Proyecciones de captura y densidad poblacional de erizo rojo con base en la variabilidad ambiental y escenarios de aprovechamiento.

Elaborado por Medellin – Ortiz, A., Alvarez – Flores, C. 2022.

Para PRONATURA Noroeste, AC.

Debido a la importancia económica de la pesquería de erizo rojo en Baja California, el presente trabajo tuvo como objetivo aplicar los mecanismos por los cuales la variabilidad local, regional y oceánica puede afectar a la población de erizo rojo en la medida descrita por Medellín – Ortiz et al (2021[1]). Estos autores proponen que la variabilidad local en la disponibilidad de alimento, abundancia de depredadores, temperatura superficial del mar y energía del oleaje, son más importantes para determinar cambios en la población de erizo rojo que cuando se comparan con variables regionales o de escala oceánica (índice de surgencias, índice de El Niño e índice de la oscilación del giro del Pacifico Norte, respectivamente). Además, proponen que la importancia de las variables cambia bajo condiciones “normales” o condiciones extremas como El Niño o las ondas de calor marinas (MHW, por sus siglas en ingles).

Medellín – Ortiz et al. (2021) generaron modelos para diferentes condiciones espacio-temporales, así como calculando el nivel de correlación y significancia e importancia relativa de las diferentes variables predictores para cada modelo y su efecto en la densidad poblacional de erizo rojo (Tabla I). La significancia e importancia relativa sobre la densidad de erizo rojo fue diferente dependiendo de la temporalidad asociada a eventos extremos (MHW), observando de igual manera que la variabilidad observada que explicaba cada juego de variables era distinta.

[1] Desarrollo de un modelo predictivo que integre los factores ambientales y biológicos para determinar la trayectoria poblacional del erizo rojo, bajo diferentes escenarios de variabilidad ambiental y pesquera. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas. Enero, 2021.

Tabla I. Resumen de significancia (colores) en las variables y correlaciones (números) para cada modelo bajo condiciones espacio-temporales específicas. Los colores intensos indican las variables altamente significativas (rojo, positivo y azul, negativo); las variables sin colores no fueron significativas. Tomado de Medellín – Ortiz et al (2021).

	Serie de tiempo completa	Pre - MHW	MHW	Post - MHW	Arriba del promedio	Abajo del promedio	Promedio
NPGO	-0.1	0	-0.5	0	0	-0.2	0.1
MEI	0.1	-0.3	0.6	0.2	0.1	-0.1	0
Indice surgencias	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2
Potencia Oleaje	-0.3	-0.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4
SST	0.5	0.1	0.8	0.5	0.6	0.3	0.4
Langosta roja (captura)	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4
Cabrilla sargacera (captura)	0	0.3	0	0.2	0.2	0.1	0.1
Pez Vieja (captura)	0.1	0.1	0.1	0.3	0	0.1	-0.2
Erizo rojo (captura)	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9
Biomasa sargazo	0.2	0.1	0.2	0	0.2	0.1	0.1
	Modelos específicos en el tiempo				Modelos específicos por sitio		

La variable con mayor importancia relativa en los 4 modelos temporales fue la captura de erizo rojo, que aporta entre 50 y 75% de la R^2 para cada modelo. Dependiendo de si se utiliza la serie de tiempo completa, la serie pre, durante o post onda cálida, la captura de langosta roja, la temperatura superficial o el índice multivariado de El Niño, fueron las segunda variable más importante, aportando entre 12 y 24% de la R^2 para cada modelo en específico (Fig.1).

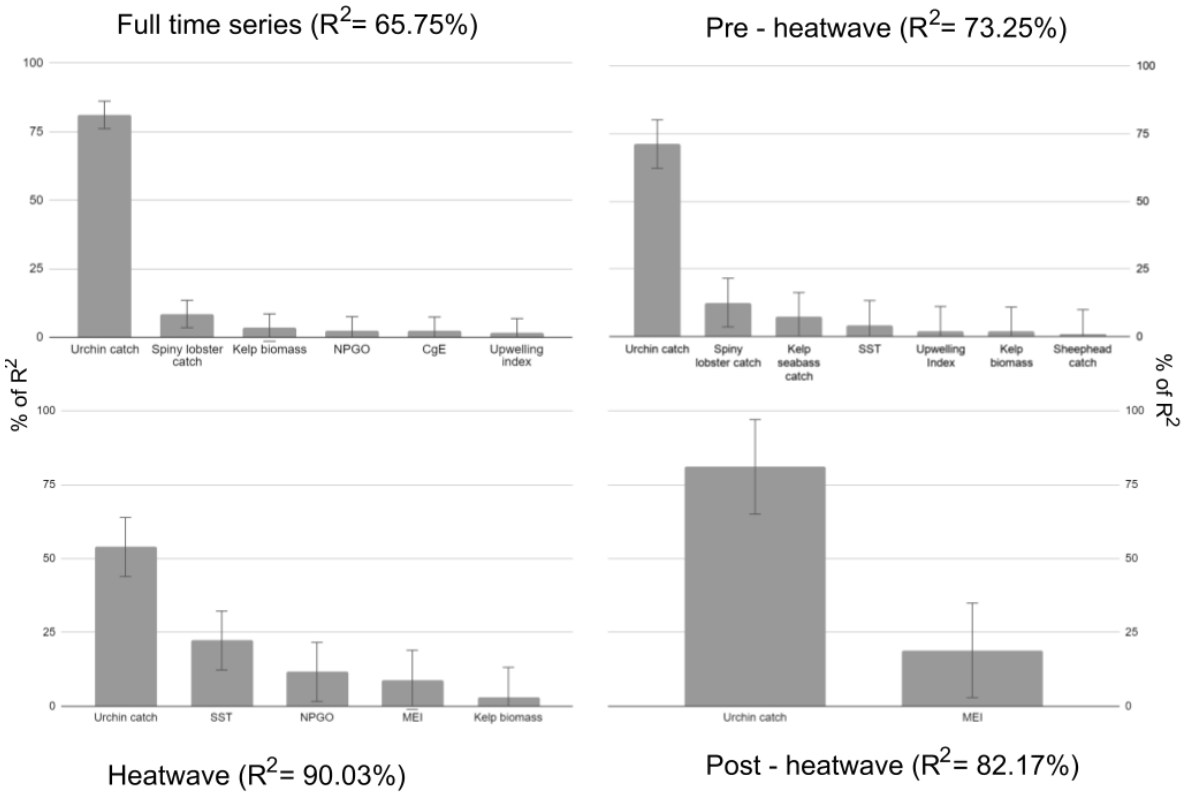


Figura 1. Porción de R^2 (como porcentaje) por las variables a cada modelo. Las mediciones están normalizadas para sumar 100% para cada modelo. Modificado de Medellín – Ortiz et al (2021).

Además, indican que el efecto de las variables analizadas sobre la densidad de erizo rojo presenta un desfase en el tiempo que va entre 0 y 2 años, dependiendo de las condiciones ambientales. También presentan un análisis de causalidad donde indican que además de observar una correlación entre las variables analizadas y la densidad de erizo rojo, esta relación es causal. A través de este análisis determinan que para la serie de tiempo completa, el periodo pre y durante onda cálida, la sinergia entre todas las variables significativas tuvo un impacto positivo en la densidad de erizo rojo, mientras que para el periodo post onda cálida, la sinergia entre las variables tuvo un impacto negativo en la densidad de erizo rojo (Fig. 2).

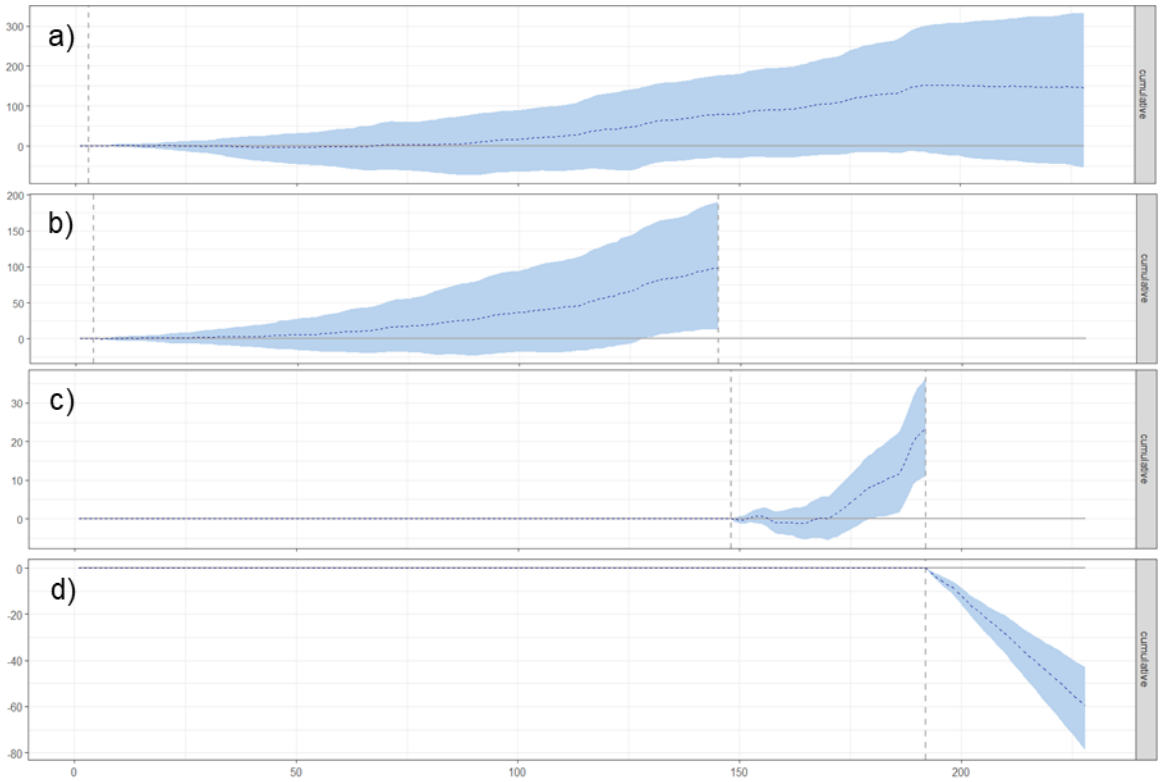


Figura 2. Resultados acumulativos del análisis de impacto causal sobre la anomalía de densidad de erizo rojo (línea punteada) con intervalos de confianza al 95% (area sombreada) para a) serie de tiempo completa, b) pre onda cálida, c) durante onda cálida y d) post onda cálida, utilizando las variables significativas para cada modelo. El eje horizontal representa el número de meses comenzando en enero de 2000 (0) hasta diciembre de 2018 (229). La línea vertical punteada indica donde se comprobó el efecto causal. Tomado de Medellín – Ortiz et al (2021).

Concluyen sus análisis con una comparación entre los modelos generados y su capacidad de reproducir las anomalías en la densidad de erizo rojo, observando un mejor ajuste y capacidad predictiva por el modelo que utiliza condiciones específicas, comparado con el modelo de la serie de tiempo completa (Fig. 3).

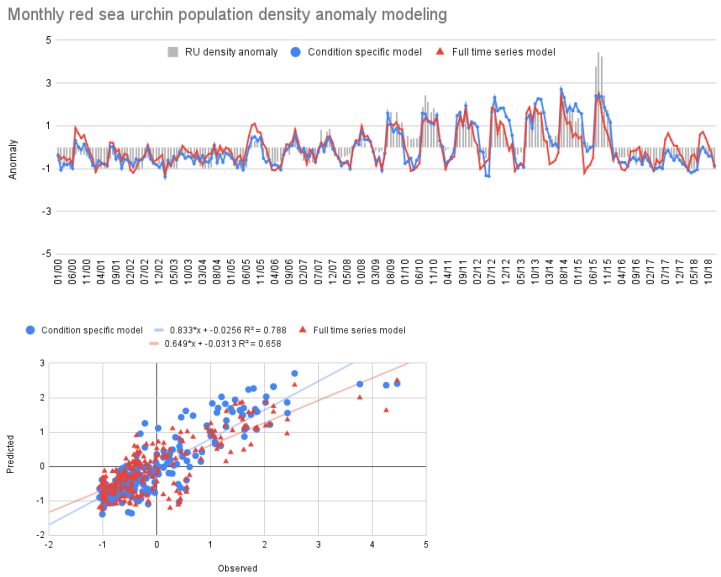


Figura 3. Comparación entre valores observados de la anomalía de densidad de erizo rojo (barras) y valores predichos a partir del modelo de la serie de tiempo completa (▲) y los modelos de condiciones específicas (●).Tomado de Medellín – Ortiz et al (2021).

Los resultados observados por los autores son comparables con lo observado por Pfister et al (2018)[2] en donde el ambiente, específicamente la oscilación decadal del Pacifico, el índice de El Niño y el índice de la oscilación del giro del Pacifico Norte tienen efectos negativos y positivos sobre la dinámica poblacional de dos especies fundadoras de macroalgas (*Nereocystis* y *Macrocystis*), dependiendo también de la ubicación geográfica y temporal.

Métodos.

Con base en los resultados y modelos implementados por Medellín – Ortiz et al (2021), se actualizaron las bases de datos para todas las variables a diciembre de 2021 y se proyectaron escenarios a 2025 bajo tres condiciones ambientales diferentes:

- Condiciones promedio: donde cada variables se mantienen dentro de los valores promedio de la serie de tiempo correspondiente

[2] Pfister, C.A., H.D. Berry, T. Mumford. 2018. The dynamics of Kelp Forests in the Northeast Pacific Ocean and the relationship with environmental drivers. Journal of Ecology. 106: 1520 – 1533. Doi: 10.1111/1365-2745.12908

- Condiciones frías: donde cada variable toma valores ±2 veces los valores promedio dependiendo de su relación con la temperatura. Los valores de temperatura proyectados son -2 veces los valores promedio de la serie de tiempo.
- Condiciones cálidas: donde cada variable toma valores ±2 veces los valores promedio dependiendo de su relación con la temperatura. Los valores de temperatura proyectados son +2 veces los valores promedio de la serie de tiempo.

Las posibles capturas de cada escenario fueron calculadas con la ecuación de Baranov, utilizando los valores de mortalidad (natural y por pesca) asociados a cada condición en la serie de tiempo del 2000 a 2021, así como los valores de biomasa y densidad calculados para el mismo periodo.

Para cada condición se utilizó el modelo específico que incluye además de la variabilidad en la temperatura, los cambios en las diferentes variables físicas y biológicas de acuerdo con el efecto observado bajo dichas condiciones específicas. La correlación entre variables y su proporcionalidad se determinaron a partir de un análisis de correlación, donde además se determinó el nivel de significancia de cada variable para el periodo de proyección comprendido entre enero de 2022 y diciembre de 2025.

Para ilustrar la relación entre las diferentes variables, se presentan regresiones lineales por año para la serie de tiempo de 2000 a 2021, así como para las proyecciones de 2021 a 2025 bajo condiciones promedio. Además, se calcularon las probabilidades asociadas para cada variable entre el año 2000 y 2021, así como la probabilidad asociada de las proyecciones de cada variable bajo cada uno de los escenarios ambientales.

Resultados.

La densidad poblacional de erizo rojo y la captura presentaron una alta correlación para toda la serie de tiempo, con excepción de 2016. Se observa que las mayores densidades poblacionales de erizo rojo ocurren bajo condiciones de surgencias bajas y promedio, así como durante condiciones neutrales y El Niño. Las mayores capturas y densidades de erizo rojo se observan durante periodos de temperaturas superficiales por arriba de 22º C (Fig. 4).

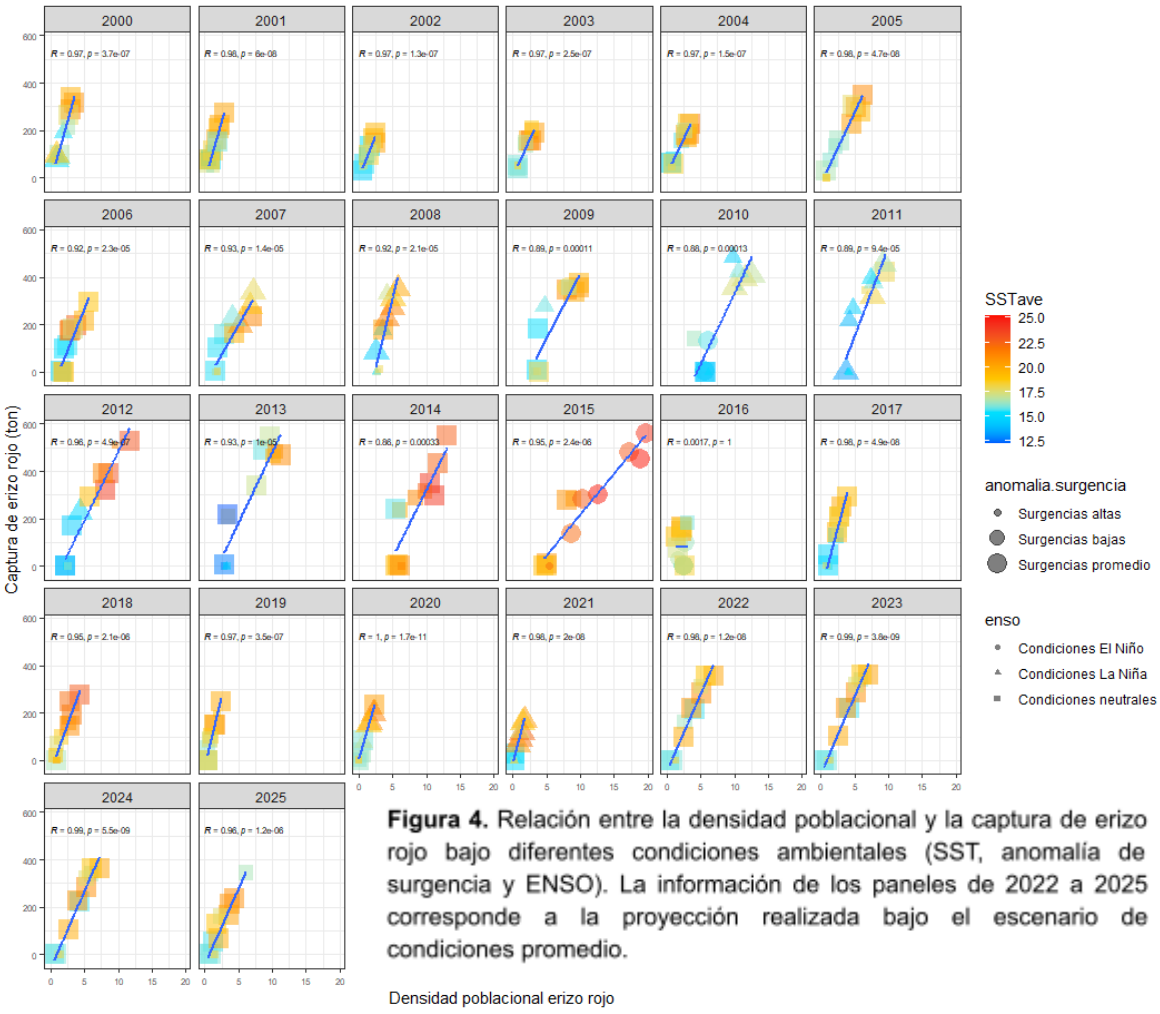


Figura 4. Relación entre la densidad poblacional y la captura de erizo rojo bajo diferentes condiciones ambientales (SST, anomalía de surgencia y ENSO). La información de los paneles de 2022 a 2025 corresponde a la proyección realizada bajo el escenario de condiciones promedio.

