la especie. Esta especie tiene una población de 12 individuos con un tasa creciente de 1.21 % cada año, una capacidad maxima de carga de 55 individuos y una extraccion de 0.006 individuos cada año. El punto de Extracción Crítica para esta especie se estableció en 16 individuos, para este punto la población ya ha presentado un decremento considerable con una tendencia hacia su posible extinsion.

Ilustración 32. Diagrama de Bifurcación Especie: *Calamus taurinus*, Período 2020-2021



Fuente: Propia del autor

Estos modelos desarrollados a partir de la función logística son considerados regionales, dado que la información se categorizó en función a las Bioregiones en la RMG.

El presente trabajo de investigación no considera otros tipos de enfoques o modelos más dinámicos como aquellos basados en migración o competencia.

CAPÍTULO IV

4. Resultados

4.1. Análisis de los Resultados

Una vez aplicado el modelo Logístico en las especies que han venido siendo monitoreadas en la RMG mediante el programa MES, tenemos los siguientes resultados:

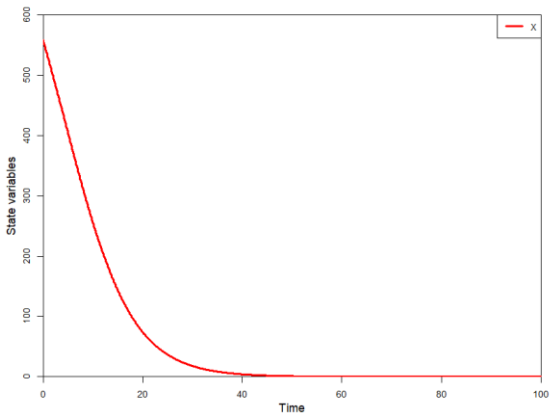
4.1.1. Resultados del Modelo Logístico de Crecimiento

Especie: *Girella freminvillii*

Período: 2004 - 2005

Bioregión: West

Ilustración 33. Curva Logística decreciente Especie: *Girella freminvillii*. Período: 2004 - 2005. Bioregión: West



Fuente: Propia del autor

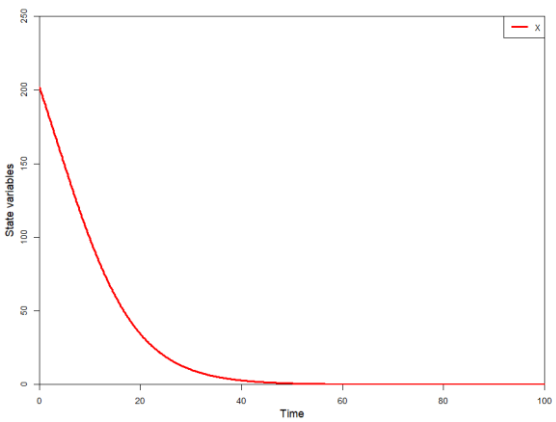
La ilustración 33, presenta una curva decreciente para la especie *Girella freminvillii* que inicia con una población de 558 individuos sobre la Bioregión West de la RMG en el año 2004, en la cual la población de esta especie muestra un decremento lento a razón de 0.15 % cada

Especie: *Melichthys niger*

Período: 2005 - 2006

Bioregión: Far north

Ilustración 34. Curva Logística decreciente Especie: *Melichthys niger*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: Far north



Fuente: Propia del autor

La ilustración 34, presenta una curva decreciente para la especie *Melichthys niger* que inicia con una población de 202 individuos sobre la Bioregión Far north de la RMG en el año 2005, en la cual la población de esta especie muestra un decremento lento a razón de 0.13 % cada año. Para esta

año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 847 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 20 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

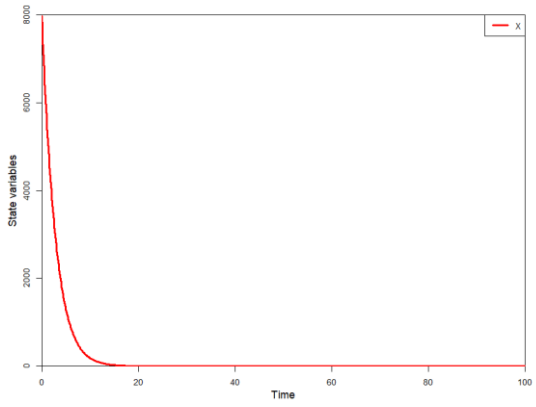
Para el 2004 es la única especie cuya información muestra condiciones necesarias para modelar su población.

Especie: *Cephalopholis colonus*

Período: 2005 - 2006

Bioregión: Far north

Ilustración 35. Curva Logística decreciente Especie *Cephalopholis colonus*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: Far north



Fuente: Propia del autor

Para la especie *Cephalopholis colonus* se muestra la ilustración 35, en la cual observa un decremento acelerado a medida que se proyecta en el tiempo en comparación a las dos especies anteriores, pese a contar con una población inicial grande de 7967 especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 331 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 30 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

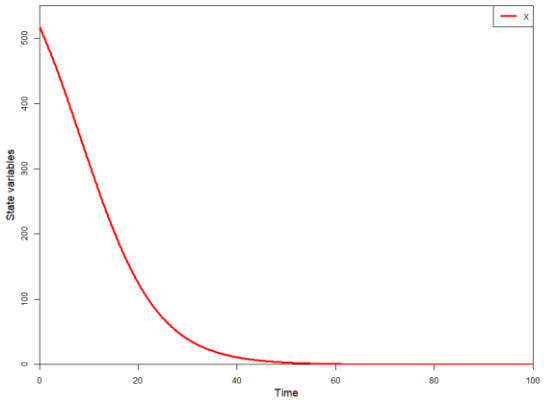
En comparación con la población de la especie *Girella freminvillii* que se muestra en la Ilustración 32, esta especie muestra una resistencia mayor.

Especie: *Ophioblennius steindachneri*

Período: 2005 - 2006

Bioregión: South east

Ilustración 36. Curva Logística decreciente Especie: *Ophioblennius steindachneri*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: South east



Fuente: Propia del autor

Otra de las poblaciones que muestra una preocupación es la que pertenece a la especie *Ophioblennius steindachneri*, la cual se presenta en la ilustración 36, donde se visualiza una curva decreciente, que inicia con una población de 518 individuos

individuos, tiene una alta tasa de reproducción de – 0.40, lo cual cada año la población se ve reducida un 40% de su tamaño inicial. Esta especie presenta una capacidad de carga 52588 individuos, que con la tasa de crecimiento que mantiene no llega a ese valor.

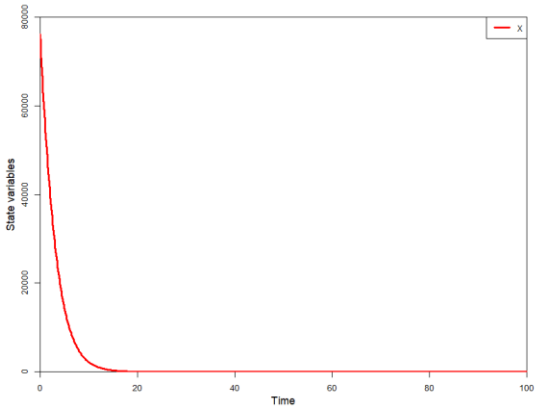
Se convierte en una de las especies que muestra una preocupación por el corto tiempo en el que su dinámica no la favorece.

Especie: *Apogon atradorsatus*

Período: 2005 - 2006

Bioregión: South east

Ilustración 37. Curva Logística decreciente Especie: *Apogon atradorsatus*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: Spouth east



Fuente: Propia del autor

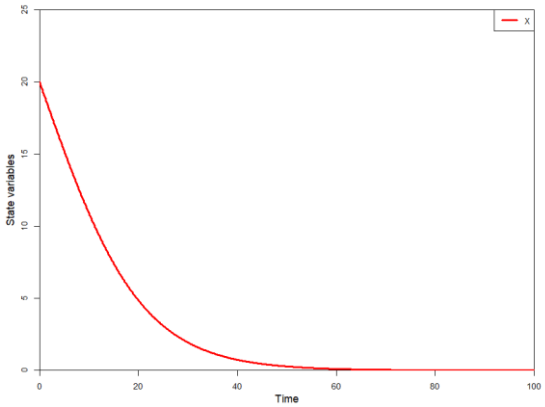
Para la siguiente ilustración 37, tenemos a la especie *Apogon atradorsatus* que presenta un decremento poblacional alto, esta especie inicia con una población de 76096 individuos sobre la Bioregión South east de la RMG en el año 2005, en la cual la sobre la Bioregión West de la RMG en el año 2005, en la cual la población de esta especie muestra un decremento lento a razón de 0.13 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 692 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 30 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Alphestes immaculatus*

Período: 2005 - 2006

Bioregión: South east

Ilustración 38. Curva Logística decreciente Especie: *Alphestes immaculatus*. Período: 2005 - 2006. Bioregión: South east



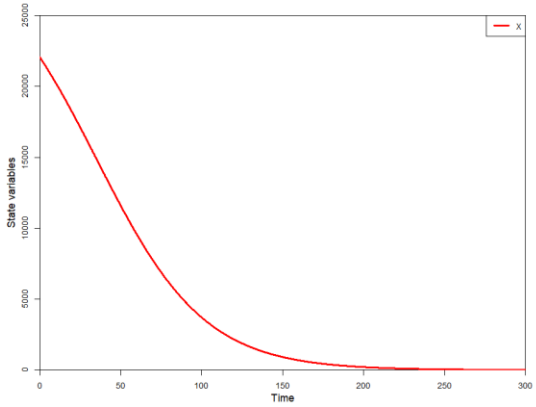
Fuente: Propia del autor

La ilustración 38, muestra la solución logística para la población de la especie *Alphestes immaculatus* en la Bioregión South east durante el año 2005, la cual inicia con una población pequeña de 20 individuos y una tasa de -0.10, lo quiere decir que su

población de esta especie muestra un decremento rápido de 0.38 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 301878 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 10 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Cephalopholis colonus*
Período: 2005 - 2006
Bioregión: South east

Ilustración 39. Curva Logística decreciente Especie: *Cephalopholis colonus*. Período: 2005 - 2006 Bioregión: South east



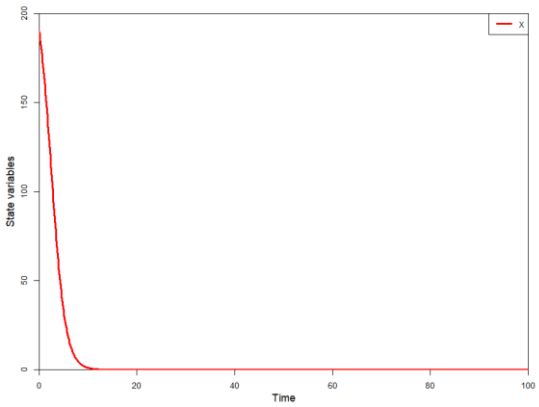
Fuente: Propia del autor

La ilustración 39, presenta una curva decreciente para la especie *Cephalopholis colonus* que inicia con una población de 22057 individuos sobre la Bioregión South east de la RMG en el año 2005, en la cual la población de esta especie muestra un decremento lento a razón de 0.02 % cada

población se ve reducida en un 0.10 % anual. Su capacidad de carga es de 39 individuos para la bioregión. En 20 años esta población ya se encuentra con una población demasiada baja al borde de desaparecer.

Especie: *Halichoeres nicholsi*
Período: 2006 - 2007
Bioregión: South east

Ilustración 40. Curva Logística decreciente Especie: *Halichoeres nicholsi*. Período: 2006 - 2007 Bioregión: South east



Fuente: Propia del autor

La siguiente ilustración 40, muestra la población de *Halichoeres nicholsi* en la Bioregión South east durante el 2016, esta población inicial cuenta con 190 individuos que decrece a una razón de 0.70 % del tamaño de esta población cada año, lo que concluye en un decremento acelerado

año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 29789 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, en el tiempo se visualiza una población que está al borde de la extensión.

