



Evaluación de estrategias de manejo para la pesquería de camarón pomada (*Protrachypene precipua*) en el Ecuador

Cristian M. Canales
Jesús Curiel

Octubre, 2025



El desarrollo de este documento ha sido posible en el marco cooperación público-privada entre el Viceministerio de Acuicultura y Pesca, Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca y la Cámara Nacional de Pesquería para implementar el proceso de mejora de la pesquería Titi-Shrimp Sustainability y el Programa de Fortalecimiento de Barcos Proveedores Pesca Responsable con el apoyo del proyecto “Save the Blue Five”, un proyecto financiado por el Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Acción Climática, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMUKN) a través de la Iniciativa Climática Internacional (IKI), implementado por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS), la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), Conservación Internacional (CI) y MarViva (MV).



RESUMEN

La pesquería del camarón pomada (*Protrachypene precipua*) en el Ecuador represente una actividad de gran importancia dada su contribución tanto económica como social, en especial para las comunidades costeras y marinas. Su corto ciclo de vida y la alta presión pesquera han generado preocupación por la sostenibilidad de la pesquería, lo que hace indispensable diseñar estrategias de manejo adaptativas y precautorias. En este sentido, se implementó una Evaluación de Estrategia de Manejo (EEM) con el fin de analizar el desempeño de distintas Reglas de Control de Captura (RCC) bajo diferentes escenarios de productividad (Modelos Operativos).

Los resultados muestran que la pesquería industrial presenta un comportamiento relativamente más estable, sustentada en una mejor condición de la biomasa, menor fluctuación en la mortalidad por pesca y capturas que tienden a mantener aún bajo escenarios de baja productividad. En contraste, la pesquería artesanal resulta más vulnerable ya que se presenta con mayor frecuencia escenarios donde la biomasa se mantiene por debajo de la biomasa de referencia (Brms), aspecto explicado por la gran variabilidad del reclutamiento y mayor exposición a riesgos de sobreexplotación o colapso en escenario de baja productividad.