La densidad y biomasa poblacional de erizo rojo presentaron una alta correlación a lo largo de toda la serie de tiempo. Las densidades y biomasas más altas se observaron durante años con biomasa promedio de sargazo y temperaturas mayores a 15º C. Para algunos años es posible observar densidades y biomasas bajas durante condiciones frías y condiciones promedio (Fig. 5).

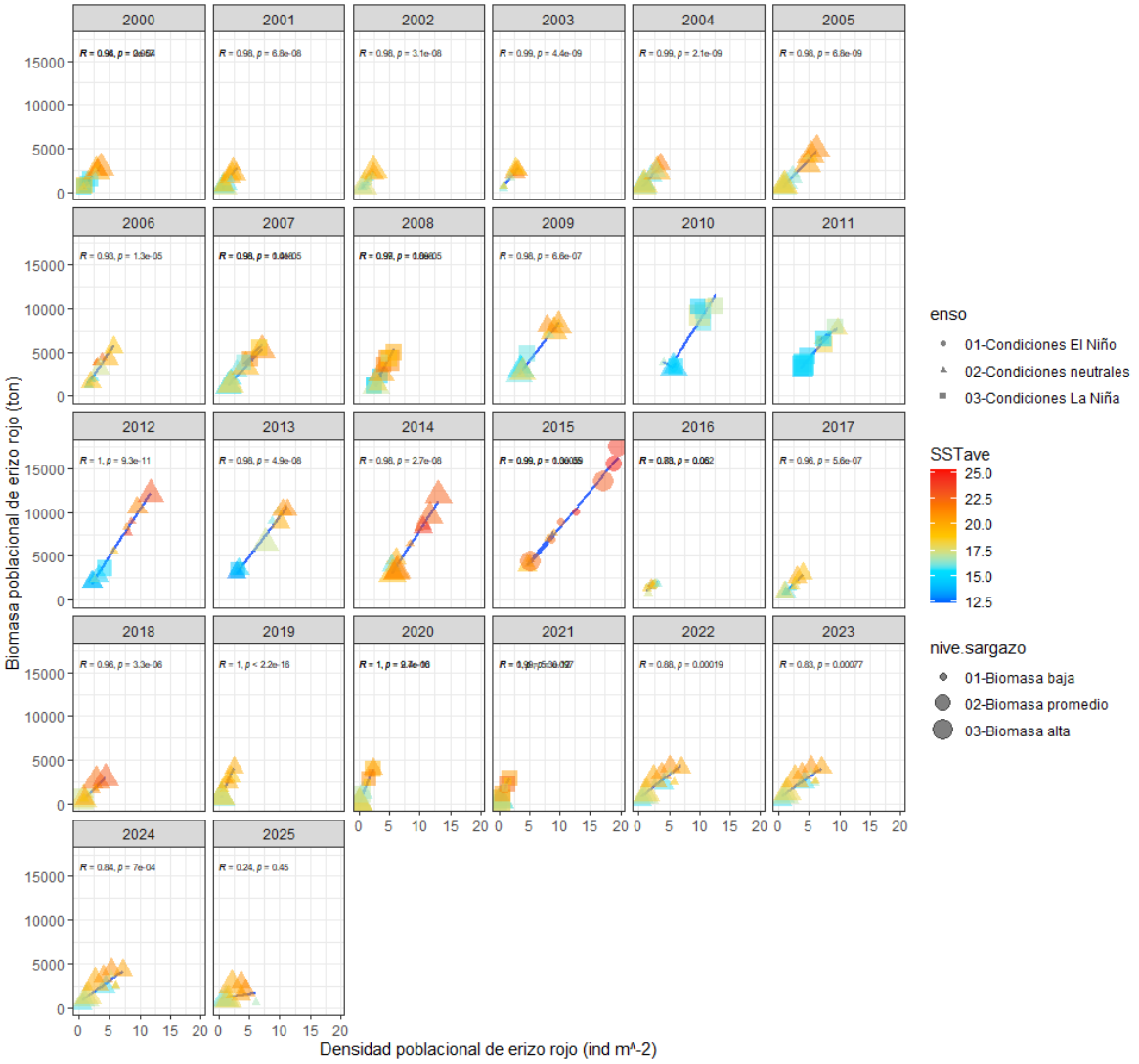


Figura 5. Relación entre densidad y biomasa poblacional de erizo rojo bajo diferentes condiciones ambientales (nivel de sargazo y condiciones ENSO). La información de los paneles de 2022 a 2025 corresponde a la proyección realizada bajo el escenario de condiciones promedio.

Se observaron cambios en la relación entre la biomasa promedio de sargazo y la captura de erizo rojo a lo largo del tiempo. En general, a mayor biomasa promedio de sargazo, menores volúmenes de captura de erizo rojo. Los niveles más bajos de biomasa de sargazo se observaron durante condiciones el Niño y surgencias bajas y promedio (Fig. 6).

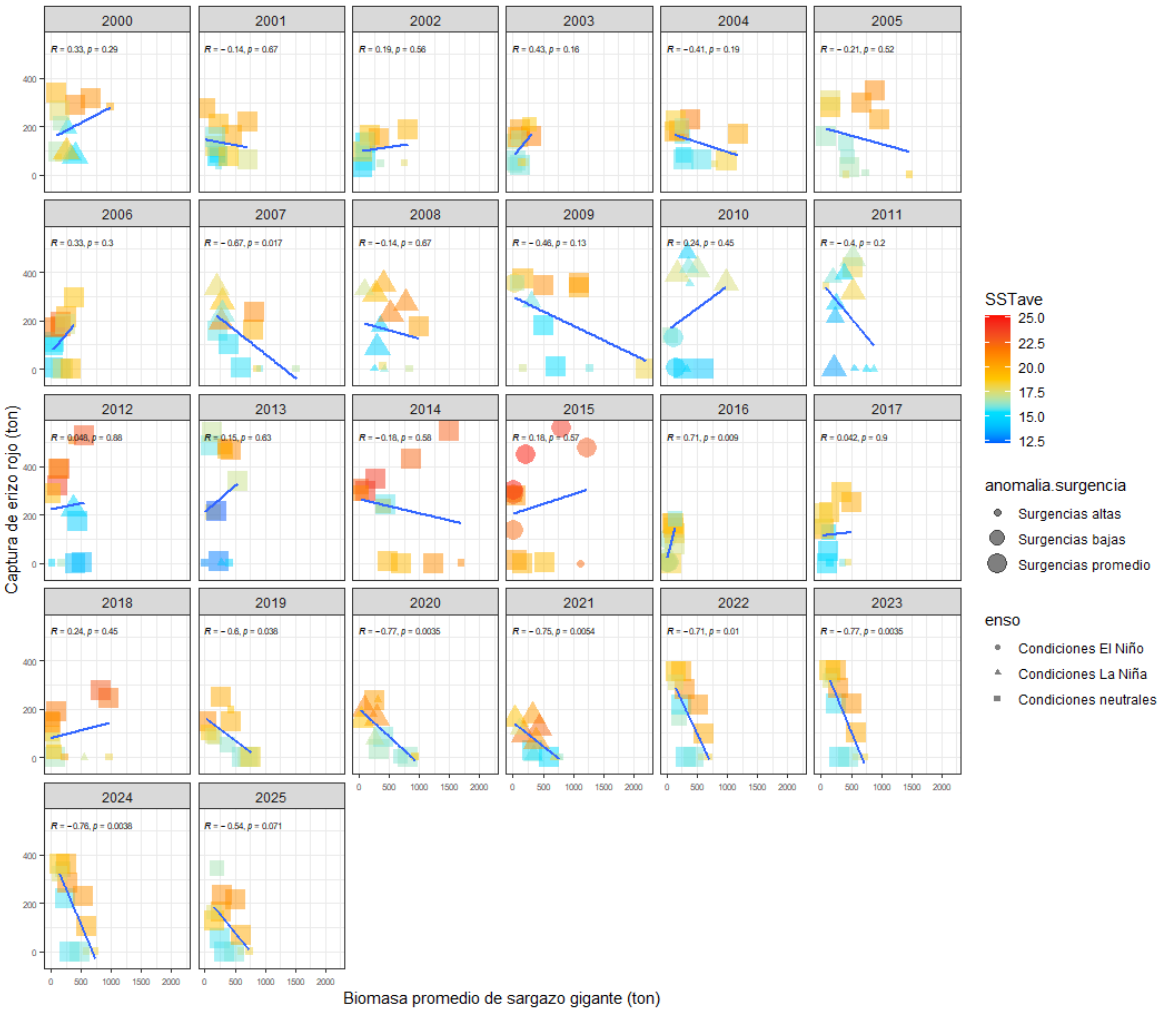


Figura 6. Relación entre biomasa promedio de sargazo y capturas de erizo rojo bajo diferentes condiciones ambientales (temperatura superficial, anomalía surgencias y condiciones ENSO). La información de los paneles de 2022 a 2025 corresponde a la proyección realizada bajo el escenario de condiciones promedio.

La relación entre la capturas de pez vieja y erizo rojo también cambiaron a lo largo del tiempo. En general, se observan mayores capturas de erizo rojo cuando las capturas de pez vieja son menores a 10 toneladas. Las mayores capturas de pez vieja se registran durante periodos de condiciones neutrales, surgencias bajas o promedio y temperaturas menores a 20º C. Durante el 2019 no se registraron capturas de pez vieja en Baja California (Fig. 7).

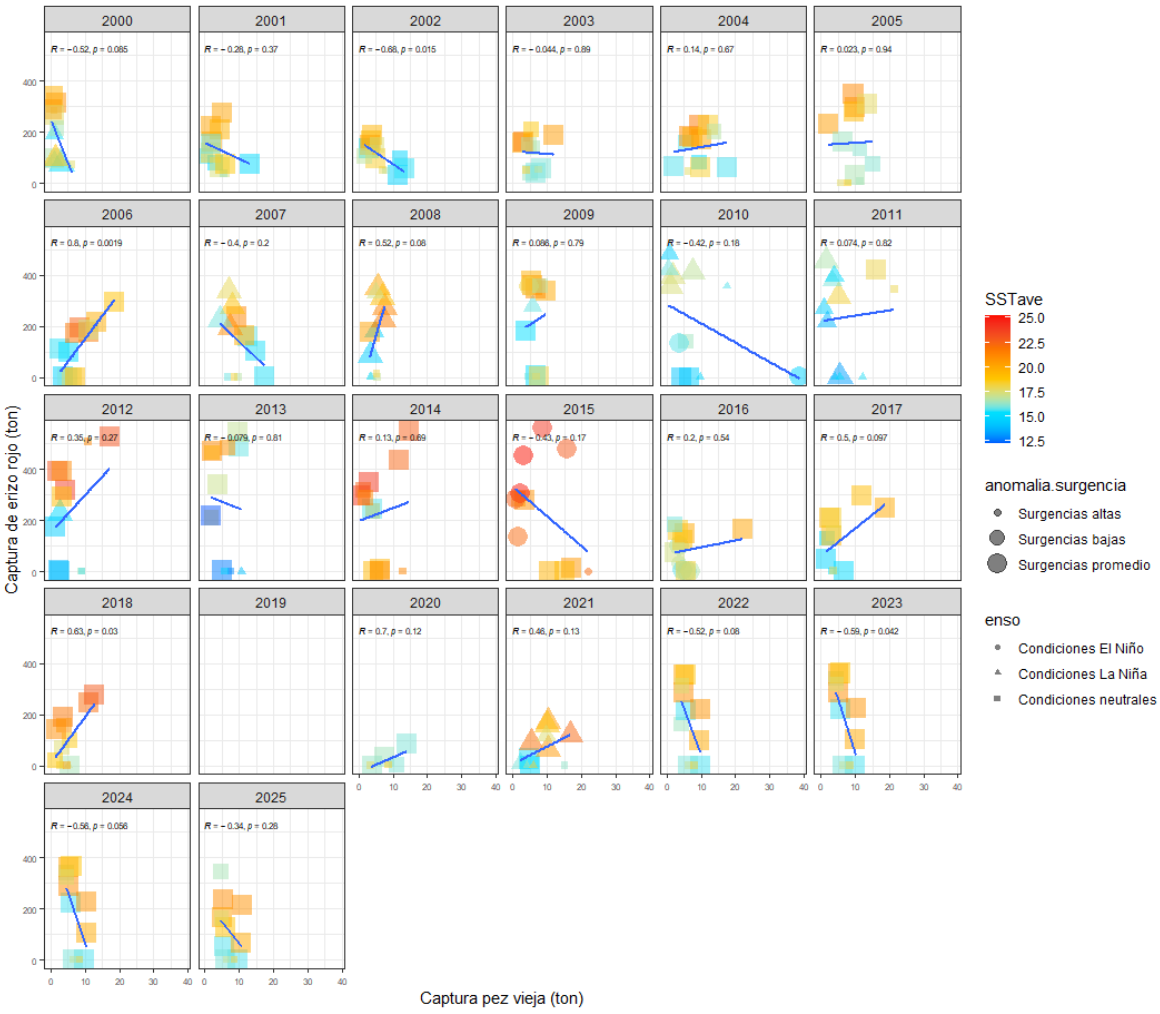


Figura 7. Relación entre capturas de erizo rojo y pez vieja bajo diferentes condiciones ambientales (temperatura superficial, anomalía surgencias y condiciones ENSO). La información de los paneles de 2022 a 2025 corresponde a la proyección realizada bajo el escenario de condiciones promedio.

La relación entre las capturas de cabrilla sargacera y erizo rojo también fueron diferentes a lo largo del tiempo. Durante algunos años se observan mayores capturas de erizo con capturas de cabrilla menores a 20 toneladas, mientras que durante algunos años las capturas de erizo y cabrilla se relacionan positivamente. Las mayores capturas de cabrilla se observan bajo condiciones neutrales, surgencias bajas o promedio y temperaturas menores a 20º C. No se registraron capturas de cabrilla sargacera para 2019 y 2020 (Fig. 8).

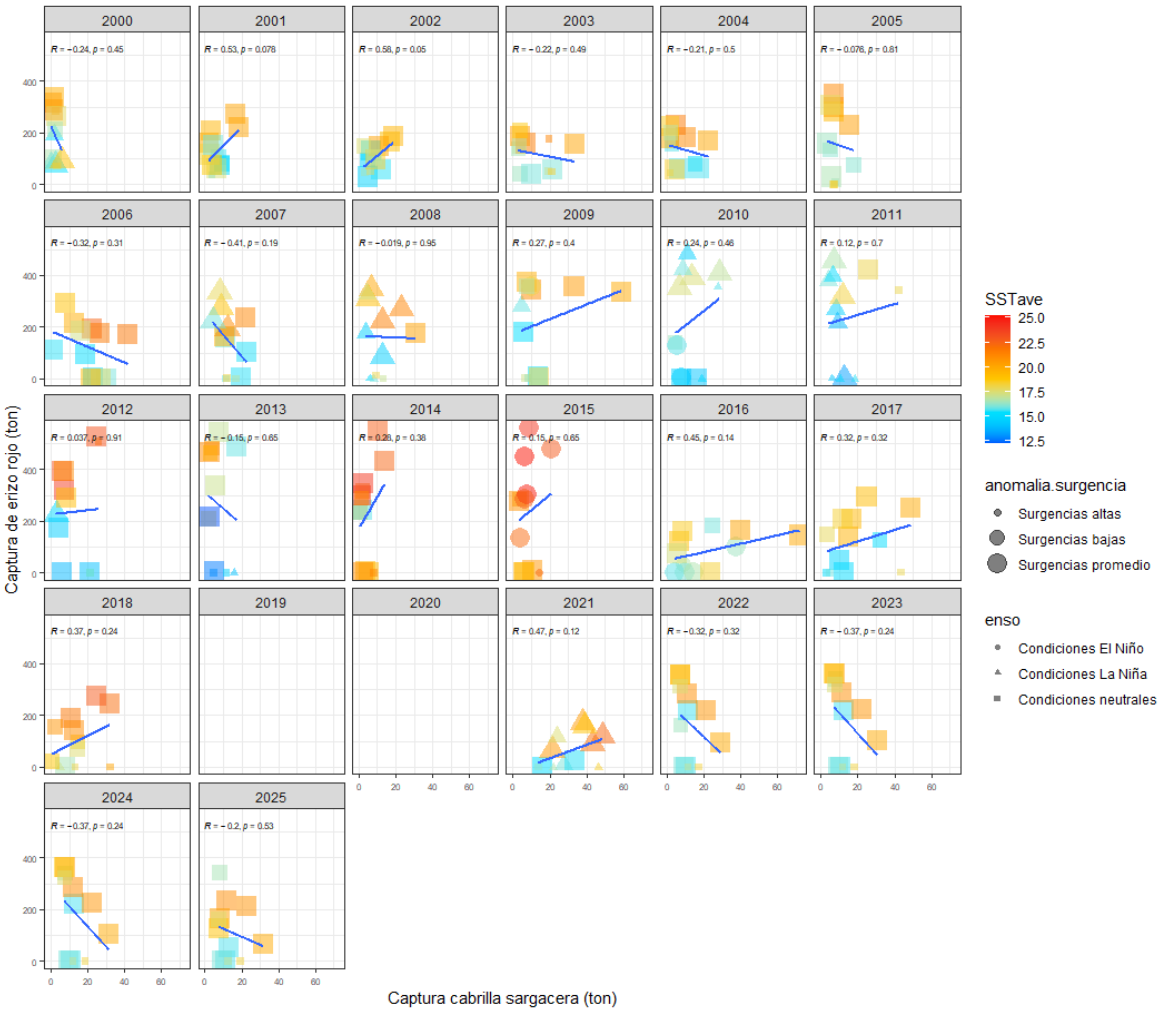


Figura 8. Relación entre capturas de erizo rojo y cabrilla sargacera bajo diferentes condiciones ambientales (temperatura superficial, anomalía surgencias y condiciones ENSO). La información de los paneles de 2022 a 2025 corresponde a la proyección realizada bajo el escenario de condiciones promedio.