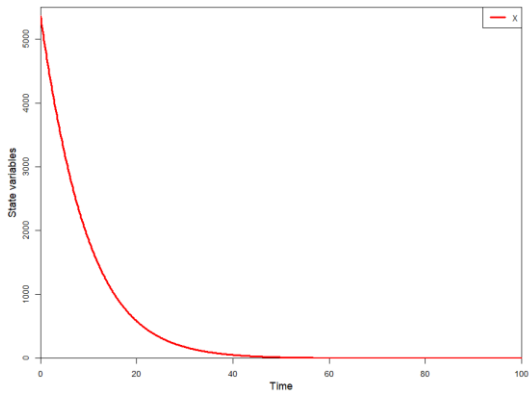
Este modelo muestra a una de las especies que más resistencia tiene en el tiempo marcada por su tasa de crecimiento.

Especie: *Thalassoma lucasanum*

Período: 2006 - 2007

Bioregión: South east

Ilustración 41. Curva Logística decreciente Especie: *Thalassoma lucasanum*. Período: 2006 - 2007. Bioregión: South east



Fuente: Propia del autor

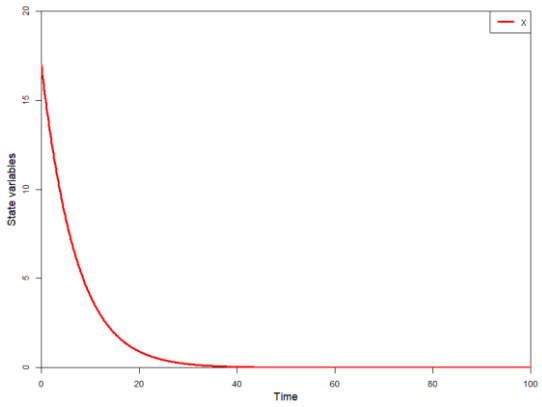
La ilustración 41, presenta una curva decreciente para la especie *Thalassoma lucasanum* que habita la Bioregión South east en el año 2006, esta población inicia con 5359 individuos y sufre un decremento lento a razón de 0.12 % cada año. Para esta mostrando un Período corto en el cual la especie experimenta problemas para mantenerse.

Especie: *Dermatolepis dermatolepis*

Período: 2007 - 2008

Bioregión: Far north

Ilustración 42. Curva Logística decreciente Especie: *Dermatolepis dermatolepis*. Período: 2007 - 2008. Bioregión: Far north



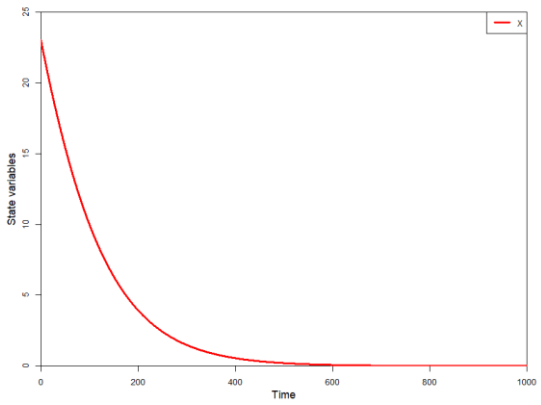
Fuente: Propia del autor

Se presenta en la Ilustración 42, la solución logística para la especie *Dermatolepis dermatolepis* mediante una curva decreciente que inicia con una población baja de 17 individuos sobre la Bioregión Far north de la RMG en el año 2007, en la cual

especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 28881 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 20 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Coryphopterus urospilus*
Período: 2007 - 2008
Bioregión: South east

Ilustración 43. Curva Logística decreciente Especie: *Coryphopterus urospilus*. Período: 2007 - 2008. Bioregión: South east



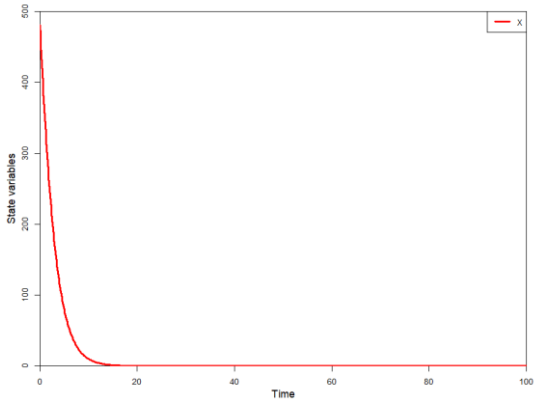
Fuente: Propia del autor

La ilustración 43, presenta una curva decreciente para la especie *Coryphopterus urospilus* que inicia con una población baja de 23 individuos sobre la Bioregión South east de la RMG en el año 2007, en la cual la población de esta especie muestra un decremento bastante lento a razón de 0.01%

la población de esta especie muestra un decremento lento a razón de 0.15 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 212 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 20 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Gobioclinus dendriticus*
Período: 2008 - 2009
Bioregión: Elizabeth

Ilustración 44. Curva Logística decreciente Especie: *Gobioclinus dendriticus*. Período: 2008 - 2009. Bioregión: Elizabeth



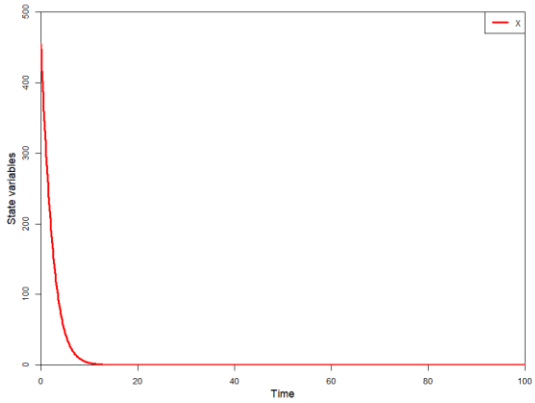
Fuente: Propia del autor

Se presenta la solución logística en la Ilustración 44, para la especie *Gobioclinus dendriticus* cuya población en la Bioregión Elizabeth es de 481 individuos para el 2008. El ecosistema en el que esta especie se encuentra soporta un máximo de 1648

cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 96 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 200 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Johnrandallia nigrirostris*
Período: 2008 - 2009
Bioregión: Far north

Ilustración 45. Curva Logística decreciente Especie: *Johnrandallia nigrirostris*. Período: 2008 - 2009. Bioregión: Far north



Fuente: Propia del autor

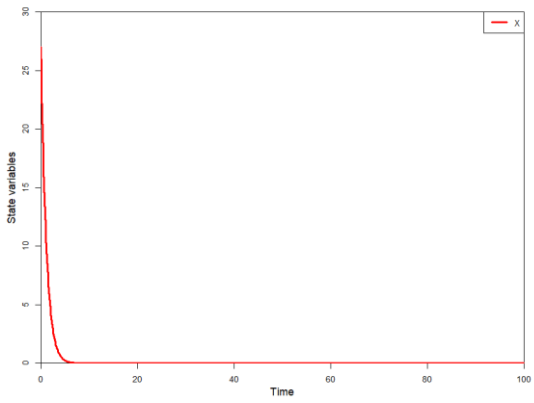
La ilustración 45, presenta una curva decreciente acentuada para la especie *Johnrandallia nigrirostris* que inicia con una población baja de 455 individuos sobre la Bioregión Far north de la RMG en el año 2008, en la cual la población de esta especie muestra un decremento rapido a razón de 0.53 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un

individuos y sufre un decremento anual en su población de 0.42 %.

El decremento que sufre esta especie es rápido lo que determina serios problemas para el décimo año.

Especie: *Canthigaster punctatissima*
Período: 2008 - 2009
Bioregión: Far north

Ilustración 46. Curva Logística decreciente Especie: *Canthigaster punctatissima*. Período: 2008 - 2009. Bioregión: Far north



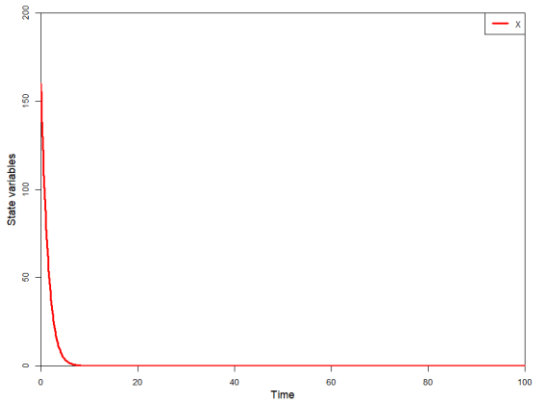
Fuente: Propia del autor

Para la Ilustración 46, tenemos a la especie *Canthigaster punctatissima* que presenta un decremento poblacional considerado, esta especie inicia con una población de 27 individuos sobre la Bioregión Far north de la RMG en el año 2008, en la cual la población de esta especie muestra un decremento rápido de 0.97 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un

máximo de 1247 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 10 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Stegastes arcifrons*
Período: 2008 - 2009
Bioregión: South east

Ilustración 47. Curva Logística decreciente Especie: *Stegastes arcifrons*. Período: 2008-2009. Bioregión: South east



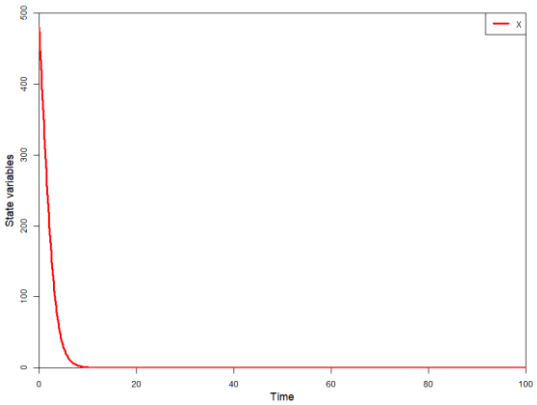
Fuente: Propia del autor

Para la especie *Stegastes arcifrons* se presenta la solución logística basada en una curva decreciente, esta población inicial es de 160 y se reduce a razón de 0.81% anual, lo que concluye con que la especie se ve reducida en los próximos 5 años, como se muestra en la Ilustración 46. La capacidad de carga que tiene este entorno esta alrededor de 513.

máximo de 125 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir de 5 Períodos se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Holacanthus passer*
Período: 2008 - 2009
Bioregión: South east

Ilustración 48. Curva Logística decreciente Especie: *Holacanthus passer*. Período: 2008-2009. Bioregión: South east



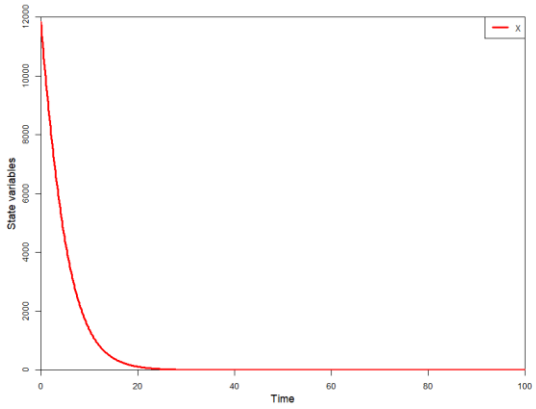
Fuente: Propia del autor

La ilustración 48, presenta una curva decreciente acentuada para la especie *Holacanthus passer* que inicia con una población baja de 480 individuos sobre la Bioregión South east de la RMG en el año 2008, en la cual la población de esta especie muestra un decremento rápido a razón de 0.75 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 747 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir

del Período 5 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Cephalopholis colonus* Período: 2008 - 2009
Bioregión: South east

Ilustración 49. Curva Logística decreciente Especie: *Cephalopholis colonus*. Período: 2008 - 2009. Bioregión: South east

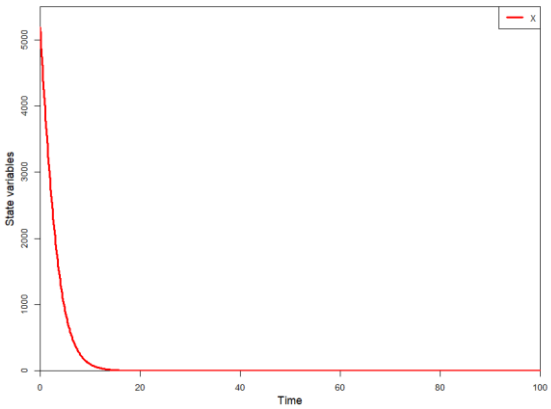


Fuente: Propia del autor

La solución que presenta la Ilustración 49, basada sobre una curva decreciente a partir del modelo logístico, muestra un decremento anual continuo a razón de 0.25 % en la población de la especie *Cephalopholis colonus.* Esta especie que inicia con una población de 11839 dada su tasa baja negativa muestra problemas a partir del décimo año.