Los análisis indican que dos reglas de control de capturas (RCC1 y RCC2) ofrecen los mejores resultados en ambas pesquerías, al mantener la mortalidad por pesca en torno al valor de referencia (Frms), reducir el riesgo de sobreexplotación y favorecer un balance entre la conservación del recurso y la estabilidad de las capturas. No obstante, el mejor balance entre objetivos de conservación y pesqueros se registran en la RCC1, regla tipo “rampa”, que además de ser la elegida por los usuarios, fue la más frecuente en los máximos puntajes objetivos en las variables de desempeño independientemente del modelo operativo considerado. Los análisis realizados resaltaron la importancia de una estrategia de manejo flexible y adaptativa que considere tanto las variaciones en la productividad como la necesidad de mantener un control eficiente y estable sobre la mortalidad por pesca, especialmente en situaciones de incertidumbre o cambios en las condiciones ambientales. Esta regla podría garantizar que ambas pesquerías puedan sostenerse en el tiempo, resguardando no solo al recurso, sino la sostenibilidad de la actividad extractiva comercial.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	ANTECEDENTES.....	11
2.1.	Pesquería	11
2.2.	Aspectos normativos	12
2.3.	Evaluación poblacional	14
2.4.	Estrategias y procedimientos de manejo	15
3.	METODOLOGÍA.....	18
3.1.	Talleres para definir objetivos operacionales	18
3.2.	Modelos Operativos	18
3.3.	Modelo de estimación/emulación de la evaluación de stock	25
3.4.	Esquema de simulación	28
3.5.	Reglas de control de capturas	30
4.	RESULTADOS.....	32
4.1.	Resultado taller de consulta a usuarios e indicadores de desempeño	33
4.2.	Evaluación de las estrategias de manejo	37
5.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	66
6.	RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MANEJO	70
7.	BIBLIOGRAFÍA	72
8.	ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Configuración de los modelos operativos empleados para evaluar las estrategias de explotación de camarón.....	22
Tabla 2. Modelo de emulación de la estimación de camarón	26
Tabla 3. Fuentes de variabilidad consideradas en los modelos operativos de Camarón	28
Tabla 4. Configuración de las reglas de control de capturas empleadas para evaluar las estrategias de explotación de camarón.....	31
Tabla 5. Puntos Biológicos de Referencia (PBR) para la flota pesquera industrial empleados para la evaluación de estrategias de manejo de camarón.....	32
Tabla 6. Indicadores de desempeño para evaluar estrategias de manejo de camarón pomada.....	35
Tabla 7. Variables de desempeño de las reglas de control de capturas (RCC) para la pesquería industrial del camarón evaluados bajo distintos modelos operativos (MO).	47
Tabla 8. Resumen de los puntajes promedio para distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos. En color verde más oscuro se destacan el mejor desempeño relativo a su dimensión. (1) Dimensión conservación, (2) Dimensión pesquera.....	51
Tabla 9. Variables de desempeño de las reglas de control de capturas (RCC) para la pesquería artesanal del camarón evaluados bajo distintos modelos operativos (MO) en los últimos 2 años de proyección.	60
Tabla 10. Resumen de los puntajes promedio para distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos de la pesquería artesanal. En color verde más oscuro indica el mejor desempeño relativo a cada RCC.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Zona de pesca de camarón pomada flota industrial y artesanal.....	13
Figura 2.	Visión general conceptual del proceso de modelado de la Evaluación de Estrategias de Manejo (Fuente: Bunnefeld et al, 2011)	17
Figura 3.	Diagrama de Kobe y estado de situación 2024 del camarón pomada en la zona de operación industrial (Fuente: Jurado et al, 2025)	19
Figura 4.	Evolución de la biomasa desovante y mortalidad por pesca del camarón pomada en la zona de operación industrial (Fuente: Jurado et al, 2025)	20
Figura 5.	Diagrama de Kobe y resultado del modelo LBPA a la pesquería artesanal del camarón pomada (Fuente: Jurado et al, 2025)	21
Figura 6.	Estacionalidad trimestral de los reclutamientos y anomalías temporales de camarón en escala log. La línea roja separa dos períodos de productividad (baja a la izquierda y alta a la derecha). Las líneas segmentadas azules representan los cambios de escala de productividad.	22
Figura 7.	Estacionalidad trimestral de la mortalidad por pesca (δq) y los desembarques promedio de camarón.....	22
Figura 8.	Segmentos 8000 muestras de la cadena de Markov (MCMC) empleados para generar variabilidad del patrón de selectividad y coeficiente de capturabilidad en el modelo operativo del camarón.....	25
Figura 9.	Relación simulación-estimación entre la biomasa real (verdadera del MO) y la biomasa estimada (por la evaluación de stock). La ecuación representa al modelo de emulación de estimación del stock de camarón.	26
Figura 10.	Diez ensayos de simulación-estimación de biomasa de camarón. Biomasa real (verdadera), biomasa estimada (por evaluación de stock) y biomasa emulada aleatoriamente (“short-cut”)	27
Figura 11.	Ilustración de la estrategia de manejo y modelo operativo para su implementación en el camarón pomada	29
Figura 12.	Ejemplo de una simulación de una regla de control de captura de camarón. La línea roja separa la estimación histórica (evaluación de stock) y la simulación futura. Los puntos rojos en torno a la línea de biomasa representan las estimaciones del modelo de evaluación.	30
Figura 13.	Representación de las reglas de control de capturas (RCC) basadas en esfuerzo de pesca empleadas para evaluar las estrategias de explotación de camarón.	32
Figura 14.	Distribución de las respuestas a la pregunta ¿Que aspectos es lo mas importante en la pesca del camarón?.....	34
Figura 15.	Distribución de las respuestas a la pregunta ¿Qué tipo de acciones de manejo se deberían implementar?	35
Figura 16.	Simulación de la biomasa reproductiva de la pesquería industrial de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea roja horizontal es el límite y la línea verde el objetivo.....	39
Figura 17.	Simulación de la mortalidad por pesca de la pesquería industrial de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea verde representa el objetivo.	40
Figura 18.	Simulación de los desembarques de la pesquería industrial de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea verde representa el objetivo.	41