Se observó una relación directa y significativa entre las capturas de langosta roja y erizo rojo para el periodo entre el 2000 y 2020. Para 2021, las capturas de langosta y erizo fueron las más bajas de la serie. Con la captura de langosta se observa un patrón similar al de erizo, mayores capturas en condiciones cálidas y de surgencias bajas o promedio (Fig. 9).

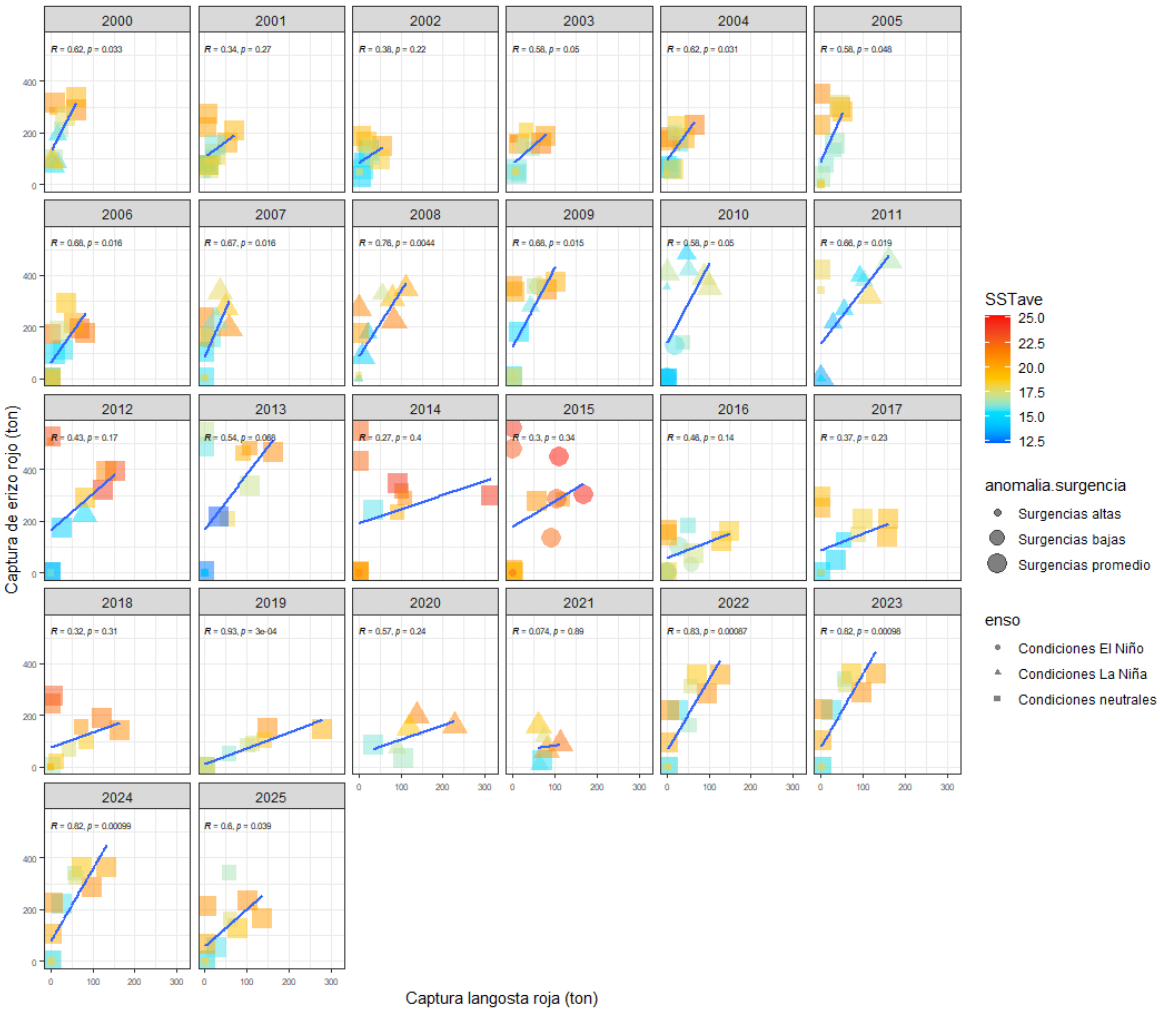


Figura 9. Relación entre capturas de erizo rojo y langosta roja bajo diferentes condiciones ambientales (temperatura superficial, anomalía surgencias y condiciones ENSO). La información de los paneles de 2022 a 2025 corresponde a la proyección realizada bajo el escenario de condiciones promedio.

Con base en las series de tiempo de 2000 a 2021 bajo condiciones normales de temperatura, condiciones frías y cálidas. En el caso de las capturas de erizo rojo se observa que dependiendo del año y las condiciones, la densidad de probabilidad se distribuye alrededor de 0 y 300 toneladas bajo condiciones promedio y previas a 2005. Los años con distribución más amplia de las capturas son 2014 y 2015 bajo condiciones cálidas (Fig. 10).

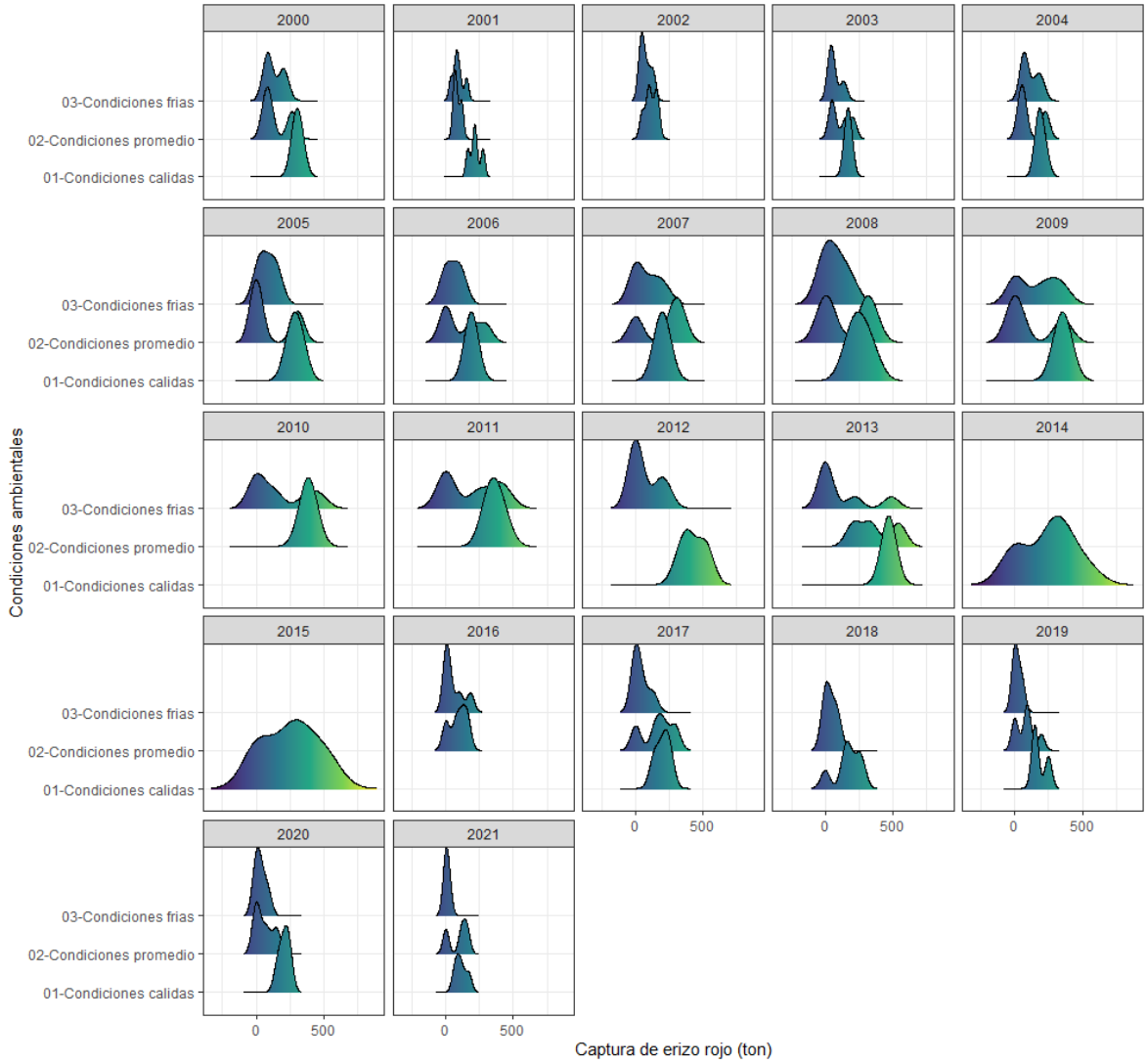


Figura 10. Densidad de probabilidad de la captura de erizo rojo bajo diferentes condiciones ambientales de temperatura superficial.

Se calcularon los posibles valores que podrían tomar las capturas a 2025, con base en los valores observados para el periodo entre 2000 y 2021. La densidad de probabilidad de las capturas proyectadas bajo los escenarios promedio, arriba del promedio (condiciones cálidas) y abajo del promedio (condiciones frías), se encuentran dentro de lo observado (Fig. 11).

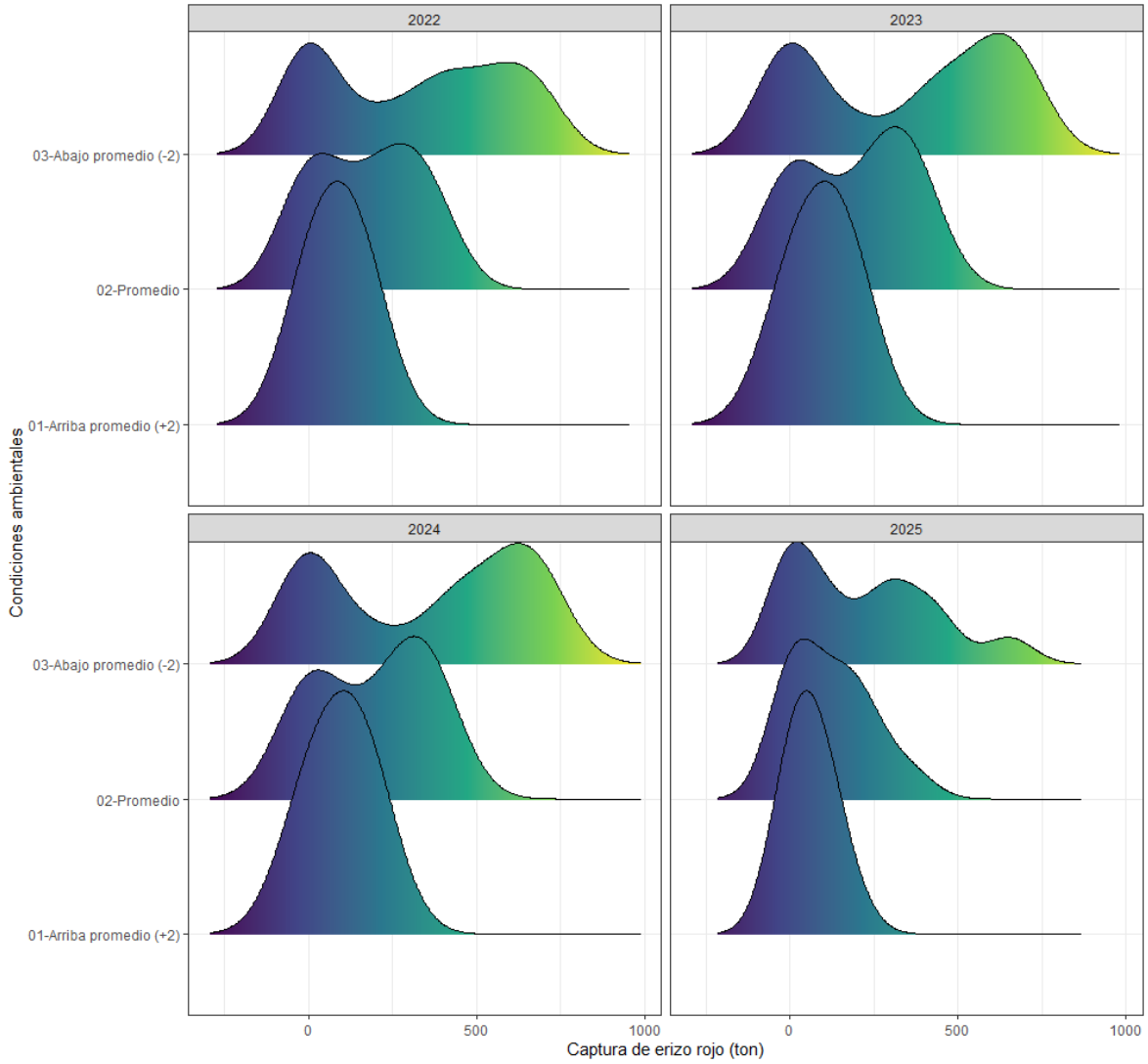


Figura 11. Densidad de probabilidad de las proyecciones de captura de erizo rojo bajo diferentes condiciones ambientales.

La densidad de probabilidad de los valores de densidad poblacional de erizo rojo se mantienen por debajo de 5 erizos m^{-2} para toda la serie de tiempo bajo cualquiera de las tres condiciones de temperatura, con excepción de 2014 y 2015 donde la probabilidad de encontrar más de 10 erizos m^{-2} incrementa (Fig. 12).

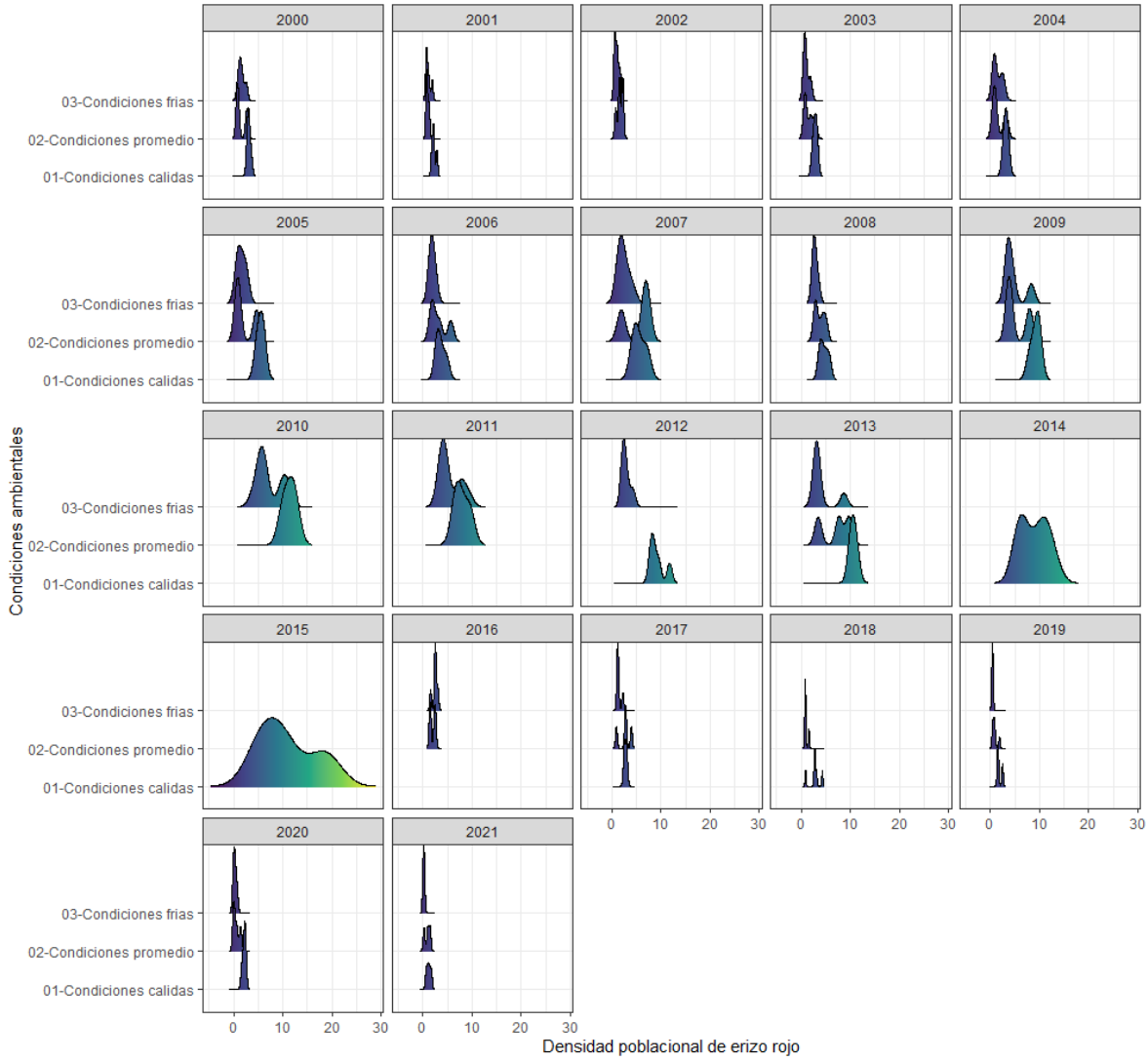


Figura 12. Densidad de probabilidad de la densidad poblacional de erizo rojo bajo diferentes condiciones ambientales.