Especie: *Apogon atradorsatus*
Período: 2009 - 2010
Bioregión: Elizabeth

Ilustración 50. Curva Logística decreciente Especie: *Apogon atradorsatus*. Período: 2009 - 2010. Bioregión: Elizabeth



Fuente: Propia del autor

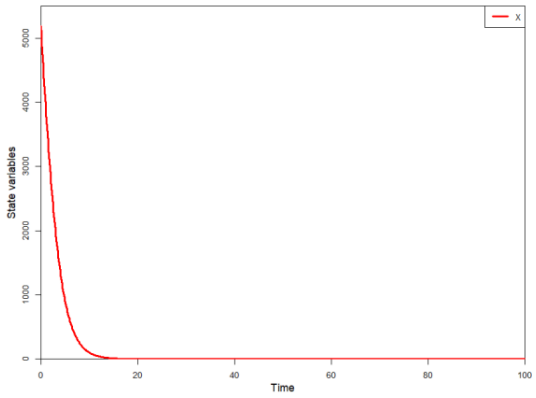
La ilustración 50, presenta una curva decreciente acentuada para la especie *Apogon atradorsatus* que inicia con una población baja de 4015 individuos sobre la Bioregión Elizabeth de la RMG en el año 2009, en la cual la población de esta especie muestra un decremento rápido a razón de 1.02 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 43885 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 10 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Stegastes beebei*

Período: 2009 - 2010

Bioregión: Elizabeth

Ilustración 51. Curva Logística decreciente Especie: *Stegastes beebei*. Período: 2009 - 2010. Bioregión: Elizabeth



Fuente: Propia del autor

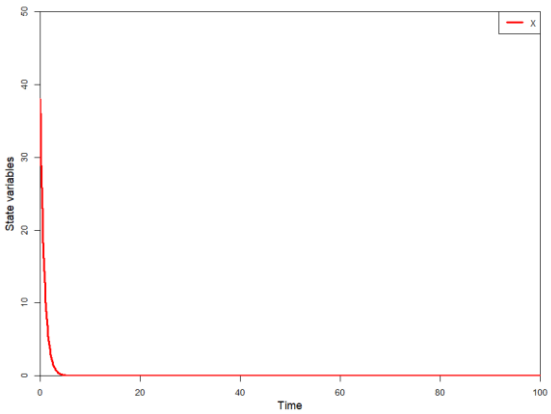
Se presenta en la Ilustración 51, la solución logística para la especie *Stegastes beebei* mediante una curva decreciente que inicia con una población baja de 5190 individuos sobre la Bioregión Elizabeth de la RMG en el año 2009, en la cual la población de esta especie muestra un decremento a razón de 0.44 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 11591 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del décimo año se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Mulloidichthys dentatus*

Período: 2009 - 2010

Bioregión: Far north

Ilustración 52. Curva Logística decreciente Especie: *Mulloidichthys dentatus*. Período: 2009 - 2010. Bioregión: Far north



Fuente: Propia del autor

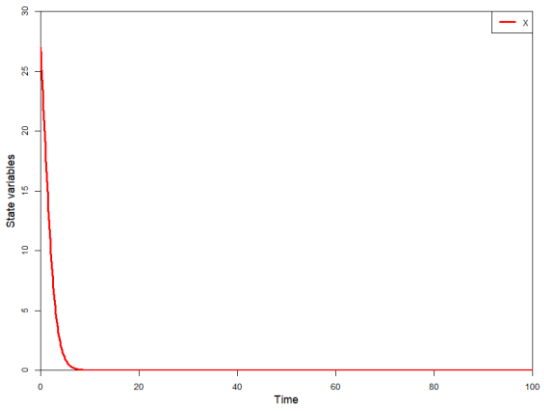
La población de la especie *Mulloidichthys dentatus* se muestra en la Ilustración 52, inicialmente esta especie mantiene una población de 38 individuos con una tasa anual de -1.21 (una de las más bajas), que hace que la población sufra decremento constante. El ecosistema que mantiene a esta especie tiene una capacidad máxima de carga de 247. Esta representación muestra una preocupación a partir del tercer año.

Especie: *Scarus rubroviolaceus*

Período: 2010 - 2011

Bioregión: Far north

Ilustración 53. Curva Logística decreciente Especie: *Scarus rubroviolaceus*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: Far north



Fuente: Propia del autor

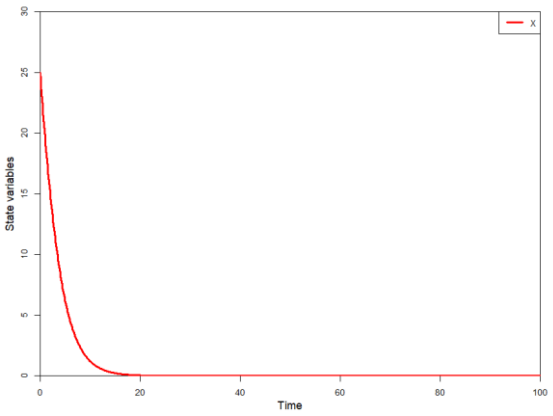
Para la Ilustración 53, tenemos a la especie *Scarus rubroviolaceus* que presenta un decremento poblacional considerado, esta especie inicia con una población de 27 individuos sobre la Bioregión Far north de la RMG en el año 2010, en la cual la población de esta especie muestra un decremento rápido de 0.89 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 39 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir de 5 Períodos se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Sphoeroides annulatus*

Período: 2010 - 2011

Bioregión: West

Ilustración 54. Curva Logística decreciente Especie: *Sphoeroides annulatus*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: West



Fuente: Propia del autor

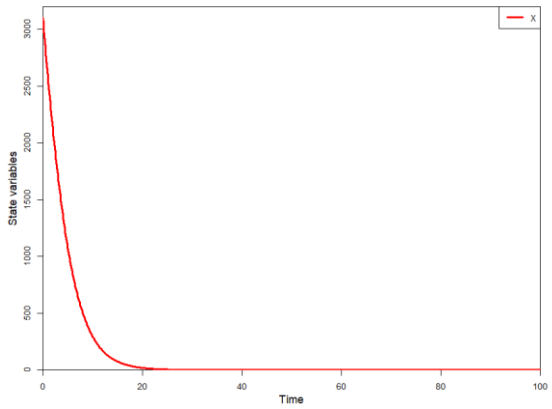
La ilustración 54, presenta una curva decreciente para la especie *Sphoeroides annulatus* que inicia con una población pequeña de 25 individuos sobre la Bioregión West de la RMG en el año 2010, en la cual la población de esta especie muestra un decremento lento a razón de 0.33 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 76 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del décimo Período se visualiza una población con problemas de poca densidad.

Especie: *Prionurus laticlavius*

Período: 2010 - 2011

Bioregión: North

Ilustración 55. Curva Logística decreciente Especie: *Prionurus laticlavius*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: North



Fuente: Propia del autor

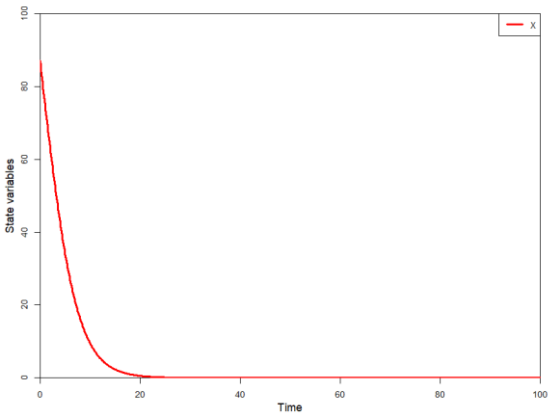
La población de la especie *Prionurus laticlavius* se muestra en la Ilustración 55, inicialmente esta especie mantiene una población de 3102 individuos con una tasa anual de -0.27, que hace que la población sufra decremento constante. El ecosistema que mantiene a esta especie tiene una capacidad máxima de carga de 8005. Esta representación muestra una preocupación a partir del décimo año.

Especie: *Scarus ghobban*

Período: 2010 - 2011

Bioregión: South east

Ilustración 56. Curva Logística decreciente Especie*: Scarus ghobban*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: South east



Fuente: Propia del autor

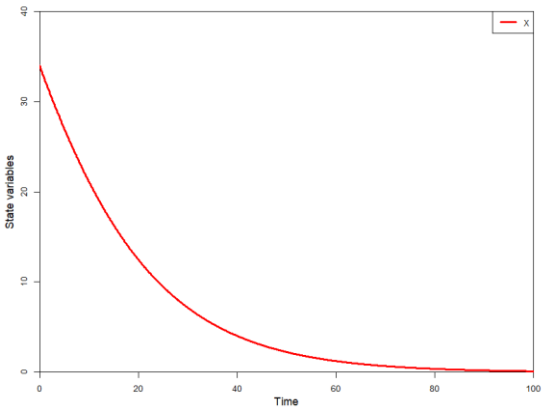
Se presenta en la Ilustración 56 la solución logística para la especie *Scarus ghobban* mediante una curva decreciente que inicia con una población baja de 87 individuos sobre la Bioregión South east de la RMG en el año 2010, en la cual la población de esta especie muestra un decremento a razón de 0.29 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 165 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del décimo año se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Chaetodon humeralis*

Período: 2010 - 2011

Bioregión: South east

Ilustración 57. Curva Logística decreciente Especie: *Chaetodon humeralis*. Período: 2010 - 2011. Bioregión: South east



Fuente: Propia del autor

La solución a la especie *Chaetodon humeralis,* se presenta mediante la curva decreciente de la Ilustración 57. Esta especie inicia con una población de 34 individuos que decrece a razón de 0.05 % anual. El ecosistema que soporta esta especie tiene una capacidad de carga de 131 individuos, pero dado una tasa negativa la población no supera este valor.

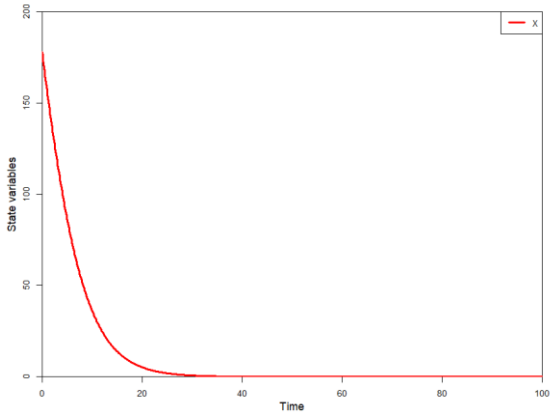
La ilustración determina serios problemas para la especie a partir del Período 40.

Especie: *Abudefduf troschelii*

Período: 2011 - 2012

Bioregión: Elizabeth

Ilustración 58. Curva Logística decreciente Especie: *Abudefduf troschelii*. Período: 2011 - 2012. Bioregión: Elizabeth



Fuente: Propia del autor

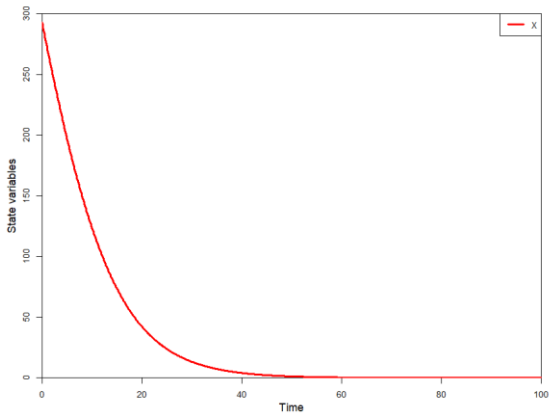
La ilustración 58, presenta una curva decreciente para la especie *Abudefduf troschelii* que inicia con una población de 178 individuos sobre la Bioregión Elizabeth de la RMG en el año 2011, en la cual la población de esta especie muestra un decremento a razón de 0.20 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 460 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del Período 15 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Mycteroperca olfax*

Período: 2011 - 2012

Bioregión: Elizabeth

Ilustración 59. Curva Logística decreciente Especie: *Mycteroperca olfax*. Período: 2011 - 2012. Bioregión: Elizabeth



Fuente: Propia del autor

Se presenta la solución logística para la especie *Mycteroperca olfax* como se muestra en la Ilustración 59, cuya población en la Bioregión Elizabeth es de 393 individuos para el 2011. El ecosistema en el que esta especie se encuentra soporta un máximo de 713 individuos y sufre un decremento anual en su población de 0.11 %.