Figura 19. Probabilidad de agotamiento, sobreexplotación y sustentabilidad del camarón capturado por la pesquería industrial para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC).	42
Figura 20. Diagrama de Kobe de la pesquería industrial del camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). Los puntos grises representan las simulaciones y la cruz azul el valor esperado.	43
Figura 21. Boxplot del desempeño promedio de largo plazo de B/Brms, F/Frms y C/RMS obtenidas de la aplicación de distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos para la pesquería industrial de camarón.	48
Figura 22. Diagrama de red de las principales variables de desempeño obtenidas de la aplicación de distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos (MO) para la pesquería industrial de camarón.....	49
Figura 23. Diagrama de red de los máximos puntajes obtenidos por regla de control de capturas (RCC) para las principales variables de desempeño y modelos operativos (MO), para la pesquería industrial de camarón	50
Figura 24. Puntaje promedio obtenido por indicador en la pesquería industrial de camarón	51
Figura 25. Simulación de la tasa relativa de la biomasa reproductiva de la pesquería artesanal de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona gris representa los intervalos de confianza del 50% y las líneas segmentadas representan los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea roja horizontal es el límite y la línea verde el objetivo	53
Figura 26. Simulación de la tasa relativa de la mortalidad por pesca de la pesquería artesanal de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea verde representa el objetivo.....	54
Figura 27. Simulación de la tasa relativa de la captura de la pesquería artesanal de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea verde representa el objetivo.	55
Figura 28. Probabilidad de agotamiento, sobreexplotación y sustentabilidad del camarón capturado por la pesquería artesanal para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC).	58
Figura 29. Diagrama de Kobe para la pesquería artesanal del camarón para distintos Modelos Operativos (MO) y Reglas de Control de Capturas (RCC). Las bandas sombreadas representan los intervalos de confianza al 50%, 80% y 95% de las simulaciones.....	59
Figura 30. Diagrama de red de las principales variables de desempeño obtenidas de la aplicación de distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos (MO) para la pesquería artesanal de camarón.....	61
Figura 31. Diagrama de red de los máximos puntajes obtenidos por regla de control de capturas (RCC) para las principales variables de desempeño y modelos operativos (MO), para la pesquería artesanal de camarón.....	62
Figura 32. Puntaje promedio obtenido por indicador en la pesquería artesanal de camarón.....	63
Figura 33. Boxplot del desempeño promedio de largo plazo de B/Brms y F/Frms obtenidas de la aplicación de distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos para la pesquería artesanal de camarón.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Parámetros biológicos del Camarón Pomada (Jurado y Canales, 2025).....	73
Anexo 2. Resultado de encuesta realizada en Talleres con usuarios de la pesquería de Camarón Pomada.....	74
Anexo 3. Resultado de encuesta realizada en la elección de la Regla de Control de Capturas.....	78
Anexo 4. Scripts del modelo operativo principal	79
Anexo 5. Script de “funciones.r” que contiene procesos varios.....	83
Anexo 6. Script de la función por_recluta_r para el cálculo de PBR.....	85
Anexo 7. Scripts del modelo operativo principal pesquería artesanal	87

1. INTRODUCCIÓN

La pesquería del camarón pomada (*Protrachypene precipua*) constituye una de las actividades de mayor relevancia para las comunidades costeras y estuarinas del Ecuador, particularmente en el Golfo de Guayaquil, donde se concentran sus principales zonas de captura. Este recurso, distribuido en el Pacífico oriental desde Nicaragua hasta Perú, habita fondos blandos de la plataforma continental y zonas interiores del estuario, desarrollando un ciclo de vida relativamente corto cercano a dos años que lo hace altamente susceptible a variaciones en la presión pesquera y en las condiciones ambientales.