La densidad de probabilidad de los valores que puede tener la densidad poblacional de erizo rojo proyectada se encuentra entre 1 y 18 erizos m^{-2}, valores que se encuentran dentro de los históricos bajo las diferentes condiciones ambientales (Fig. 13).

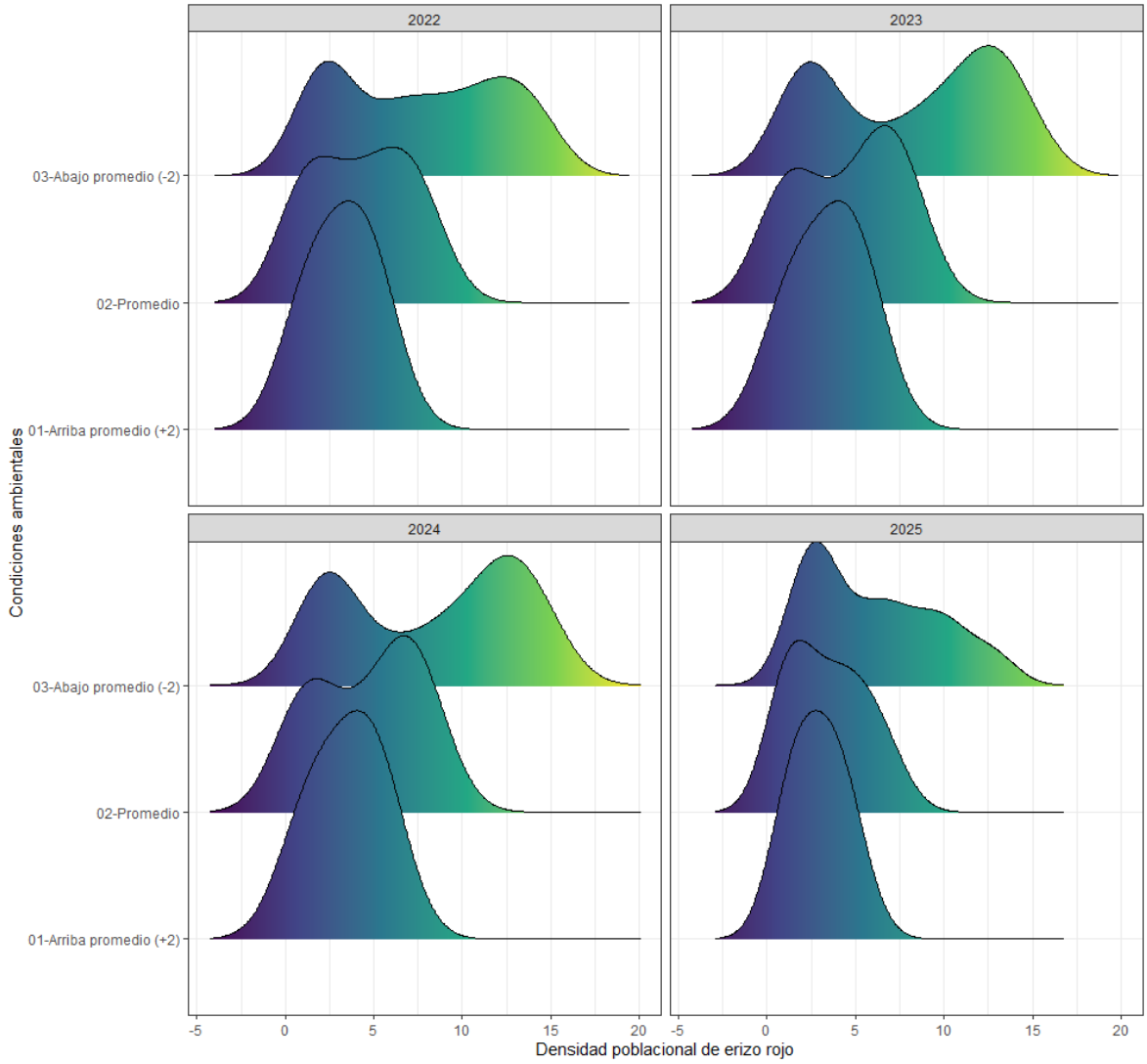


Figura 13. Densidad de probabilidad de la densidad poblacional de erizo rojo proyectada bajo diferentes condiciones ambientales.

Con base en los modelos y proyecciones bajo diferentes escenarios de variabilidad ambiental se observa que dependiendo de las condiciones que se desarrollen en los próximos años, la densidad poblacional y capturas de erizo rojo puede permanecer alrededor de los valores históricos observados entre el año 2000 y 2021. En caso de que se presentara una nueva onda de calor marina (MHW), podríamos esperar un incremento gradual en la densidad y capturas de erizo rojo; sin embargo, debido a la relación inversa entre la temperatura y la biomasa de sargazo, podríamos esperar un declive en la biomasa de sargazo que a su vez repercutiría de manera negativa en la densidad de erizo rojo entre 1.5 y 2 años después del evento. De igual manera, el incremento en la biomasa de sargazo tienen un efecto positivo en la densidad de erizo rojo, pero este efecto es

visible en la densidad de erizo entre 1.25 y 1.5 años después del incremento en sargazo (Fig. 14).

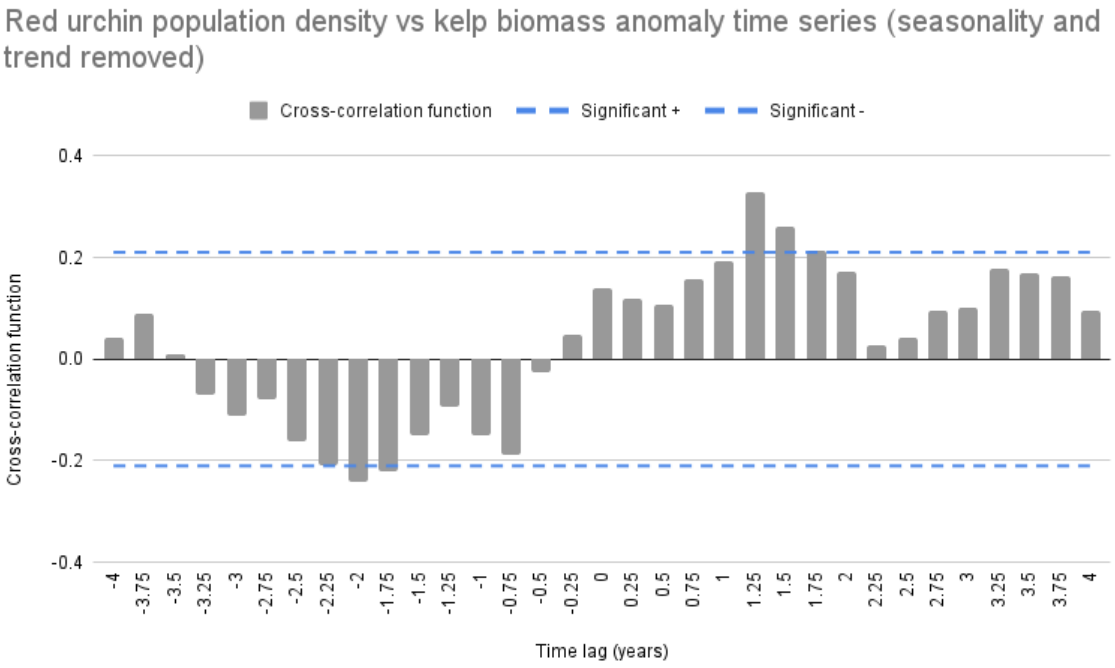


Figura 14. Función de correlación – cruzada entre las anomalías de densidad de población de erizo rojo y biomasa de sargazo gigante. Se removió la estacionalidad y tendencia de ambas series de tiempo para observar mejor los efectos de desfase. Los valores de la función mayores de 0.21 son significativos. Modificado de Medellín – Ortiz et al (2021).

Además, con base en la función de probabilidad acumulada para la captura de erizo rojo proyectada bajo las diferentes condiciones ambientales utilizadas, se observa que la probabilidad de obtener capturas mensuales por arriba de 200 toneladas es mayor bajo condiciones ambientales frías (debajo del promedio), mientras que la probabilidad de obtener capturas mensuales por debajo de 100 toneladas es mayor bajo condiciones ambientales cálidas (arriba del promedio). De la misma manera, la probabilidad de que la densidad poblacional de erizo rojo sea mayor a 5 erizos m^{-2} es mayor bajo condiciones frías, mientras que bajo condiciones cálidas la probabilidad de densidades mayores a 5 erizos m^{-2} es menor (Fig. 15).

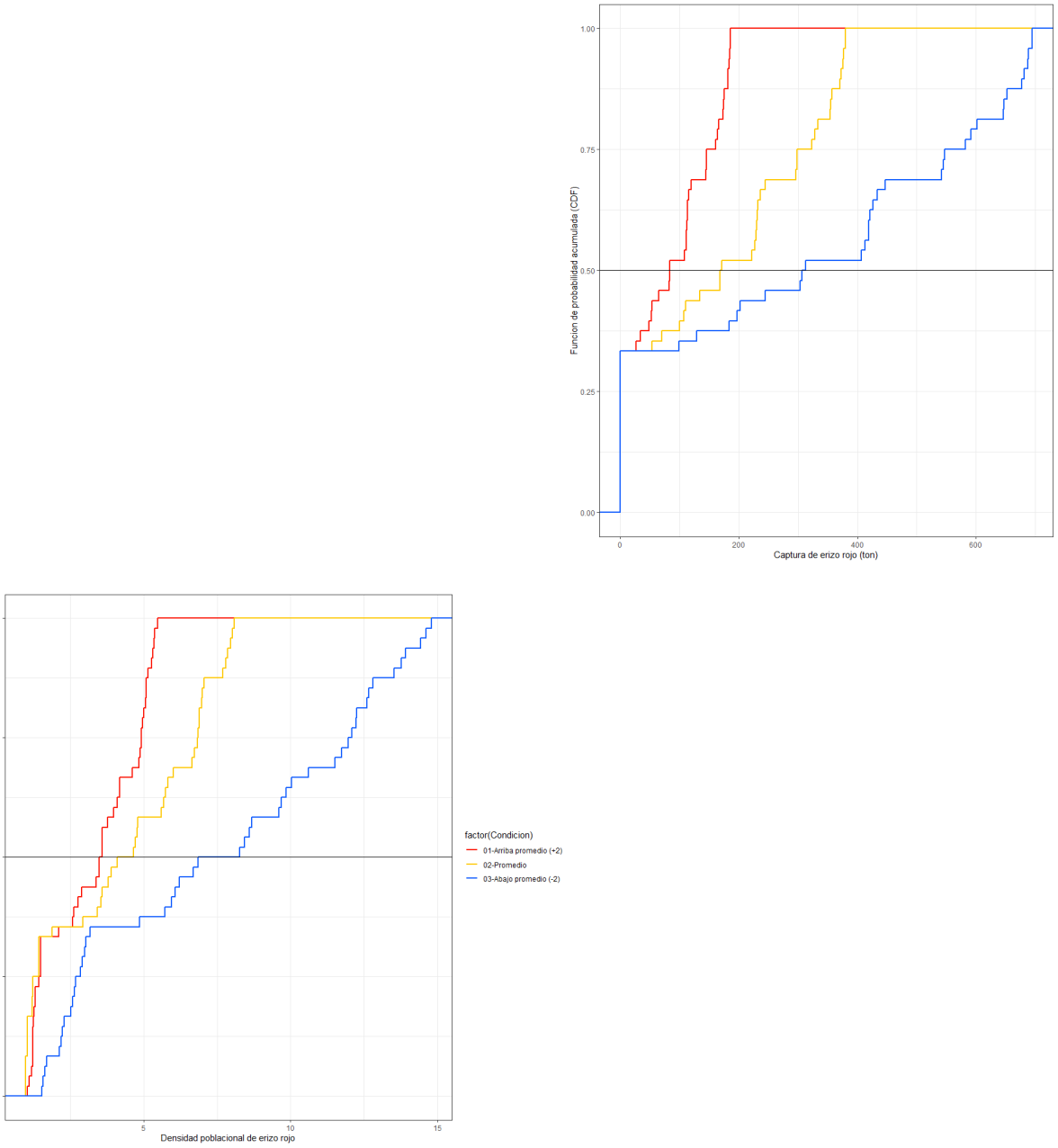
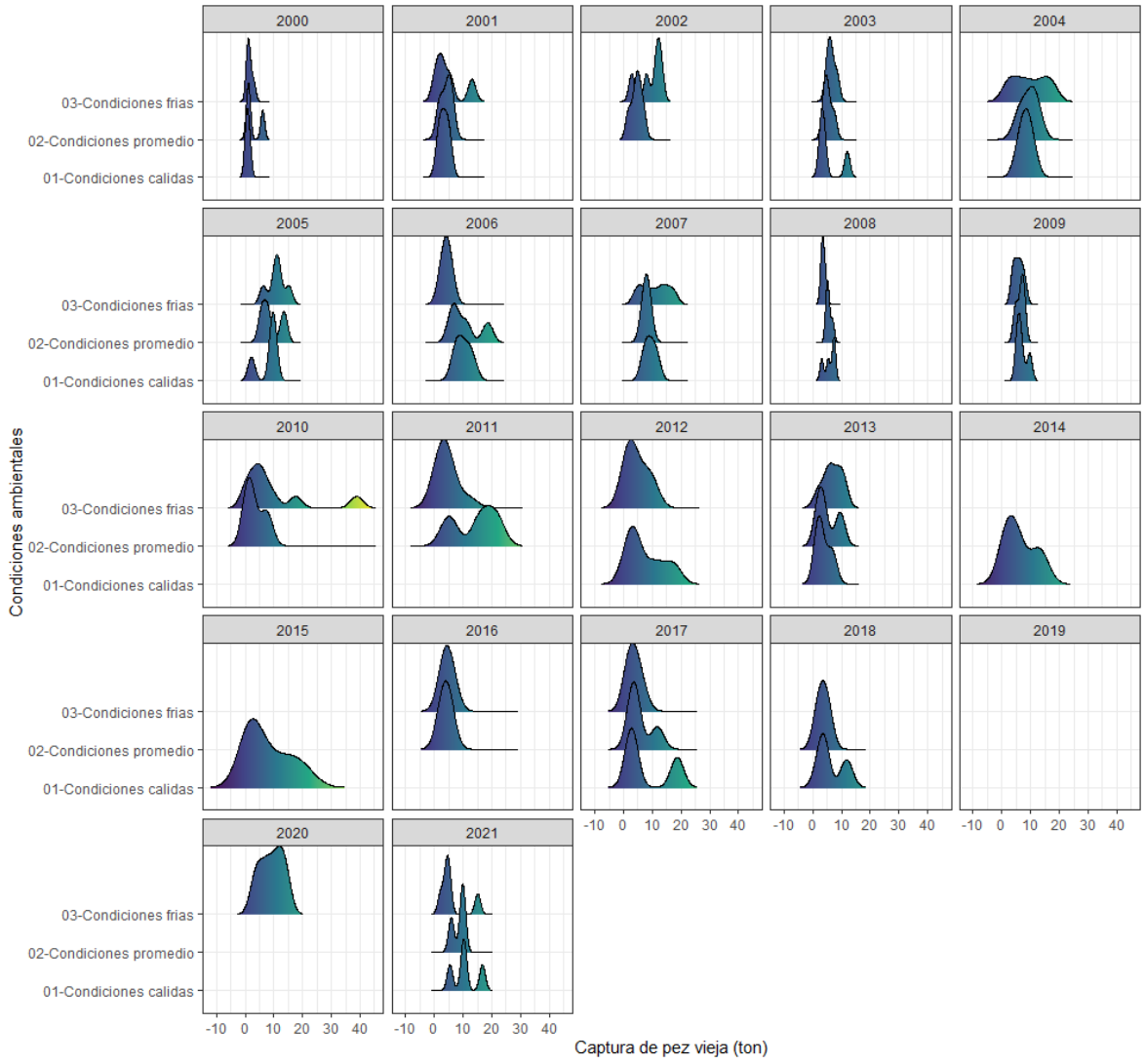
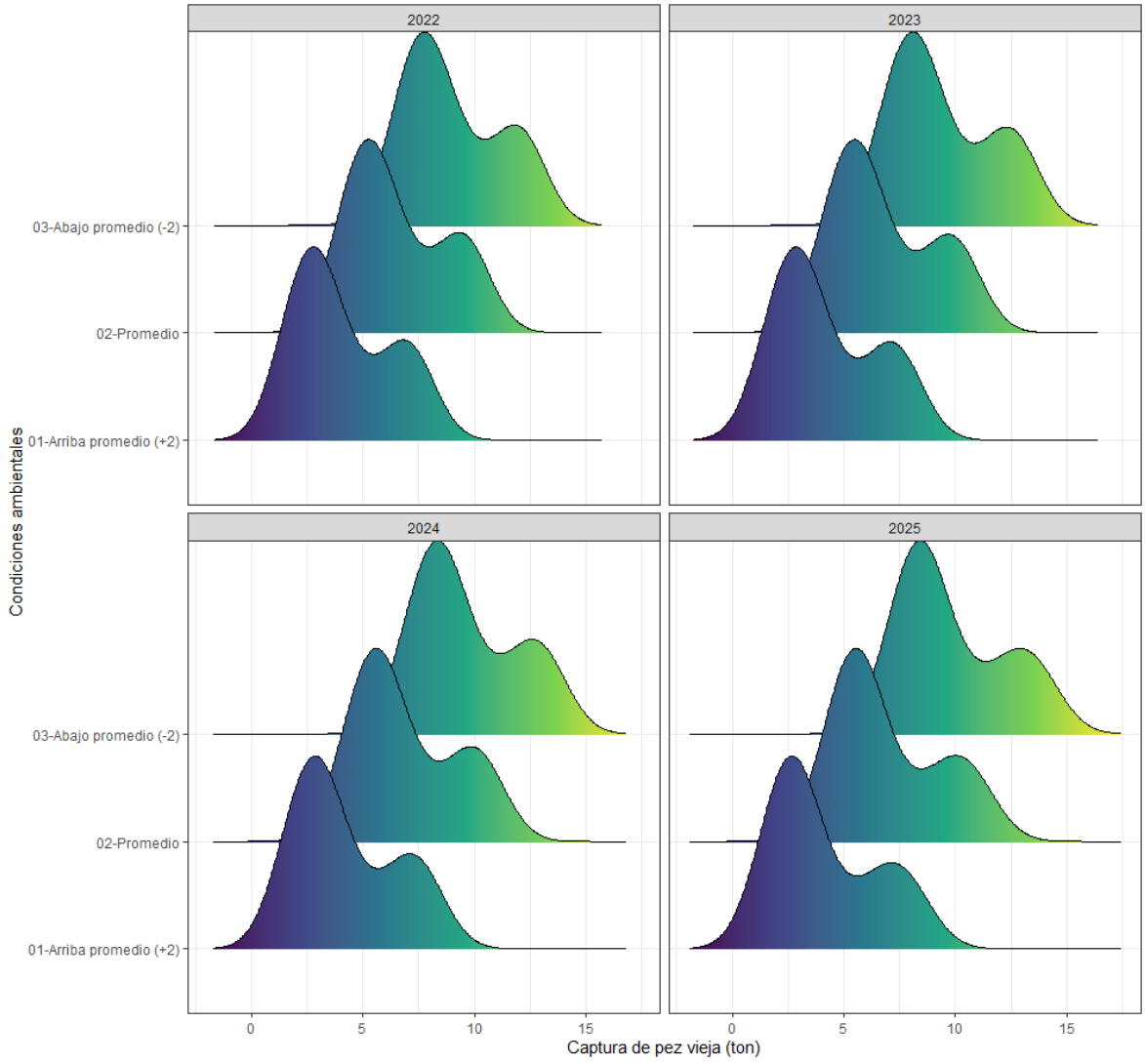