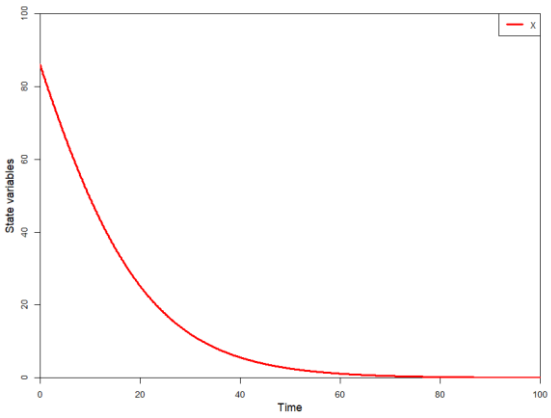
El decremento que sufre esta especie se ve seriamente afectada dentro de un Período 20 años.

Especie: *Scarus ghobban*

Período: 2011 - 2012

Bioregión: South east

Ilustración 60. Curva Logística decreciente Especie: *Scarus ghobban*. Período: 2011 - 2012. Bioregión: South east



Fuente: Propia del autor

La ilustración 60, presenta una curva decreciente para la especie *Scarus ghobban*, que inicia con una población de 86 individuos sobre la Bioregión South east de la RMG en el año 2011, en la cual la población de esta especie muestra un decremento lento a razón de 0.07 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 218 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 30 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

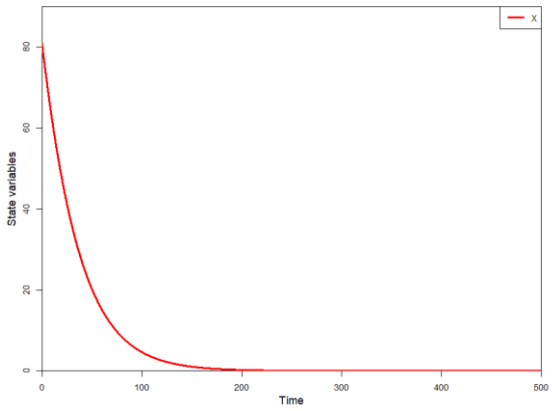
Especie: *Mycteroperca olfax*

Período: 2011 - 2012

Especie: *Thalassoma lucasanum* Período: 2012 - 2013

Bioregión: South east

Ilustración 61. Curva Logística decreciente Especie: *Mycteroperca olfax*. Período: 2011 - 2012. Bioregión: South east

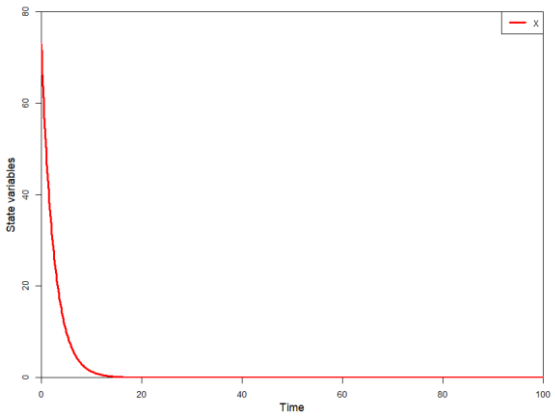


Fuente: Propia del autor

Para la Ilustración 61, tenemos a la especie *Mycteroperca olfax* conocido Bacalao que presenta un decremento poblacional, esta especie inicia con una población de 81 individuos sobre la Bioregión South east de la RMG en el año 2011, en la cual la población de esta especie muestra un decremento lento de 0.02 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 592 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir de 100 Períodos se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Bioregión: Elizabeth

Ilustración 62. Curva Logística decreciente Especie: *Thalassoma lucasanum*. Período: 2012 - 2013. Bioregión: Elizabeth



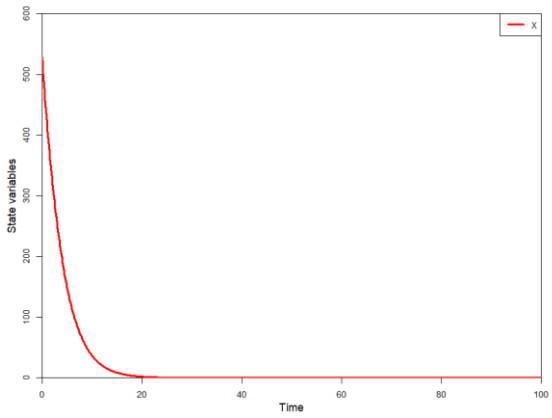
Fuente: Propia del autor

La ilustración 62, presenta una curva decreciente para la especie *Thalassoma lucasanum* que inicia con una población pequeña de 73 individuos sobre la Bioregión Elizabeth de la RMG en el año 2012, en la cual la población de esta especie muestra un decremento lento a razón de 0.39 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 2857 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del décimo Período se visualiza una población con problemas de poca densidad.

Especie: *Anisotremus scapularis* Período: 2012 - 2013

Bioregión: West

Ilustración 63. Curva Logística decreciente Especie: *Anisotremus scapularis*. Período: 2012 - 2013. Bioregión: West



Fuente: Propia del autor

Para la especie *Anisotremus scapularis* se muestra la ilustración 63, en la cual observa un decremento a medida que se proyecta en el tiempo, cuenta con una población inicial de 529 individuos, tiene una tasa de reproducción de – 0.28 lo cual cada año la población se ve reducida un 28% de su tamaño inicial. Esta especie presenta una capacidad de carga 2326 individuos, que con la tasa de crecimiento que mantiene no llega a ese valor.

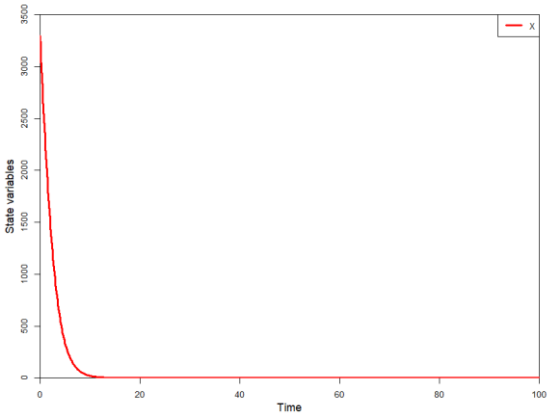
Se convierte en una de las especies que muestra una preocupación por el corto tiempo en el que su dinámica no la favorece.

Especie: *Stegastes beebei*

Período: 2012-2013

Bioregión: West

Ilustración 64. Curva Logística decreciente Especie: *Stegastes beebei*. Período: 2012 - 2013. Bioregión: West



Fuente: Propia del autor

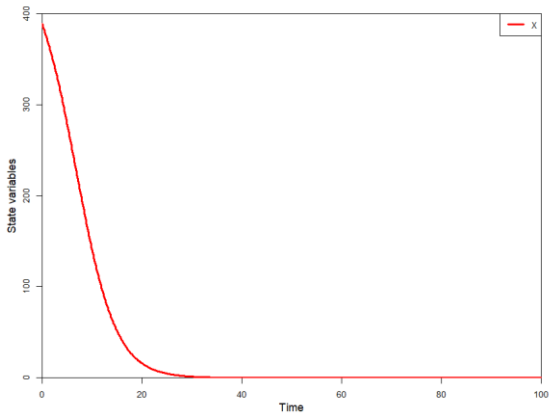
Otra de las poblaciones que muestra una preocupación es la que pertenece a la especie *Stegastes beebei*, la cual se presenta en la ilustración 64, donde se visualiza una curva decreciente, que inicia con una población de 3295 individuos sobre la Bioregión West de la RMG en el año 2012, en la cual la población de esta especie muestra un decremento lento a razón de 0.55 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 7493 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 30 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

Especie: *Bodianus diplotaenia*

Período: 2012-2013

Bioregión: North

Ilustración 65. Curva Logística decreciente Especie: *Bodianus diplotaenia*. Período: 2012 - 2013. Bioregión: North



Fuente: Propia del autor

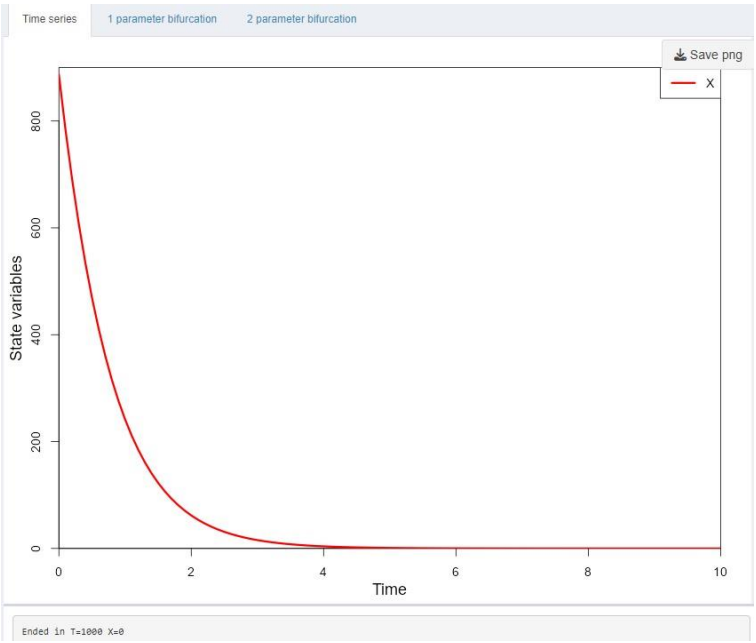
La ilustración 65, presenta una curva decreciente para la especie *Bodianus diplotaenia* que inicia con una población de 558 individuos sobre la Bioregión West de la RMG en el año 389, en la cual la población de esta especie muestra un decremento a razón de 0.24 % cada año. Para esta especie se determina que el ecosistema soporta un máximo de 461 individuos, lo cual dada una tasa negativa no alcanza este umbral, a partir del tiempo 20 se visualiza una población que está al borde de la extensión.

A continuación, para los últimos años (2020, 2021 y 2022) se realiza un análisis más a detalle sobre las especies que muestran ser de interés dado el decremento que sufren sus poblaciones.

Especie: *Apogon atradorsatus*. Período: 2020 - 2021. Bioregión: West

Para la especie *Apogon atradorsatus* que habita la Bioregión West se muestra la siguiente Ilustración 66, la cual describe como esta población evoluciona a lo largo del tiempo mediante la curva logistica. Inicialmente la población comienza con una población de 887 individuos para el año 2020, con una tasa de crecimiento anual negativa indicando que la población dismuirá en el tiempo en 1.38 % cada año.

Ilustración 66. Curva Logística decreciente Especie: Apogon atradorsatus. Período 2020 - 2021. Bioregión West



Fuente: Propia del autor

Si bien la capacidad de carga de 8062 individuos para esta especie en la Bioregión West representa el nivel maximo teorico de individuos que esta Bioregion puede soportar, la población de esta especie dada una tasa de crecimiento negativa no alcanza esta capacidad de carga al contrario su población se ve disminuida a medida que avanza en el tiempo, el resultado de la curva decreciente se debe al incremento negativo en la tasa de crecimiento alcanzando un punto crítico al cuarto año dado que según la representación para ese

tiempo se estimaría cerca de 4 individuos para esta Bioregión lo cual se podría determinar como una población casi extinta.

Basado en informacion del "Listado de especies pesqueras de interes comercial en la RMG" (DPNG, 2019) esta especie no es considerada de caracterer extractivo, por lo que tampoco se muestra valores de captura en en el Anexo 1 de la "Evaluación integral de las pesquerías de pequeña escala de Galápagos" (Ramírez-González *et al.*, 2022), sin embargo su ausencia o decremento poblacional para este año coincide con el fenomeno de la niña que según la NOAA reportó valores de temperaturas bajas, y dado que según fishbase (conocida como la base de datos global en linea sobre peces) el rango de preferencia térmica para esta especie oscila entre 23.3 y 28.6°C con una media de 26.7°C, estaria resultando ser perjudicial para esta especie, pudiendo considerarse adicional como un efecto de este fenómeno la reducción de esta población y otras que compartan características similares.

Cabe mencionar que no se han realizado evaluaciones que deteminen los efectos de fenonemos como el Niño o Niña sobre las poblaciones de especies demersales en la RMG.

Especie: *Azurina atrilobata.* Período: 2021 - 2022. Bioregión: South East

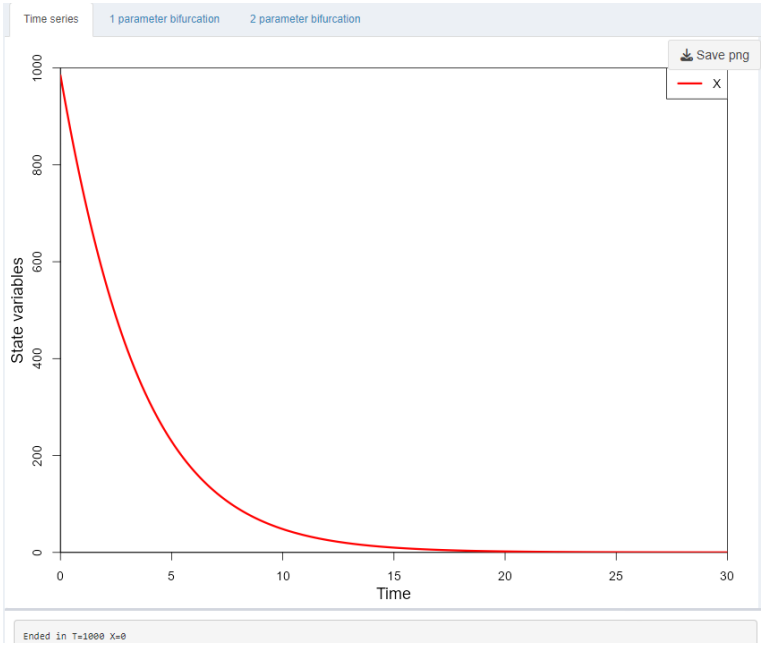
La siguiente representacion muestra una curva que demuestra el crecimiento de la población de la especie *Azurina atrilobata* a lo largo del tiempo. La curva comienza en el año 2020 con una población de 985 individuos y esta descrece a medida que el tiempo avanza dada una tasa de reproducción anual negativa de -0.318, lo que significa que la población disminuirá en un 0.318 % cada año, como se muestra en la Ilustración 67.

Se considera una máxima capacidad de carga de 6320 individuos para este Período y Bioregión en la ecuación logística, pero dado que para este Período se presenta una tasa de crecimiento negativa su población sufre un decremento por lo que nunca llegara a este máximo valor.

La representación muestra una asíntota hacia una población casi reducida para el décimo año en el que se estimaría una población de 48 individuos. Esta especie presenta según Fishbase un rango de preferencia térmica entre 21.2 - 28.5, con una media de 25.9 °C y dado que para este año 2021 según la NOAA también se reportaron bajas temperaturas,

pero en referencia con el año 2020 han sido un poco menor, este decremento coincide en los efectos que pudiesen ocasionar la temperatura cambiante de las aguas del Océano.

Ilustración 67. Curva Logística decreciente Especie: Azurina atrilobata. Período 2021 - 2022. Bioregión South East



Fuente: Propia del autor

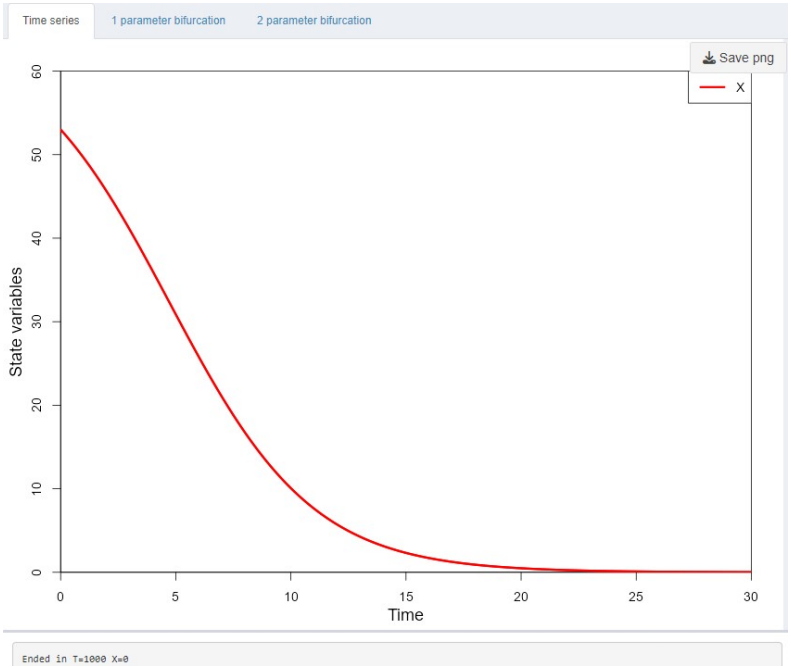
Especie: *Calamus taurinus.* Período: 2021 - 2022. Bioregión: Elizabeth

Para una poblacion pequeña de 53 individuos como la del *Calamus taurinus* en la Bioregión Elizabeth en el año 2021, se determino un maxima capacidad carga de 64 individuos y una tasa de crecimiento de -0.32, lo cual establece que su población se ve reducida en un 0.32% anualmente como se muestra en la Ilustración 68, y esta tasa se ve reducida a medida en el tiempo llegando reducirse la población en un 3.2 % anual para el decimo año, en el que la población decreceria a 10 individuos, de modo que se presenta una curva logistica con una tendencia decreciente para esta población.

Esta especie considerada extractiva según información del listado de especies pesqueras (DPNG, 2019) muestra en el Anexo 1 de la "Evaluación integral de las pesquerías de pequeña escala de Galápagos" (Ramírez-González *et al.*, 2022) para el año 2020 extracciones consideradas aun bajas respecto a otras especies de carácter comercial como el bacalo. Si bien no se cuenta con informacion de extracciones para el año 2021, se puede evidenciar que la presion pesquera de esta especie empezaría desde el 2020, por lo que

estaría siendo sometida a algunas presiones dado que tambien muestra cierta afectación sus poblaciones (dado su rango de preferencia termica de entre 18 - 23.3, con una media de 21.3 °C) respecto a las temperaturas bajas reportadas para años recientes.

Ilustración 68. Curva Logística decreciente Especie: Calamus taurinus. Período 2021 - 2022. Bioregión Elizabeth



Fuente: Propia del autor

Especie: *Cirrhithichthys oxycephalus.* Período: 2021 - 2022. Bioregion: South east

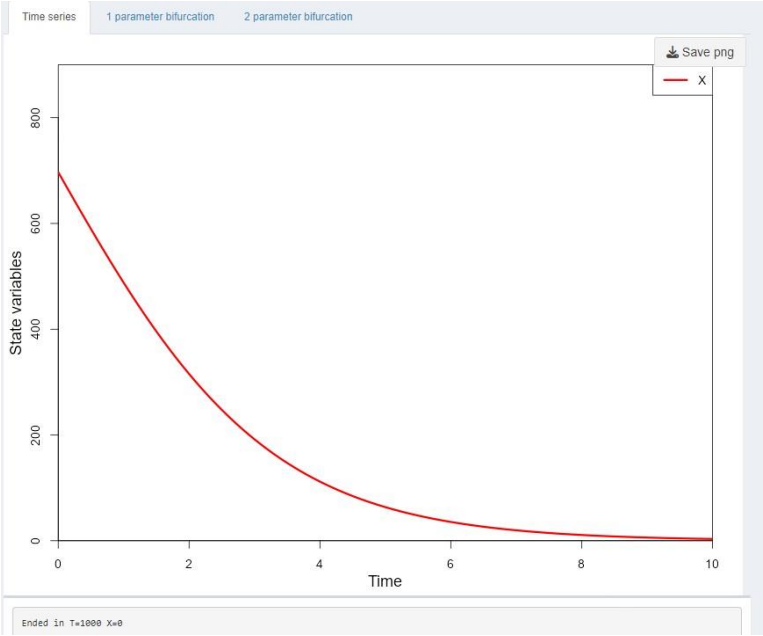
Para el 2021 en la Bioregión South East la población de la especie *Cirrhithichthys oxycephalus* cuenta con una máxima capacidad de carga de 1452 individuos e inicia con una población de 697 individuos que decrece a un 0.60% anual considerando.

La representación de la curva logística determina una especie cuya población se ve comprometida en el tiempo dada su tasa de crecimiento negativa. Es así que para el décimo año con una tasa del -6 su población se ve reducida a apenas a 3 individuos como se muestra en la Ilustración 69.

Si bien esta especie no es considerada de carácter extractivo, su rango de preferencia según Fishbase está entre 23.2 - 25.9 con una media de 24.9 °C, hay una coincidencia con las bajas temperaturas reportadas para el 2021 según la NOAA por lo que su decremento

poblacional pudo haber estado influenciado por los efectos de fenómenos naturales como la niña.

Ilustración 69. Curva Logística decreciente Especie: Cirrhithichthys oxycephalus. Período 2021 - 2022. Bioregión South east



Fuente: Propia del autor

4.1.2. Resultados del Modelo Logístico de Crecimiento con Rendimiento Constante

Para esta evaluación con enfoque extractivo sobre el modelo Logístico se han considerado especies cuyo interés comercial es alto teniendo así los siguientes resultados:

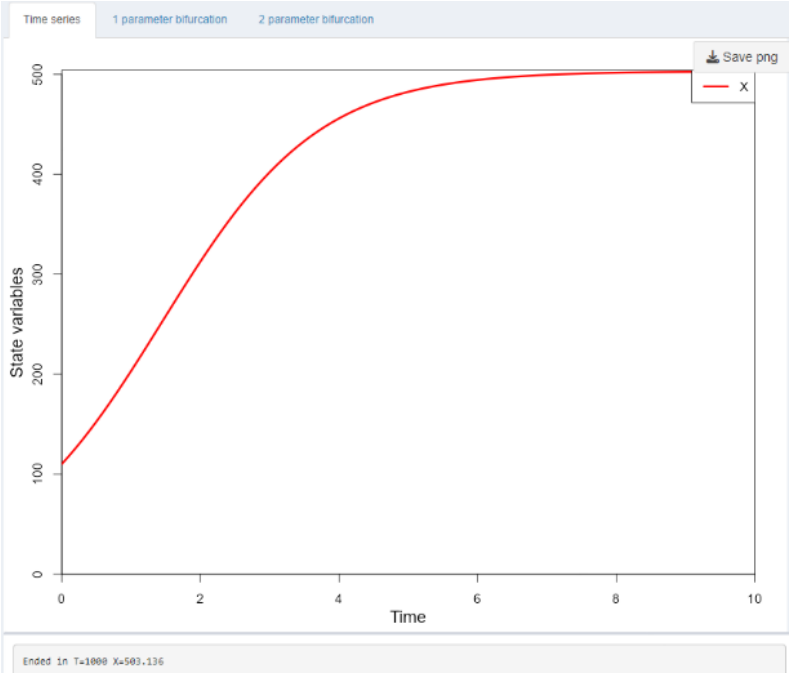
Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021

En la siguiente representación se muestra la solución logística dando un enfoque de extracción con rendimiento constante para la especie *Mycteroperca olfax* conocida como Bacalao, la cual presenta inicialmente una población de 110 individuos que crece con el tiempo a un ritmo de 0.89 % cada año, así lo demuestra la curva logística creciente en la Ilustración 70, que a pesar de que el ecosistema soporte hasta 504 individuos, en el tiempo llegaría máximo a 503 individuos debido a la extracción que se produce de 0.76 individuos por cada año. Si bien existe extracción, el efecto sobre esta población es mínima.

Dado un valor de extracción anual de 75472 libras en el 2020 para toda la RMG, se realiza una proyección para el área total monitoreado que comprende de 56 transectos, cada uno de ellos con un área de $250m^2$ en el año 2020.

Las bajas temperaturas en el océano durante estos últimos años según información de la NOAA estarían favoreciendo las poblaciones de Bacalao, pues según FishBase su preferencia térmica se encuentra entre 14.5 - 23.7 con una media de 19.3 °C, lo que explicaría porque a pesar de haber extracción su población no se encuentra tan afectada.