Figura 15. Funciones de probabilidad acumulada (CDF) de la captura (panel izquierdo) y la densidad poblacional (panel derecho) de erizo rojo proyectadas entre 2022 y 2025 bajo tres condiciones ambientales distintas. La línea horizontal indica el valor de la CDF = 0.5.

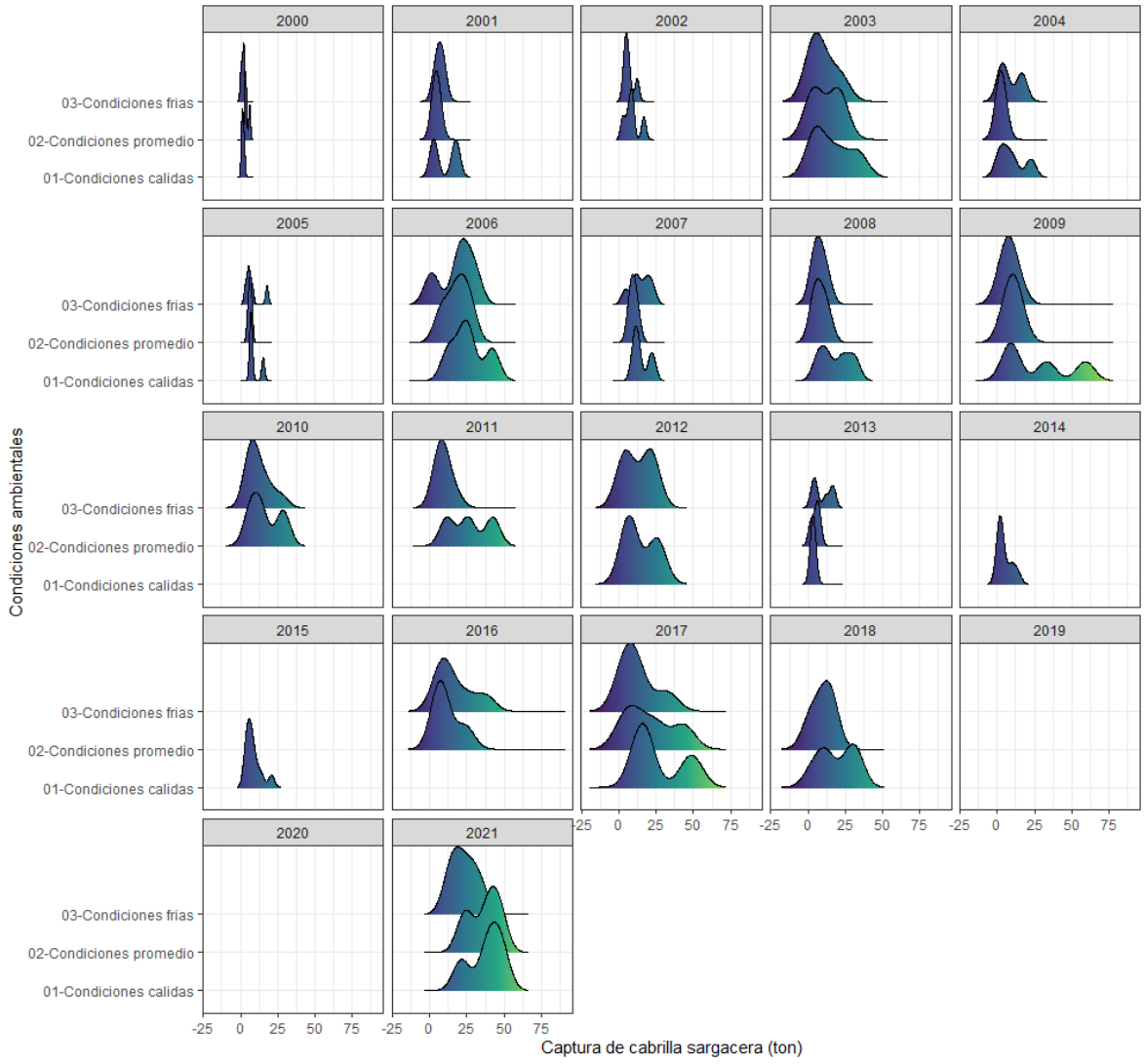
Anexo I. Densidad de probabilidad de la captura de pez vieja bajo las tres condiciones ambientales.



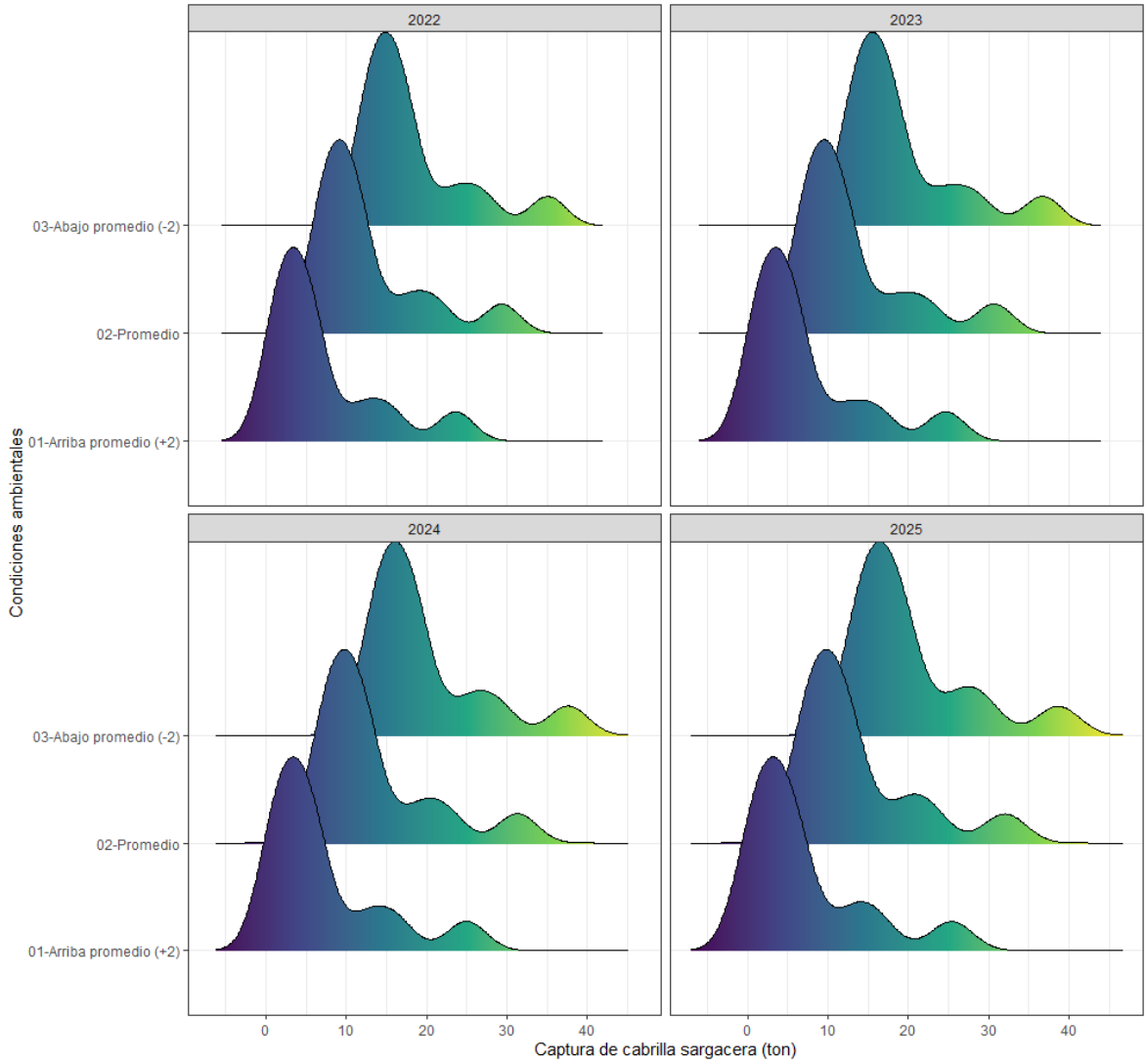
Anexo II. Densidad de probabilidad de las proyecciones de la captura de pez vieja bajo los tres escenarios de condiciones ambientales.



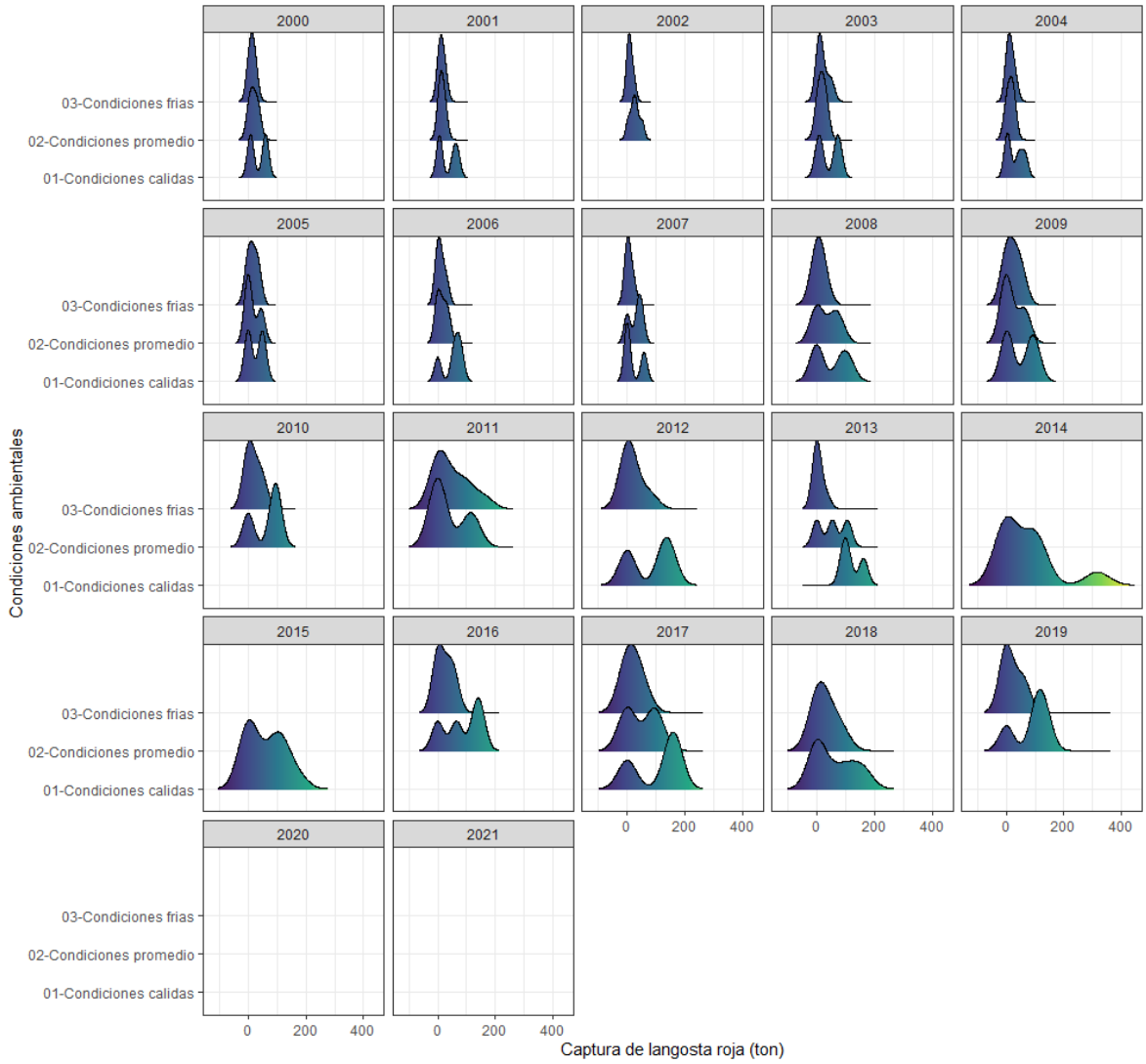
Anexo III. Densidad de probabilidad de la captura de cabrilla sargacera bajo las tres condiciones ambientales.



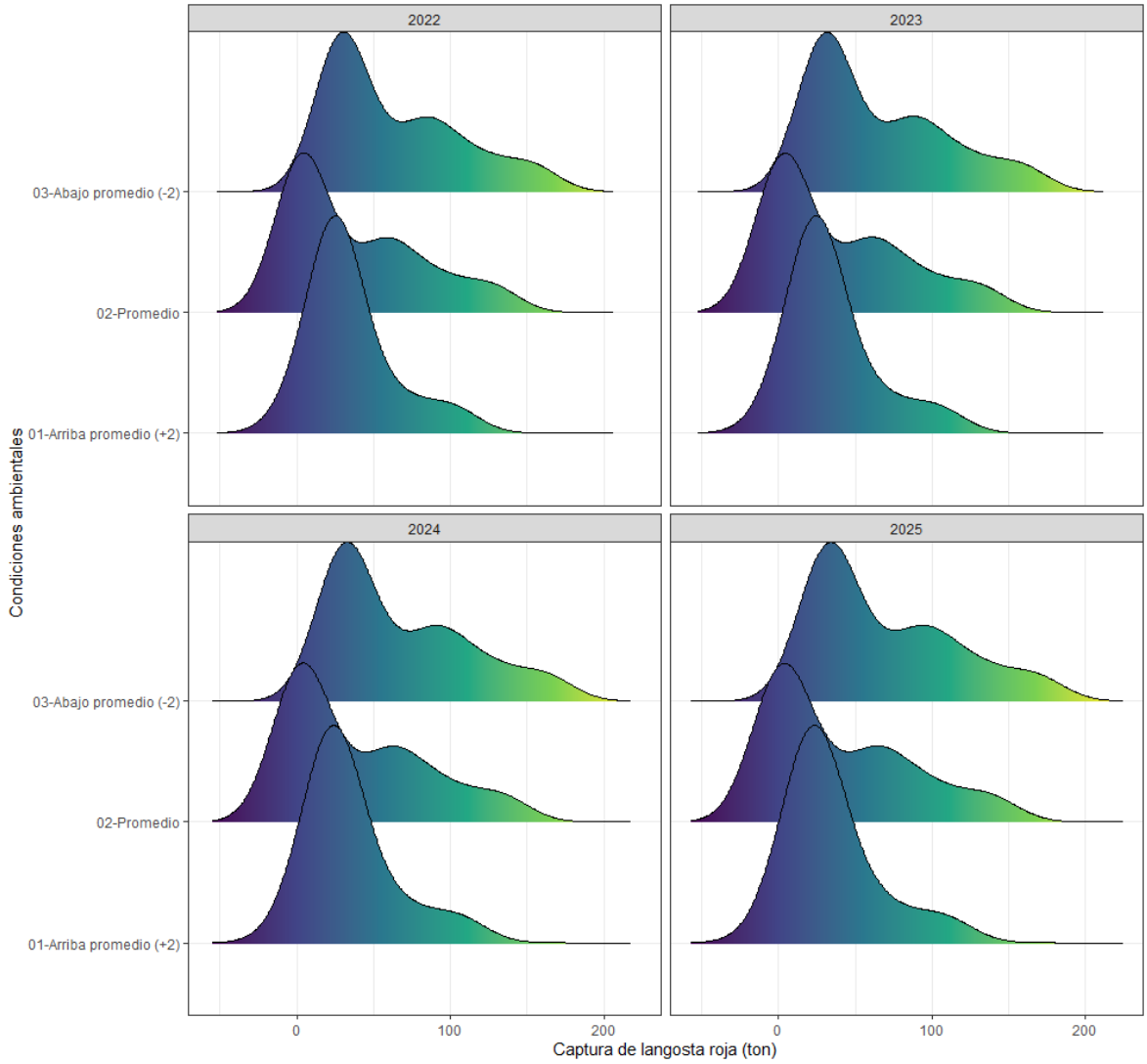
Anexo IV. Densidad de probabilidad de las proyecciones de la captura de cabrilla sargacera bajo los tres escenarios de condiciones ambientales.