Ilustración 70. Curva Logística creciente bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021

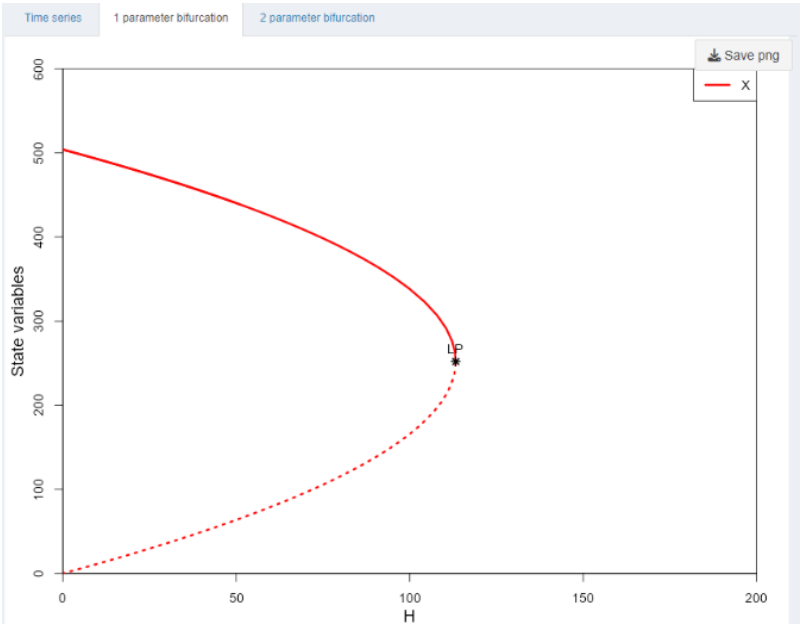


Fuente: Propia del autor

La siguiente solución presentada en la Ilustración 71, se basa en el diagrama de Bifurcación que muestra el comportamiento cambiante de la población dado el factor extractivo en el cual a medida que el H crece la población se ve disminuida dada la extración a la que esta sometida la especie, para el presente escenario se estableció el punto de Extracción Crítica de esta especie para este año en 113 individuos sobre un area total que representa la cantidad de transectos monitoreados, en este punto la población ya ha presentado un decremento considerable con una tendencia hacia su posible extinsión. Si bien este análisis presenta 2 soluciones a partir del H Crítico la solución real es la que

se presenta mediante la linea continua, dado que la linea punteada termina siendo una solucion imaginaria no teniendo un significado biológico.

Ilustración 71. Diagrama de Bifurcación bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021



Fuente: Propia del autor

Especie: *Paralabrax albomaculatus.* Período: 2020 - 2021

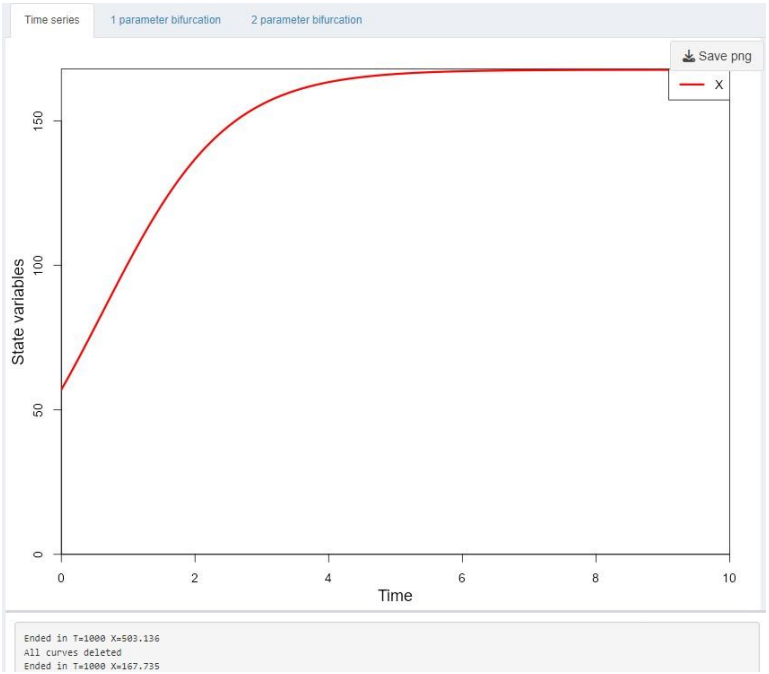
Conocido como camotillo, *paralabrax albomaculatus* es otra de las especies de interés comercial cuyos valores de extracción están por debajo del Bacalao.

Previo análisis mediante el modelo logístico con enfoque de rendimiento constante como se muestra en la Ilustración 72, se concluye que para el año 2020 en el área de monitoreo esta especie con una población de 57 individuos y una capacidad de carga de 168 individuos presenta una tasa de crecimiento del 1.08 % cada año, lo cual se representa mediante la curva logística creciente pero no está alcanza su capacidad máxima de 168 individuos dado una extracción de 0.28 individuos.

Esta especie inicialmente presenta un valor extractivo de 28138 libras para el 2020 en toda la RMG, por lo que se realiza una proyección con el objetivo de establecer la cantidad de individuos para el área total monitoreado que comprende de 56 transectos, cada uno de ellos con un área de $250m^2$.

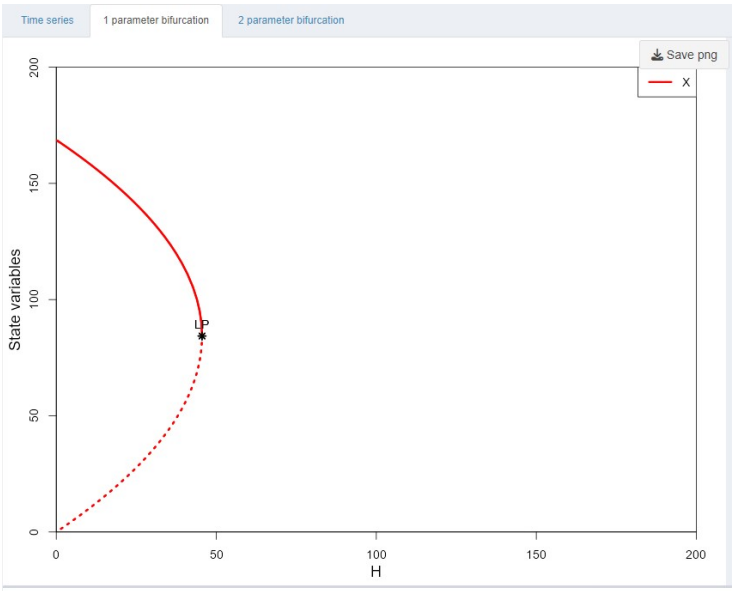
Esta especie al igual que el Bacalao tiene una preferencia térmica baja según FishBase y dada las temperaturas bajas reportadas en los dos últimos años según la NOAA estarían favoreciendo dichas poblaciones.

Ilustración 72. Curva Logística creciente bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Paralabrax albomaculatus*. Período 2020 - 2021



Fuente: Propia del autor

Ilustración 73. Diagrama de Bifurcación bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Paralabrax albomaculatus*. Período 2020 - 2021



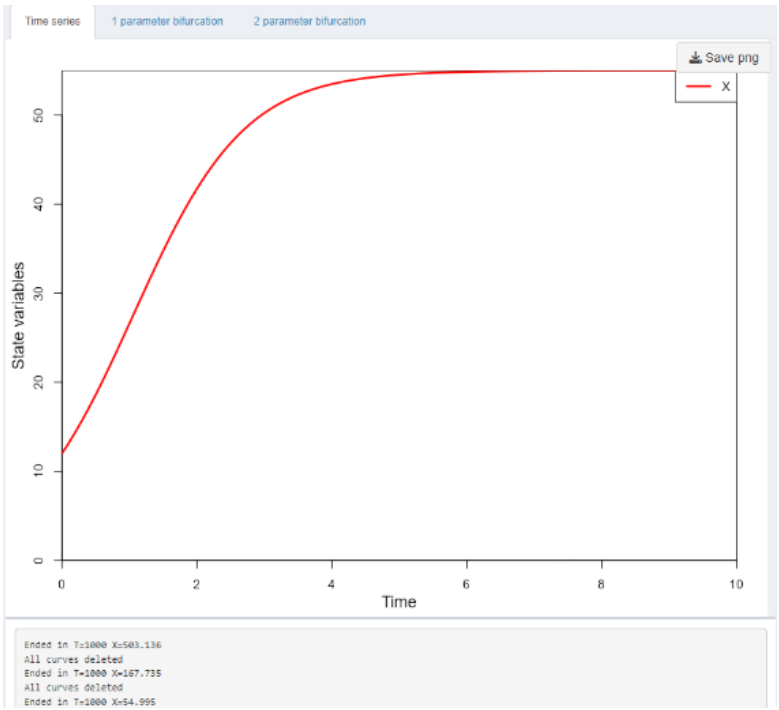
Fuente: Propia del autor

El sdiagrama de Bifurcación que se muestra en la Ilustración 73, describe la solución al comportamiento cambiante de la población de esta especie, que inicia con una población de 57 individuos y se ve dismuída a medida que se extraen más y más las especies representado por el H. Mediante esta representación se logra determinar el H Crítico en 45 individuos, a partir del cual ya su población se ve reducida con tendencia en el tiempo hacia la extinción. La solución real es la que se presenta mediante la linea contínua, dado que la linea punteada termina siendo una solución imaginaria no teniendo un significado biológico.

Especie: *Calamus taurinus.* Período: 2020 - 2021

La última solución logística con enfoque de rendimiento contante que se muestra en la Ilustración 74, refiere para la especie *Calamus taurinus* en el año 2020 la cual presenta una población de 12 individuos con una capacidad de carga máxima de 55 individuos y una tasa de crecimiento de 1.21 % cada año, se puede visualizar una curva logística creciente que se aproxima a la capacidad, pero esta no llega dada la extracción de 0.006 individuos que se presenta en el modelo.

Ilustración 74. Curva Logística creciente bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Calamus taurinus*. Período 2020 - 2021



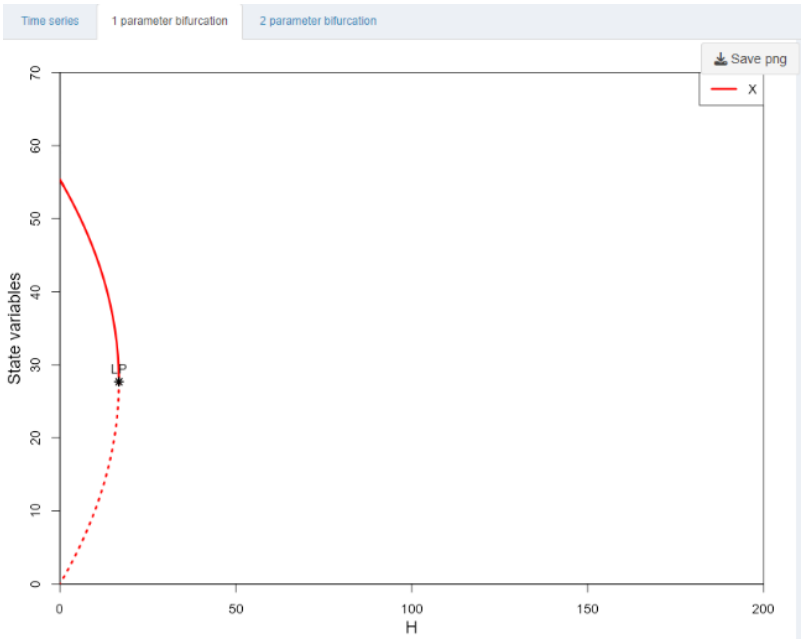
Fuente: Propia del autor

Para el 2020 esta especie presenta una extracción de 600 libras en toda RMG, de modo que se realiza una proyección para el área total monitoreado que comprende de 56 transectos cada uno de ellos con un área de $250m^2$ en el año 2020.

Esta especie presenta una preferencia térmica entre 18 a 23.3 con una media de 21.3 °C, la cual es mayor respecto al Bacalao y Camotillo de modo que las temperaturas bajas recientes no favorecen a esta población siendo perjudicial en su crecimiento.