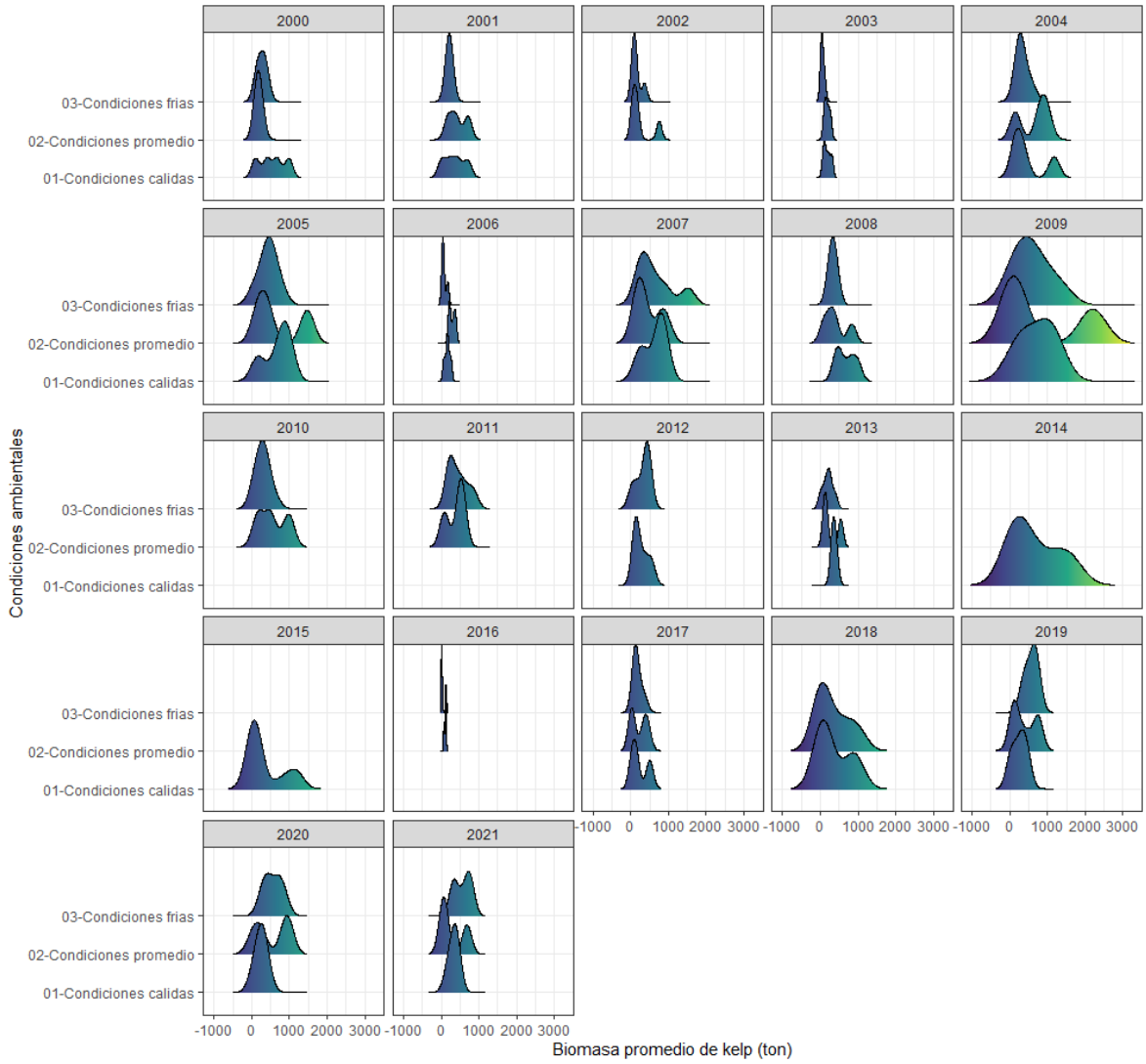
Anexo V. Densidad de probabilidad de la captura de langosta roja bajo las tres condiciones ambientales.



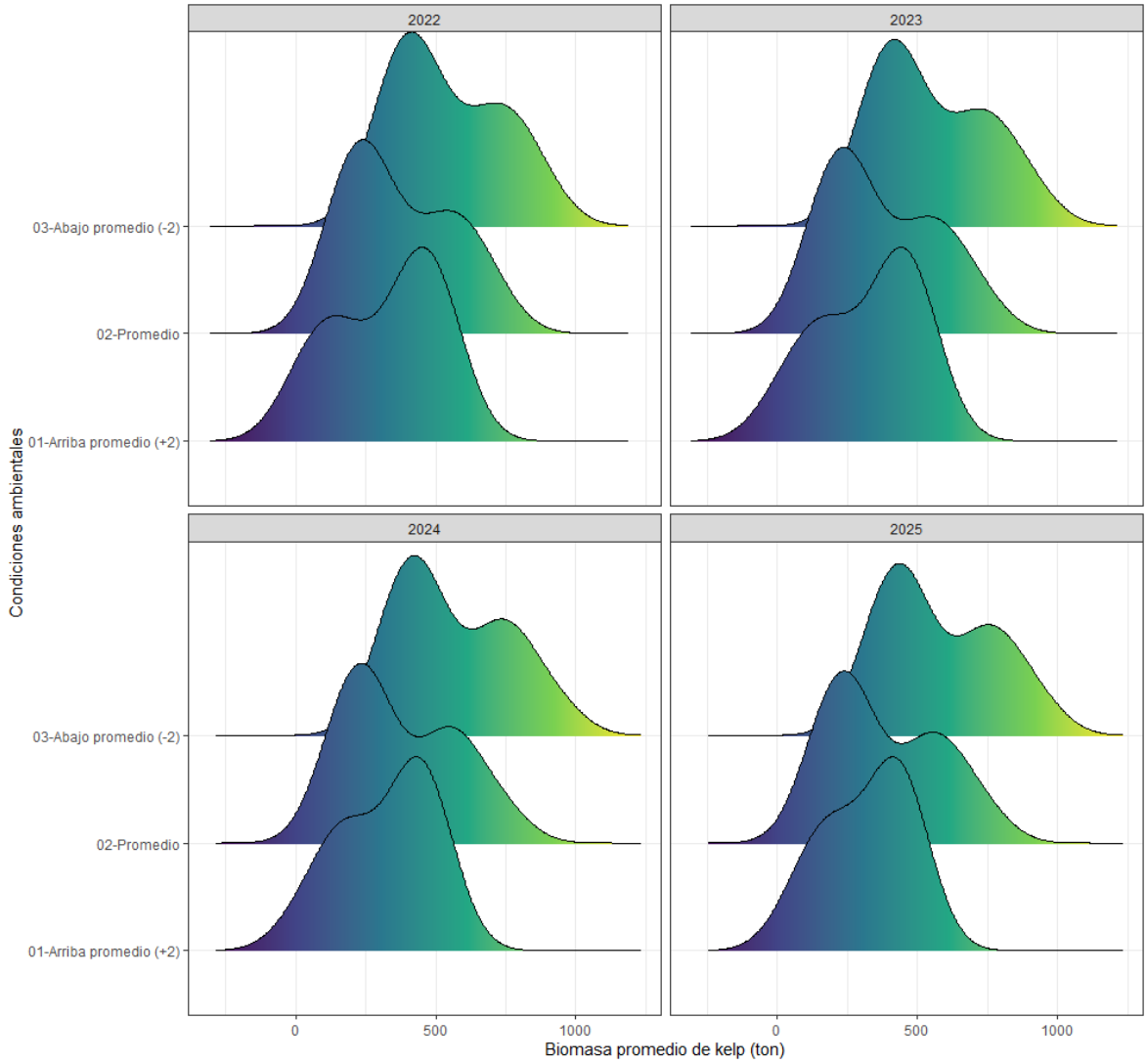
Anexo VI. Densidad de probabilidad de las proyecciones de la captura de langosta roja bajo los tres escenarios de condiciones ambientales.



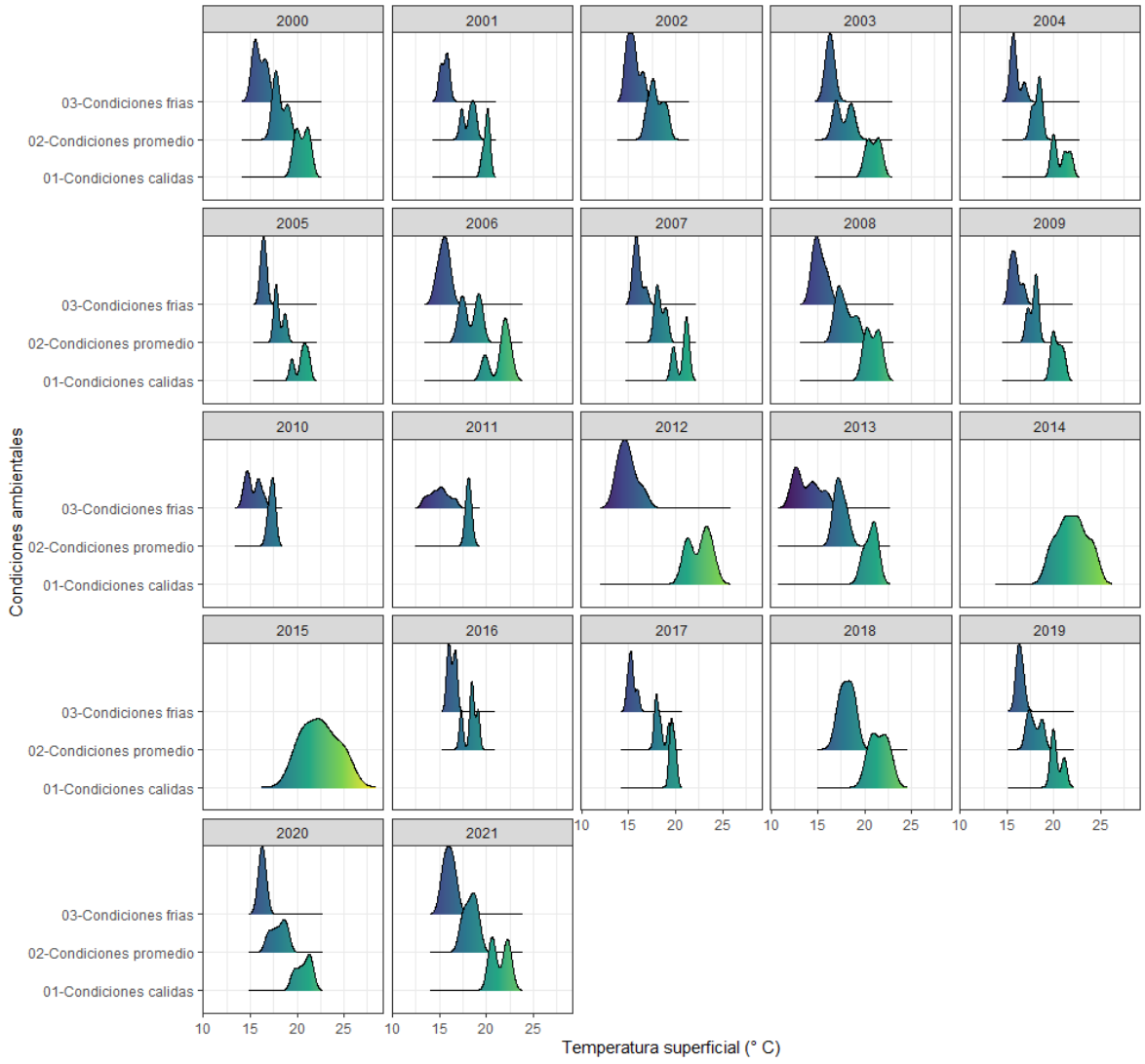
Anexo VII. Densidad de probabilidad de la biomasa promedio de sargazo bajo las tres condiciones ambientales.



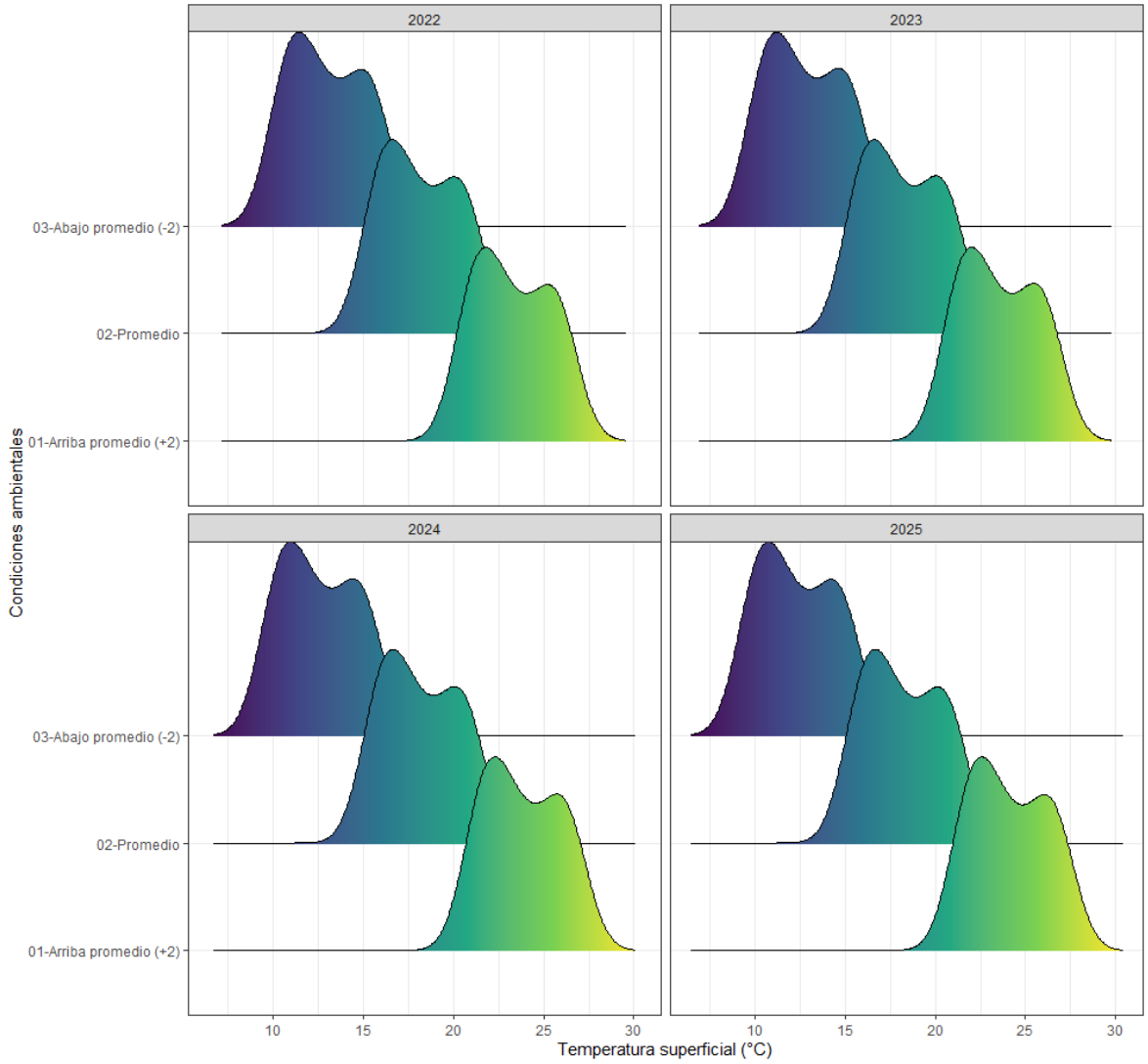
Anexo VIII. Densidad de probabilidad de las proyecciones de la biomasa promedio de sargazo bajo los tres escenarios de condiciones ambientales.