En la Ilustración 75, se presenta el diagrama de Bifurcación para la especie *calamus taurinus*, la cual muestra diferentes escenarios para distintos valores de extracción, logrando determinar el H Critico en 16 individuos, a partir del cual ya su población se ve reducida con tendencia en el tiempo hacia la extinción. La solución real es la que se presenta mediante la linea continua, dado que la linea punteada termina siendo una solución imaginaria no teniendo un significado biológico.

Ilustración 75. Diagrama de Bifurcación bajo un enfoque de rendimiento constante Especie: *Calamus taurinus*. Período 2020 - 2021



Fuente: Propia del autor

4.1.3. Resultados del Modelo Logístico de Crecimiento con Esfuerzo Constante

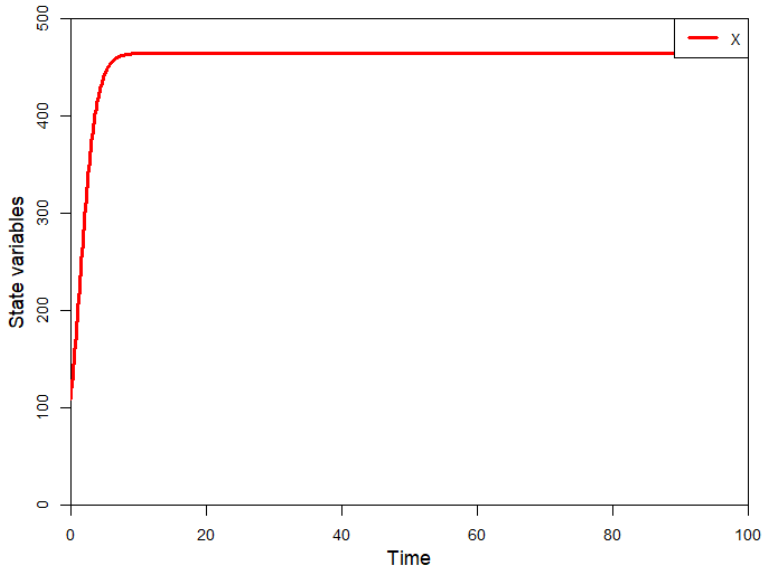
Especie: *Mycteroperca olfax*. Período: 2020 - 2021

A continuación, se presenta un análisis cuantitativo respecto al Bacalao usando un enfoque de Extracción con Esfuerzo Constante sobre el modelo logístico.

En la Ilustración 76, se muestra la curva logística basada en un enfoque de esfuerzo constante para la especie *Mycteroperca olfax*, cuya población inicial es de 110 individuos para el año 2020, se ha considerado un valor inicial estimado para el coeficiente E de 0.07 que dada la ecuación representa el porcentual de la poblacional inicial que es extraída, dando como resultado una extracción de 7.7 individuos para el área de observación.

El ecosistema que sostiene esta población tiene una capacidad máxima de carga 504 individuos, pero dado la extracción (con el coeficiente E estimado de 0.07) que se realiza en el tiempo su máxima capacidad de carga baja a 464 individuos, así lo demuestra la Ilustración 76.

Ilustración 76. Curva Logística bajo un enfoque de esfuerzo constante E = 0.07. Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021

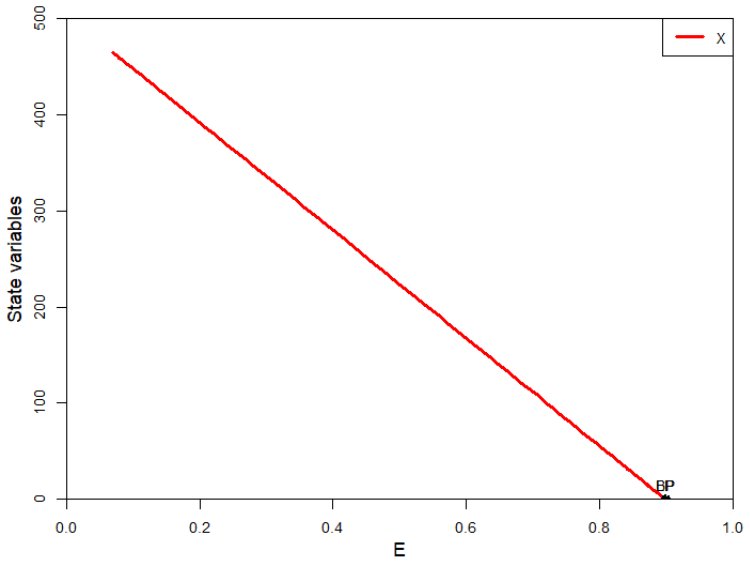


Fuente: Propia del autor

Para la siguiente Ilustración 77, mostramos las distintas soluciones reales (marcadas con la línea continua) en diferentes valores del coeficiente E.

Es así que, si establecemos algún valor de E podemos estimar la población que se obtiene en ese momento con la extracción establecida por el E. En la representación también se puede notar el punto de Extracción Crítica también llamado Punto de Bifurcación marcado en E = 0.9 lo cual determina para ese momento una población casi extinta.

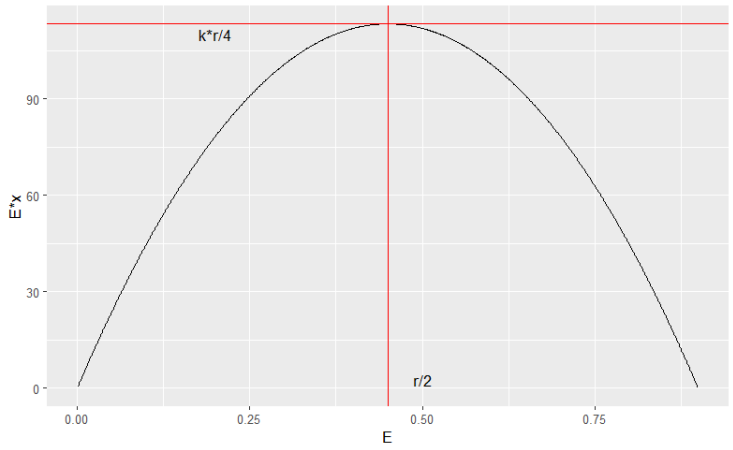
Ilustración 77. Diagrama de Bifurcación Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021



Fuente: Propia del autor

Para el siguiente Análisis Cualitativo se presenta una gráfica de la ecuación E en la Ilustración 78, la cual se muestra la **extracción máxima** E*x (en el eje de la Y) a partir de la solución $K * r/4$ que como resultado da un valor de 113 individuos, en el momento que el coeficiente E es igual a 0.45 lo que en la resolución de la ecuación se entiende como la solución r/2, a partir de este Coeficiente no tiene sentido la extracción porque su población en el tiempo ira disminuyendo.

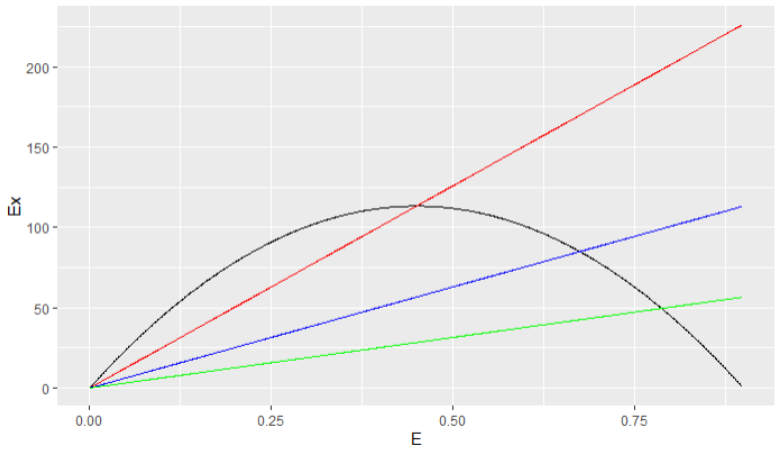
Ilustración 78. Diagrama de la ecuación E. Especie: *Mycteroperca olfax*. Período 2020 - 2021



Fuente: Propia del autor

La Ilustración 79, muestra la relación rendimiento esfuerzo, en la cual se aplica sobre la curva de rendimiento distintos esfuerzos representados mediante líneas, incluyendo el punto de rendimiento (equilibrio de la extracción) calculado a partir de $K * r/4$ y el valor de la máxima extracción posible E como r/2 como se muestra en la Ilustración 77. Tenemos que para una Constante aproximada E de 0.695 que representa el esfuerzo proporcional de la población que se extrae, se obtuvo una extracción de 80 individuos y para una Constante E aproximada de 0.785 se obtuvo una extracción de 52 individuos, de esta manera se evidencia que aplicando un esfuerzo mayor solo genera que cada embarcación capture menos peces en cada salida.

Ilustración 79. Grafica de Curva Rendimiento vs Esfuerzo. Especie: Mycteroperca olfax. Período 2020 - 2021



Fuente: Propia del autor

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Las soluciones basadas en la ecuación logística sobre el conjunto de datos marinos generado a partir de la información histórica desde el 2004 al 2022, muestra una preocupación común sobre las poblaciones de 29 especies (Tabla 8) de un total de 200 especies de peces demersales, estas especies muestran una dinámica poco favorable en sus poblaciones que se ven reducidas en diferentes Períodos. Se debe considerar que en el presente análisis no se ha incorporado el factor de migración, por lo tanto, los resultados presentados no indican necesariamente que las 29 especies (Tabla 8) vayan a desaparecer en la bioregión, sino que su población final va a depender de factores de migración, que, de no presentarse, es probable que la población de dicha especie desaparezca en la Bioregión.

Posterior al análisis logístico en el rango de tiempo analizado se determina que la Bioregión "South east" registra una mayor cantidad de Períodos (7 de 11) y especies (14-29) cuyas poblaciones sufren decremento en comparación con el resto de Bioregiones.

Se considera que los resúmenes del ONI (Tabla 7) pueden relacionarse directamente con el rol trófico de las especies en el ecosistema, pese a no haberse considerado como variable en el estudio tienen un alto nivel de relación con base en los procesos ecológicos que se desencadenan, puesto que gran parte de las especies son planctívoros e invertívoros, los primeros se verían directamente influenciados por las condiciones ambientales y la disponibilidad de alimento dependiente de estas condiciones. Otro factor considerado importante es la preferencia térmica de las especies, gran parte de las especies consideradas tiene preferencias templadas a moderadas cálidas, en las que factores altos en la variabilidad de la temperatura pueden generar stress y afectar a procesos de crecimiento, reproductivo e incluso disminuir sus poblaciones. La talla de las especies consideradas para el estudio fluctúa entre 7 y 90 cm de longitud, muchos de estos factores dependen directamente del estadio reproductivo de las especies. Solo una especie endémica se ha incluido en base al análisis de la tasa intrínseca de reproducción.

En los años monitoreados a excepción del 2013, 2014, 2015 (no documentado), 2016, 2017, 2018 y 2019, la RMG experimento el decremento en al menos una de sus especies con base en la tasa intrínseca de reproducción que el presente estudio considera.

El 2005, 2008, 2010 fueron años en los cuales hubo más poblaciones de diferentes especies con problemas de reducción poblacional.

El 2004 y 2020 considerando la tasa intrínseca poblacional de *Girella freminvillii* y *Apogon atradorsatus* respectivamente, fueron los únicos años donde hubo la mínima población reportada para el rango de tiempo analizado, en la cual su población se vio reducida dentro de una misma bioregión Bahía Elizabeth. No se vuelve a tener reporte de la especie *Girella freminvillii* para años posteriores al 2004.

Se registran dos Períodos de tiempo en los cuales al menos una especie registra tasas intrínsecas de reproducción bajas en más de una bioregión. Para el caso se resalta la especie *Cephalopholis colonus,* en el 2005 se registran disminuciones poblacionales para las bioregiones "Far north" y "South east"; en tanto que para el Período 2011 se registra la especie *Mycteroperca olfax* en las Bioregiones "South east" y "Elizabeth", para esta última bioregión el tamaño poblacional registrado es de 293 individuos lo cual podría estar directamente influenciado por las condiciones ambientales de la bioregión, factor poblacional con gran diferencia comparado con la bioregión "South east" donde se reportaron 81 individuos.