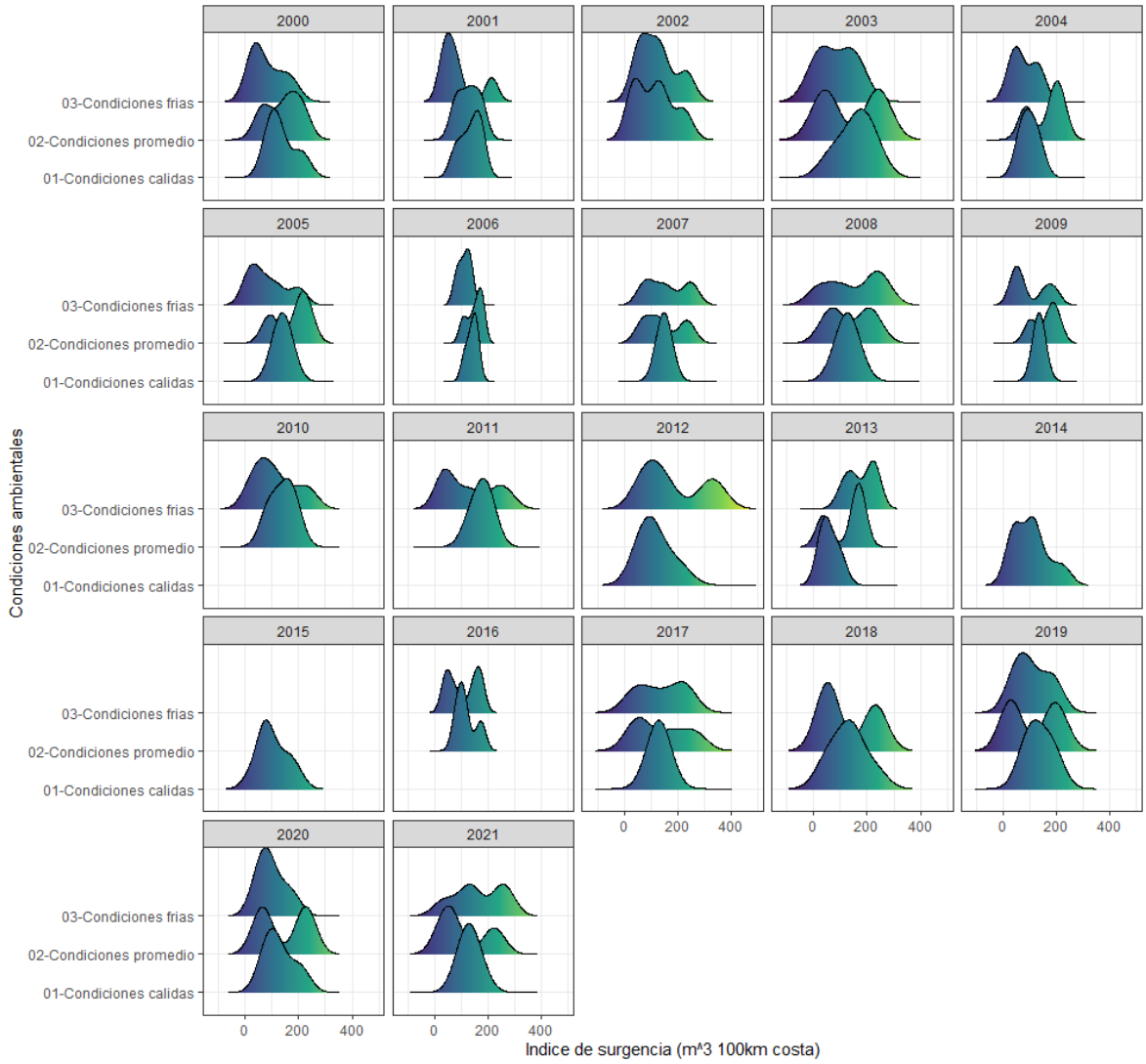
Anexo IX. Densidad de probabilidad de la temperatura superficial bajo las tres condiciones ambientales.



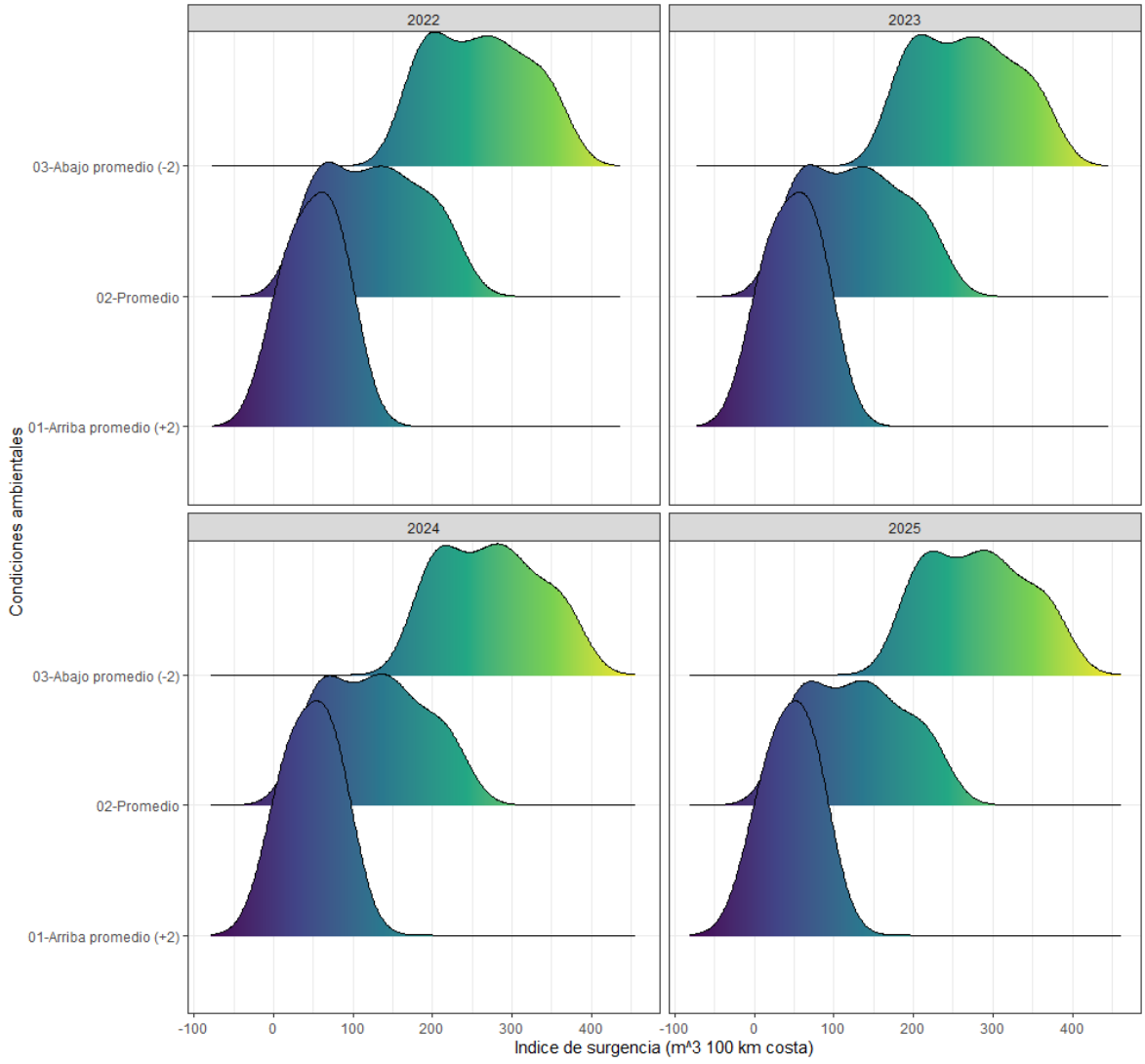
Anexo X. Densidad de probabilidad de las proyecciones de la temperatura superficial bajo los tres escenarios de condiciones ambientales.



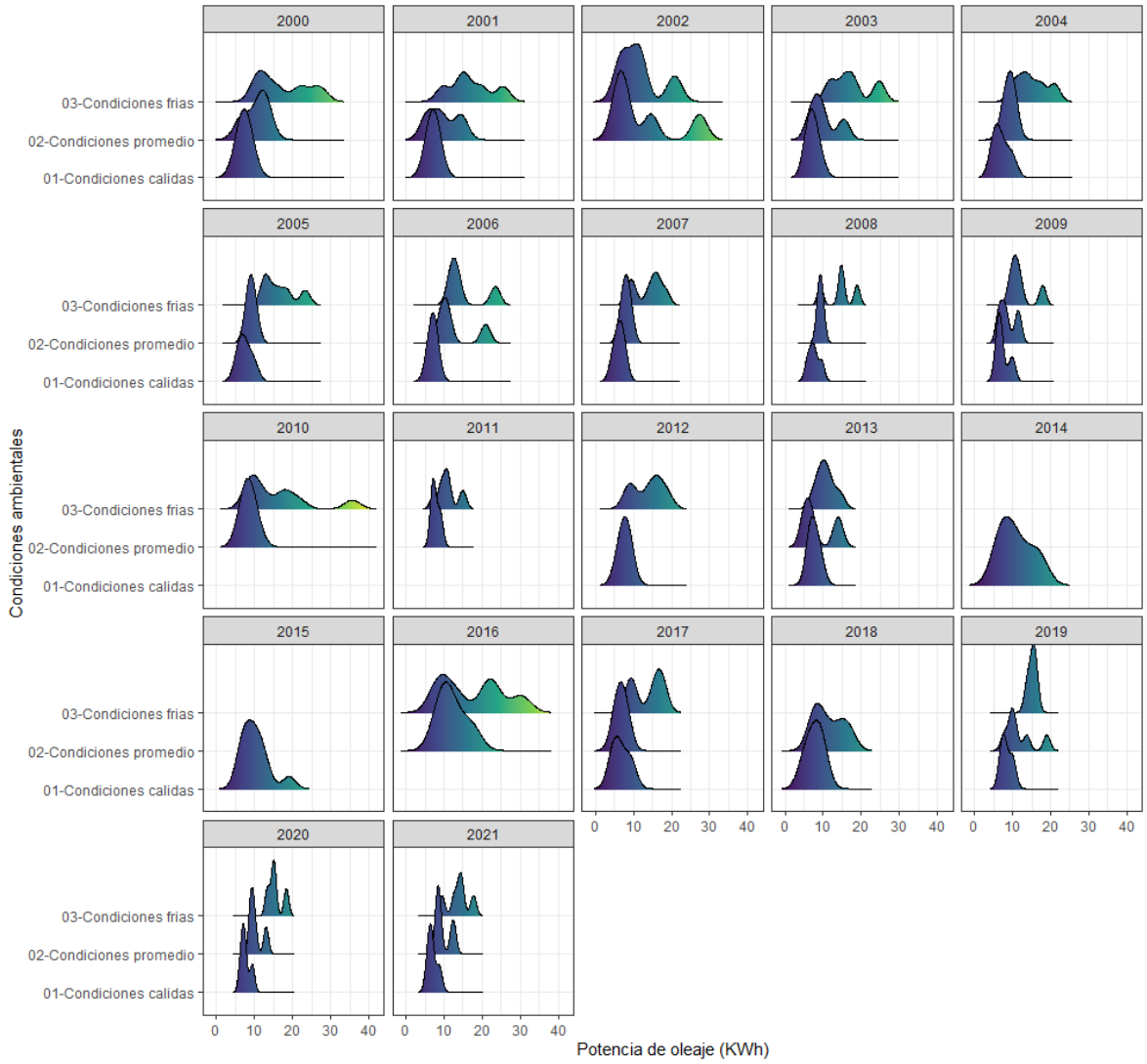
Anexo XI. Densidad de probabilidad del índice de surgencia bajo las tres condiciones ambientales.



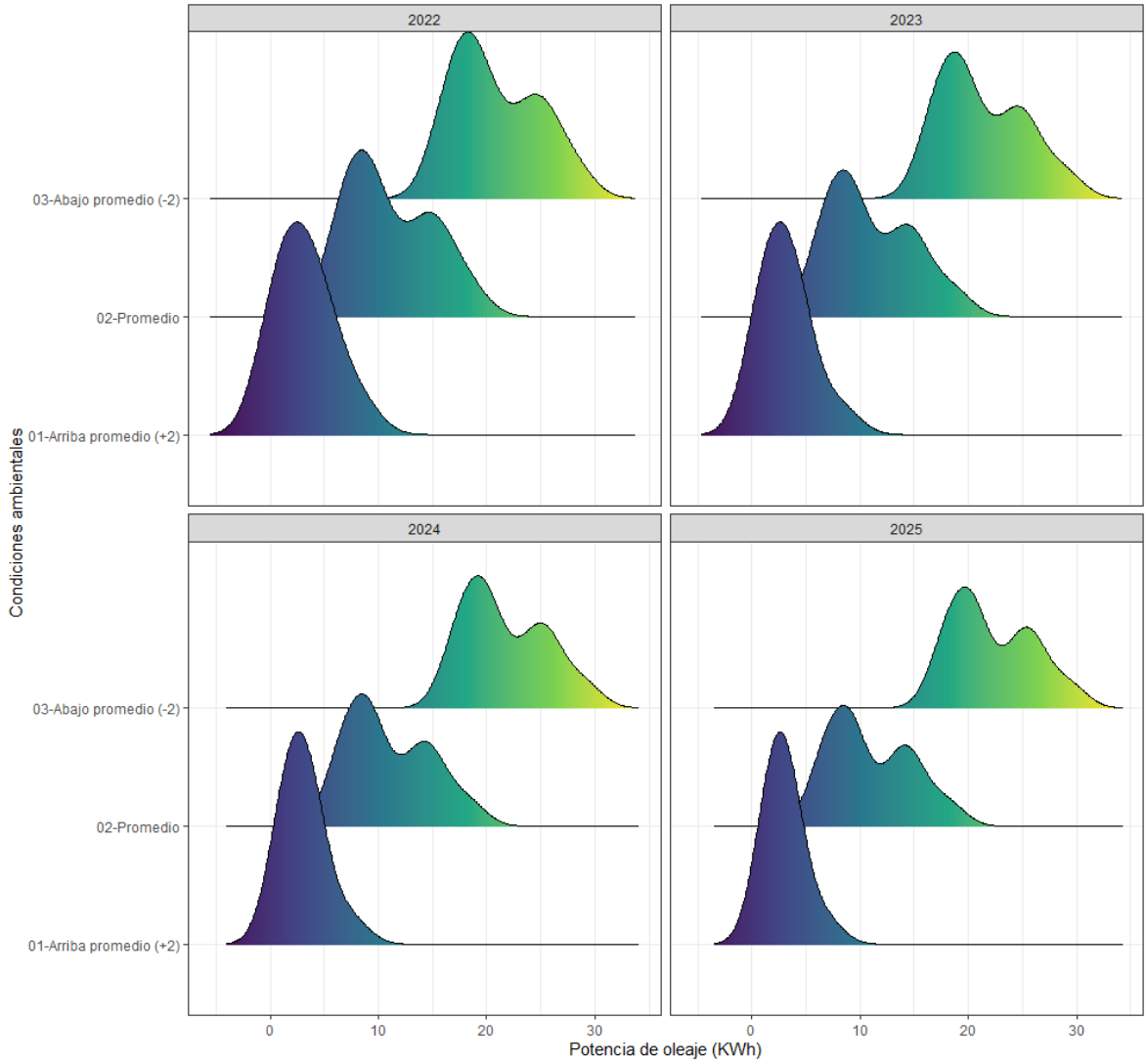
Anexo XII. Densidad de probabilidad de las proyecciones del índice de surgencia bajo los tres escenarios de condiciones ambientales.



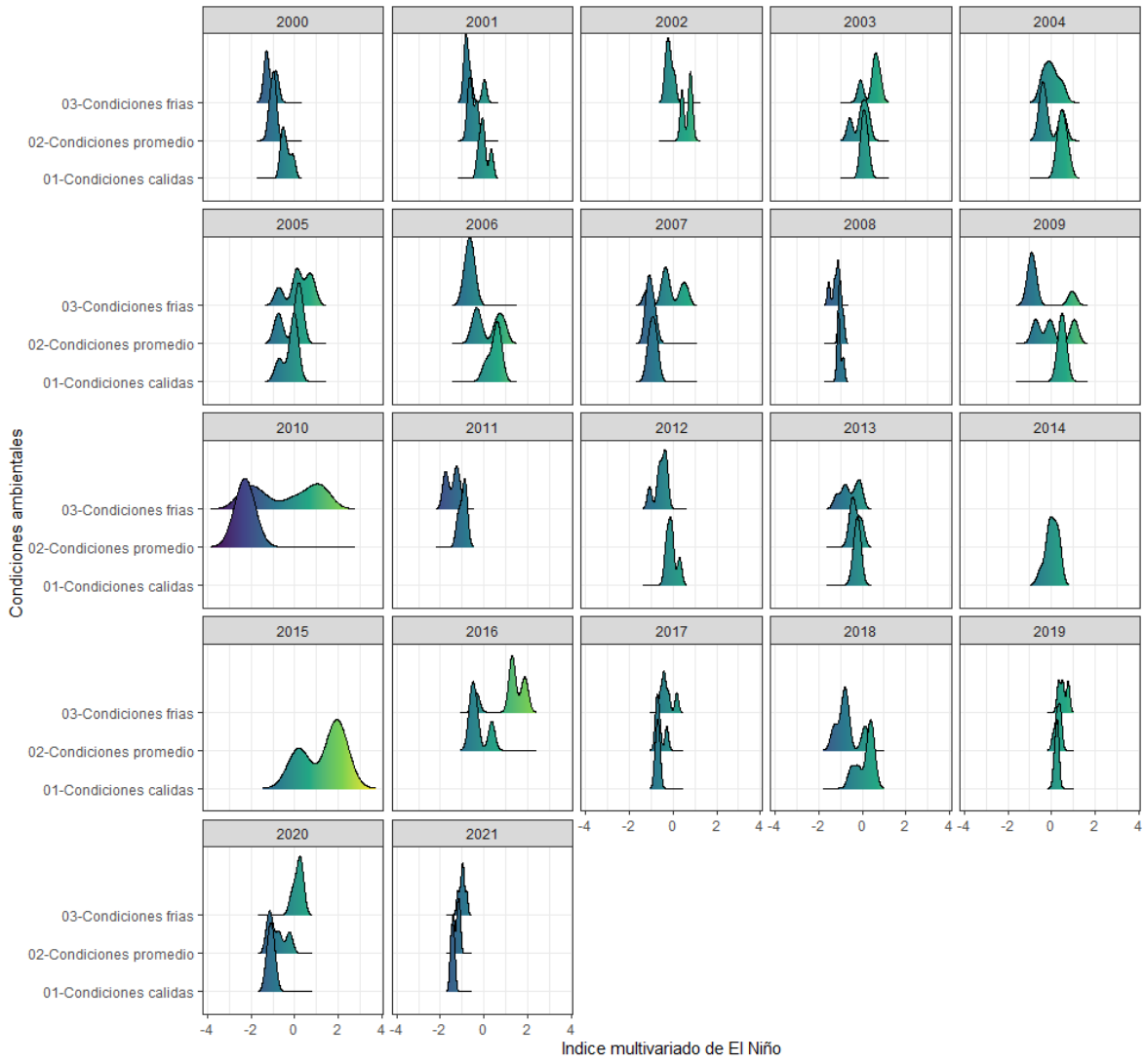
Anexo XIII. Densidad de probabilidad de la potencia de oleaje bajo las tres condiciones ambientales.