Los Períodos en los cuales se han registrado bajas temperaturas en el océano coinciden con la disminución poblacional de las especies cuya preferencia térmica es alta, pudiendo ser una de las causas principales para la reducción de sus poblaciones, tal es el caso del *Apogon atradorsatus* en el 2020 sobre la Bioregión "West" que registró una gran reducción en su tasa intrínseca de reproducción (-1.38) lo que acelero su decremento poblacional en el tiempo.

El enfoque de extracción de Rendimiento Constante sobre el modelo Logístico abordado en el presente estudio, si bien permite comprender de mejor manera la dinámica de la población de una especie pesquera como el Bacalao, dada una cuota de extracción fija, esto no resulta ser lo más idóneo a aplicar , debido a que en Galápagos aún no se han establecido políticas que permitan establecer una "Cuota extractiva", por lo que no se puede tener certeza de la cantidad real que se extrae, de modo que resultó necesario usar un nuevo enfoque como el de Esfuerzo Constante cuyo valor de extracción va a depender

del esfuerzo que se realiza dada una cantidad de embarcaciones y personal en las operaciones pesqueras.

5.2. Recomendaciones

Se sugiere la creación e implementación de planes de manejo en función de las afectaciones reportadas para las especies, pues se ha podido destacar que el decremento poblacional aparentemente guarda una relación inversa con el efecto de la temperatura. Tal es el caso de las Bioregiones cálidas en los extremos de la RMG "Far north" y "South east" que para el 2005 sus aguas empezaron a enfriarse a partir de la mitad de año, en estas biorregiones se registró afectación en al menos 6 poblaciones de especies distintas, que de la evaluación generada es el año por mayor cantidad de poblaciones de especies afectadas. Por lo que, considerar un plan flexible en función de las Bioregiones y las afectaciones sería lo ideal.

Previamente se detalló casos puntuales sobre especies y bioregiones, pero cabe mencionar que la más preocupante corresponde a la Bioregión "South east" puesto presenta más especies y Períodos afectados con decremento en sus poblaciones, por lo que considerar evaluar a detalle áreas de esta bioregión para un mejor entendimiento de las condiciones ambientales

Sin bien gran parte de las especies de las que se puede denotar un decremento poblacional no necesariamente corresponden a especies con carácter extractivo, en los casos en los que son de carácter extractivo podría generarse "cuotas extractivas" y/ o vedas mismas que en casos como los del Bacalao ya ha sido determinadas por otros autores y en otras especies que han empezado a tener carácter extractivo podría generarse esta información ecológico.

Evaluar los beneficios de la diversificación de especies en la extracción, con base en el documento de evaluación pesquera Ramirez, *et al.* (2021), se puede ver que existen especies nuevas de las que se reportan extracciones, ciertamente esto reduce la presión sobre otras especies, probablemente no es la solución definitiva, por lo cual conocer la ecología y el rol ambiental de estas generaría un mejor aporte a futuros planes de manejo.

Si bien mediante los modelos matemáticos propuestos en este estudio se ha podido evidenciar que algunas de especies resultan más afectadas que otras, viéndose reducidas

sus poblacionales, muchas de estas especies han alcanzado y/o tienen mayor nivel de tolerancia térmica y/o han desarrollado estrategias para subsistir. Parte de las estrategias constituye la migración hacia aguas profundas mismas que aún requieren ser evaluadas con estudios puntuales de ecología para entender mejor la dinámica poblacional de las especies.

Otro factor importante a considerar para este tipo de estudios es el factor ambiental, que requiere incorporarse a futuro en temas de esta índole con el fin de generar modelos de series de tiempo, pero que requiere generarse entrenamiento en modelos de este tipo, para evaluar tanto la dinámica de las poblaciones a nivel espacial y temporal.

6. Referencias

Banks, S. 2002. Ambiente Biofísico. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad (Danulat E & GJ Edgar, eds.). pp 22-35. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

Banks, S. 2002. Ambiente Físico. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad (Danulat E & GJ Edgar, eds.). pp 22-47. Fundación Charles Darwin / Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

Banks, S. 2007. Estado de especies y hábitat marinos en Galápagos. Informe Galápagos 2006-2007. Servicio Parque Nacional Galápagos/ Fundación Charles Darwin / Instituto Nacional Galápagos. Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. Pp 122-127.

Brauer, F., Castillo-Chavez, C., & Castillo-Chavez, C. (2012). *Mathematical models in population biology and* epidemiology (Vol. 2, No. 40). New York: springer.

Convención de Diversidad Biológica. (1992). *United Nations Environment Programme (UNEP)* (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, ed.). Montreal. Retrieved from https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf

Convención de Diversidad Biológica. (2010). *Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020*. Montreal. Retrieved from https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheets-es-web.pdf

Danulat E & GJ Edgar (eds.) 2002. Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin / Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. Pp 484.

DPNG. *Listado de especies pesqueras de interes en la Reserva Marina de Galápagos*. , (2019). Ecuador.

Edgar, G. J., Banks, S., Fariña, J. M., Calvopiña, M., & Martínez, C. (2004). Regional biogeography of shallow reef fish and macro-invertebrate communities in the Galapagos archipelago. Journal of Biogeography, 31(7), 1107-1124.

Edgar, G. J., Banks, S., Bensted-Smith, R., Calvopiña, M., Chiriboga, A., Garske, L. E., ... & Salazar, S. (2008). Conservation of threatened species in the Galapagos Marine Reserve through identification and protection of marine key biodiversity areas. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 18(6), 955-968.

Harris MP 1969. Breeding season of sea-birds in the Galápagos Islands. Journal of Zoology (London) 159: pp 145-150.

Karsai, István; Schmickl, Thomas ; Kampis, G. (2020). *Resilience and Stability of Ecological and Social Systems*. Johnson City, TN, USA: Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-54560-4

Melià, P., Casagrandi, R., Di Franco, A., Guidetti, P., & Gatto, M. (2020). Protection reveals density-dependent dynamics in fish populations: A case study in the central Mediterranean. Plos one, 15(2), e0228604.

Moity, N. (2018). Evaluation of no-take zones in the Galápagos marine reserve, zoning plan 2000. Frontiers in Marine Science, 5, 244.

O'Leary, J. K., Micheli, F., Airoldi, L., Boch, C., De Leo, G., Elahi, R., ... & Wong, J. (2017). The

resilience of marine ecosystems to climatic disturbances. BioScience, 67(3), 208-220.

Ramírez-González, Jorge; Andrade-Vera, Solange; Moreno, Jerson; Moity, Nicolas; Viteri, César; Viz, Mariano; Rodríguez-Jácome, Gabriela; Obregón, P. (2022). *Evaluación integral de las pesquerías de pequeña escala de Galápagos*. Puerto Ayora.

Usseglio P, Friedlander AM, DeMartini EE, Schuhbauer A, Schemmel E, Salinas de Léon P. 2015. Improved estimates of age, growth and reproduction for the regionally endemic Galapagos sailfin grouper Mycteroperca olfax (Jenyns, 1840) PeerJ 3:e1270 https://doi.org/10.7717/peerj.1270

ANEXOS

Anexo 1. Acuerdo de Confidencialidad de Datos y Manejo de Información que constituye secreto

Fundación Charles Darwin Foundation
GALAPAGOS

ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD DE DATOS Y MANEJO DE INFORMACIÓN QUE CONSTITUYE SECRETO

Comparecen a la celebración del presente convenio de confidencialidad, por una parte, la Fundación Charles Darwin, a través de su Apoderado Especial, **Ing. Galo Del Hierro Villalba** a quien para efectos del presente convenio se lo denominará como EL TITULAR DEL SECRETO; y, por otra en calidad de CONFIDENTE al ***Sr. Cristian Jitala*** con **cédula de identidad 2000089231** por sus propios y personales derechos, quienes celebran, libre y voluntariamente, el presente acuerdo al tenor de las siguientes cláusulas:

PRIMERA: ANTECEDENTES. -

La FCD es una organización sin fines de lucro cuyo objetivo principal es realizar investigaciones en las Islas Galápagos. Para llevar a efecto su labor, EL TITULAR DEL SECRETO, maneja datos, información, y conocimientos que están sujetos a reserva; su divulgación NO AUTORIZADA, podría producir daños al TITULAR y a terceros.

SEGUNDA: OBJETO. -

LA CONFIDENTE, por la labor propia que desarrolla en calidad de **Tesista** de la FCD, tiene acceso directo y sin limitaciones a la información, datos, conocimientos, procedimientos, y documentación relacionada.

EL TITULAR DEL SECRETO (FCD) declara que la información, datos, procesos, procedimientos y demás conocimientos que se han declarado de uso restringido y que reposan en los diferentes medios de archivos o que han sido declarados verbalmente constituyen conocimientos secretos y que los mismos no pueden ser revelados por LA CONFIDENTE, a persona alguna, sin expresa autorización por escrito del TITULAR DEL SECRETO

TERCERA: RESERVA EN LA INFORMACIÓN. -

LA CONFIDENTE de manera expresa se compromete a guardar reserva absoluta respecto de la información descrita en la cláusula anterior, no pudiendo revelarla a personas relacionadas con su lugar de trabajo ni a terceros. En caso de hacerlo, aquello será causal suficiente para dar por terminada cualquier relación de carácter legal con el TITULAR DEL SECRETO, debiendo el infidente pagar las indemnizaciones de daños y perjuicios a que hubiere lugar, sin perjuicio de la acción penal correspondiente. ***Desde ya se aclara, que constituye revelación no autorizada de secreto, el obtener información por parte de al CONFIDENTE (sea cual fuere el medio) y ponerla a disposición de cualquiera manera a conocimiento de personas no autorizada, sin importar para la configuración de la conducta que se describe, que el tercero en conocimientos del secreto lo comprenda o no, basta el simple develamiento***

CUARTA: PLAZO. -

El plazo de vigencia de este convenio es indefinido.

QUINTA: ACEPTACIÓN E INCORPORACIÓN. -

A este convenio se entiende incorporada toda la normativa nacional, la normativa de la Comunidad Andina de Naciones, la normativa internacional ratificada por el Ecuador y nacional respecto a la propiedad intelectual, lo relativo a la competencia desleal, la legislación ecuatoriana en cuanto a responsabilidades penales y las disposiciones procesales ecuatorianas.

Se entiende también, que este convenio, en todas sus partes se constituirá un anexo o agregado a los contratos de servicios civiles, laborales y conexos en los que la CONFIDENTE haya celebrado o celebrare con el TITULAR DEL SECRETO, o terceras personas. Pero por su carácter de anexo no le exime a la CONFIDENTE (en caso de que incumpla el presente acuerdo) de la autonomía que guarda el presente instrumento en cuanto a las responsabilidades civiles y penales que se derivan de este mismo acuerdo, por tal razón la CONFIDENTE no podrá alegar como excepción de incumplimiento su relación con el Titular del Secreto proveniente del contrato principal.

SEXTA: BUENA FE, JURISDICCIÓN Y TRÁMITE. -

En caso de existir discrepancias, las partes acuerdan someterlas a conversaciones amistosas. De producirse desacuerdo legal, los CONTRATANTES renuncian domicilio y fuero, fijan su domicilio en la ciudad de Quito, lugar donde se someterán al proceso del arbitraje en derecho ante la Cámara de Comercio de Quito, de conformidad con la Ley de Mediación y Arbitraje. Para ello se someterán a la decisión arbitral emitida por el respectivo tribunal. De igual forma, podrán pedir medidas cautelares, bastando que los árbitros así las proveen para que sean ejecutadas por las autoridades correspondientes. De igual forma, las partes firmantes se someterán al laudo arbitral, renunciando el derecho a presentar cualquier recurso del laudo dictado por los árbitros, e incluso, renuncian al recurso de casación.

Los comparecientes aceptan en todas sus partes el presente acuerdo, para lo cual firman el presente documento en la ciudad de Puerto Ayora a los 10 días de febrero de 2023.

Ing. Galo Del Hierro V.
Apoderado especial

Cristian Jitala
Tesista

Quito
Francisco Andrade Marín
E6-122 y Av. Eloy Alfaro.
+ 593 (2) 2 231 174

Galápagos
Av. Charles Darwin s/n,
Santa Cruz, Puerto Ayora.
+ 593 (5) 2 526 146

Brussels
Chaussée de la Hulpe
177 Bte 20 (rez)
1170 Brussels, Belgium.

www.darwinfoundation.org
cdrs@fcdarwin.org.ec