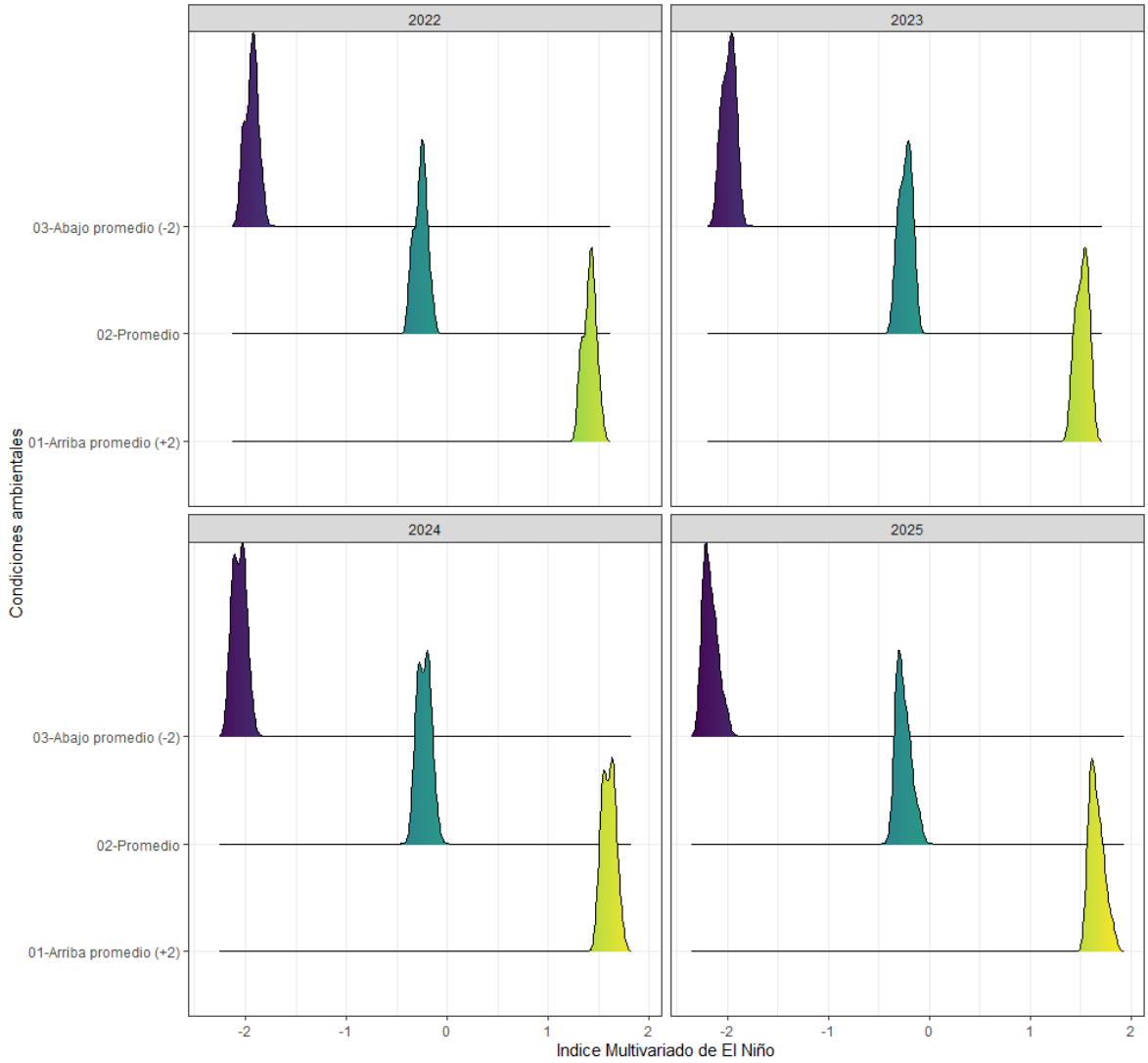
Anexo XIV. Densidad de probabilidad de las proyecciones de la potencia de oleaje bajo los tres escenarios de condiciones ambientales.



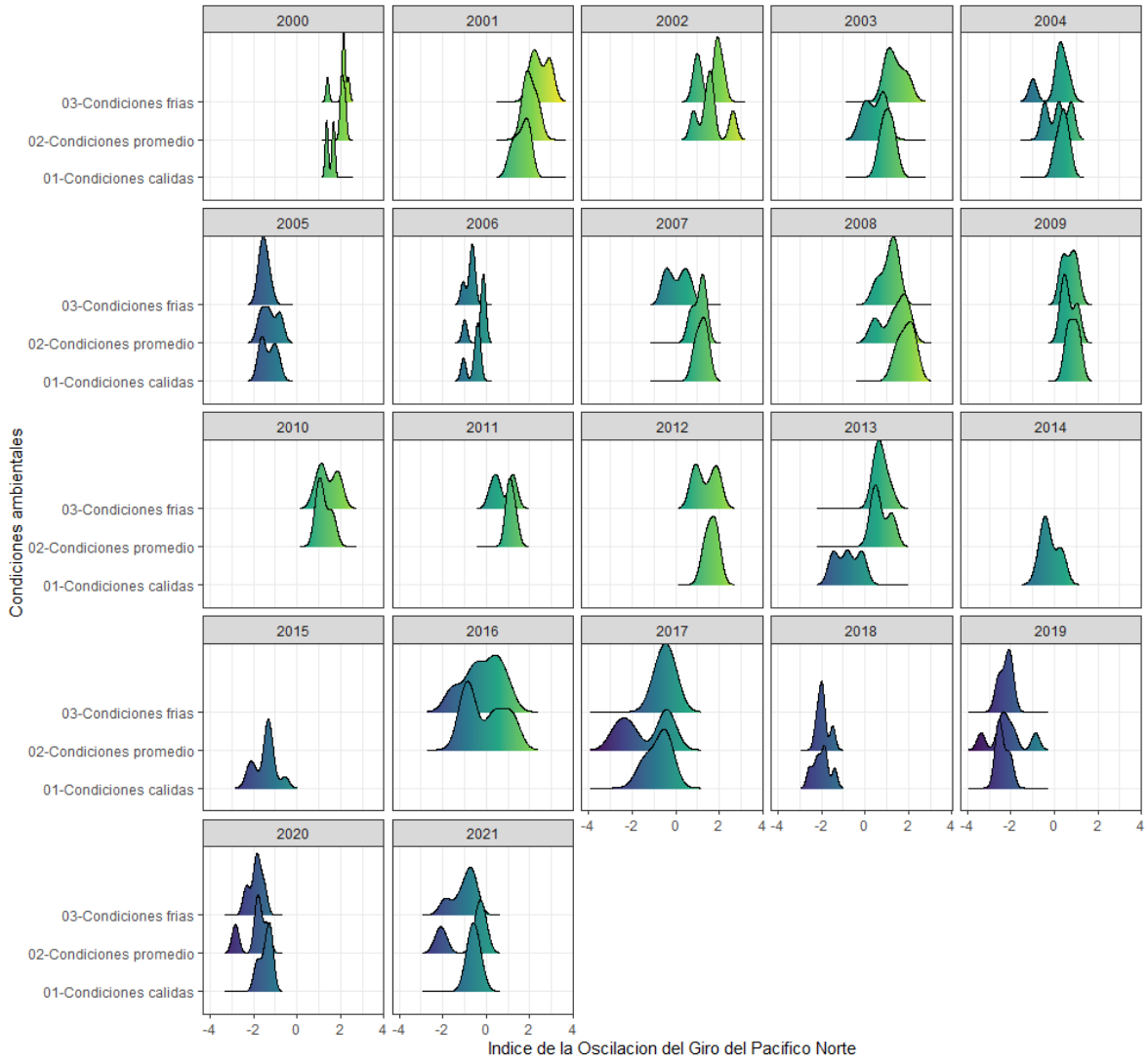
Anexo XV. Densidad de probabilidad del índice multivariado de El Niño bajo las tres condiciones ambientales.



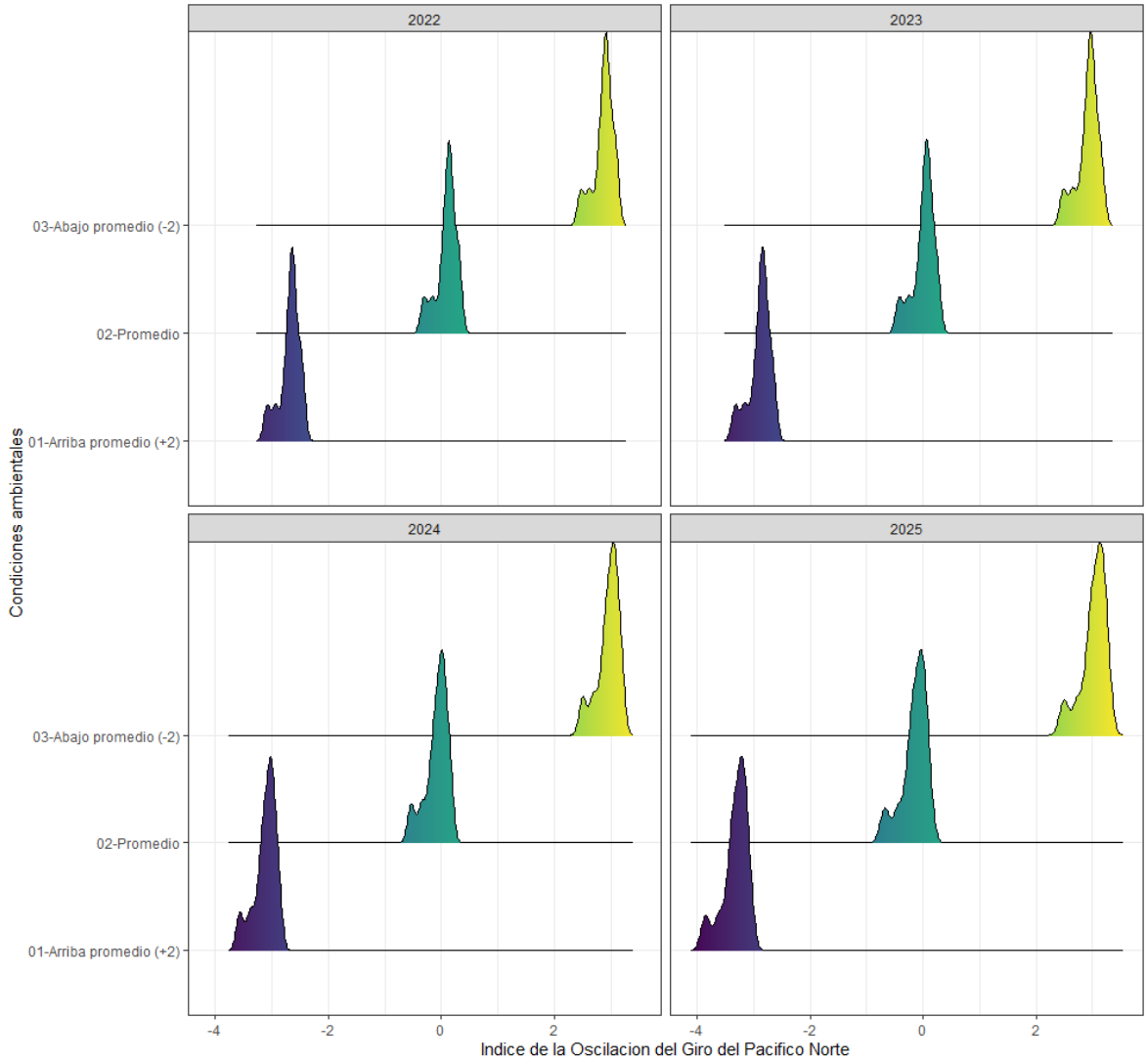
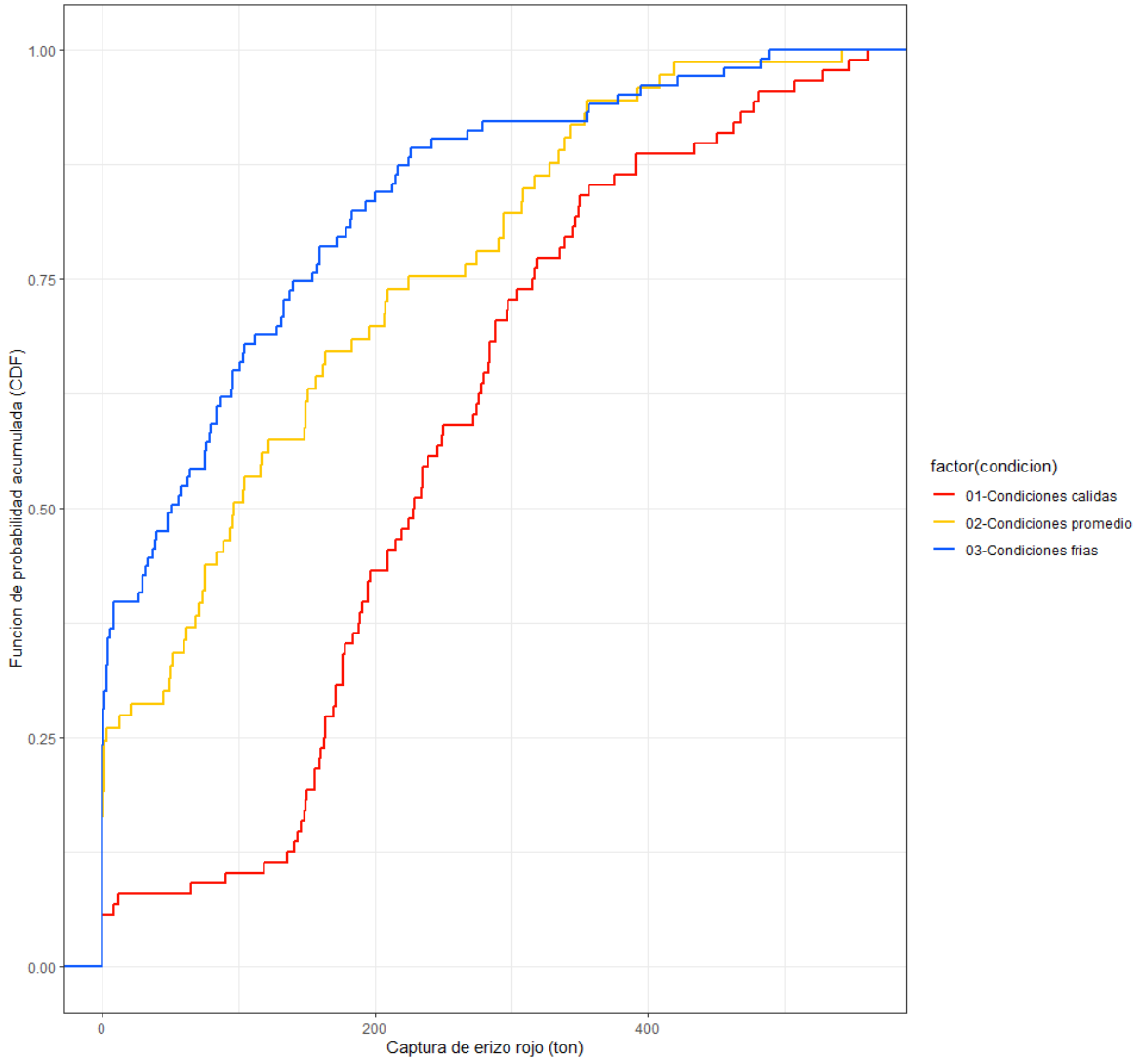
Anexo XVI. Densidad de probabilidad de las proyecciones del índice multivariado de El Niño bajo los tres escenarios de condiciones ambientales.



Anexo XVII. Densidad de probabilidad del índice de la oscilación del giro del Pacifico Norte bajo las tres condiciones ambientales.



Anexo XVIII. Densidad de probabilidad de las proyecciones de la oscilación del giro del Pacifico Norte bajo los tres escenarios de condiciones ambientales.


2022
2023
2024
2025
03-Abajo promedio (-2)
02-Promedio
01-Arriba promedio (+2)
Condiciones ambientales
-4
-2
0
2
Indice de la Oscilacion del Giro del Pacifico Norte

Anexo XIX. Función de probabilidad acumulada para la captura de erizo rojo durante el periodo 2000 – 2021 bajo tres condiciones ambientales diferentes.