En Ecuador, la explotación del camarón pomada es realizada por dos segmentos de flota: la flota industrial de arrastre de fondo, que opera en áreas marinas adyacentes al Golfo, y la flota artesanal de “bolso”, que se desarrolla en el interior del estuario. Históricamente, las capturas han mostrado fluctuaciones significativas y, en algunos periodos, señales de disminución en la biomasa explotable, lo que motivó la implementación en 2014 del Plan de Acción Nacional para la Conservación y Manejo del Recurso Camarón Pomada (PAN Pomada). Este plan incorpora medidas como vedas estacionales, zonificación de áreas de pesca, límites de captura diaria, uso de dispositivos excluidores de tortugas (TEDs) y esquemas de monitoreo participativo, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad del recurso y la viabilidad socioeconómica de la pesquería.

A pesar de estos esfuerzos, persisten desafíos asociados a la incertidumbre en la información biológica y pesquera, la variabilidad ambiental, la captura incidental y la presión de pesca en áreas críticas del ciclo de vida. En este contexto, la Evaluación de Estrategias de Manejo (Management Strategy Evaluation, MSE) surge como una herramienta robusta para analizar, de manera integrada y bajo condiciones de incertidumbre, la efectividad de diferentes opciones de manejo para cumplir objetivos biológicos, económicos y sociales.

El presente estudio tiene como propósito aplicar el enfoque MSE a la pesquería del camarón pomada en Ecuador, evaluando un conjunto de estrategias de manejo alternativas que permitan equilibrar la explotación sustentable del recurso con la estabilidad socioeconómica de las comunidades pesqueras. Para ello, se considerarán escenarios realistas de dinámica poblacional,



esfuerzo pesquero y variabilidad ambiental, con el fin de generar recomendaciones técnicas que fortalezcan la toma de decisiones y promuevan un manejo adaptativo a largo plazo.

2. ANTECEDENTES

2.1. Pesquería

La pesquería de camarón pomada (*Protrachypene precipua*) en Ecuador constituye una actividad de gran importancia económica, social y cultural, especialmente para las comunidades asentadas en el Golfo de Guayaquil y zonas costeras adyacentes. Esta especie se distribuye en el Pacífico oriental, desde Nicaragua hasta Perú, encontrándose en Ecuador principalmente entre Esmeraldas y El Oro, con especial concentración en el Golfo de Guayaquil. Habita fondos blandos, predominantemente fangosos, a profundidades de hasta 40 metros. Su ciclo de vida es relativamente corto, cercano a los dos años, lo que implica una alta sensibilidad a cambios en la presión de pesca y en las condiciones ambientales.

La captura de camarón pomada se realiza a través de dos segmentos de flota. La flota industrial opera con embarcaciones de arrastre de fondo, principalmente en áreas marinas cercanas a la desembocadura del Golfo, mientras que la flota artesanal utiliza redes de “bolso” dentro del estuario, capturando individuos en zonas más someras. Las capturas históricas han mostrado fluctuaciones importantes: en el sector industrial, los desembarques promediaron cerca de 6.900 toneladas anuales en el periodo 2005–2008, descendiendo a alrededor de 4.940 toneladas en 2014–2018; en el sector artesanal, las capturas variaron entre más de 4.000 toneladas (2010–2011) y menos de 1.800 toneladas en 2013. Se estima que la pesquería industrial del camarón pomada genera ingresos anuales entre US\$4,5 y US\$5 millones y aproximadamente US\$1 millón en utilidades operativas para la flota. El 75% de la producción del sector industrial se destina a la exportación, principalmente a Estados Unidos y la Unión Europea (Miranda, 2011).

La flota industrial opera actualmente en los exteriores del Golfo de Guayaquil, y tiene como principal puerto de desembarque el puerto de Posorja (**Figura 1**). Esta es la única zona donde se llevan a cabo lances industriales de arrastre de camarón pomada en Ecuador. Lo anterior se debe, principalmente a las restricciones impuestas por la entidad que administra los recursos pesqueros, además de que sus artes de pesca solo pueden ser caladas en bajas profundidades, entre 3.7 a 7.3 metros de profundidad (Nicolaidis et al., 2011) y el Golfo de Guayaquil presenta aguas someras, más allá de la zona de 1 milla, que es lo señalado en los reglamentos pesqueros

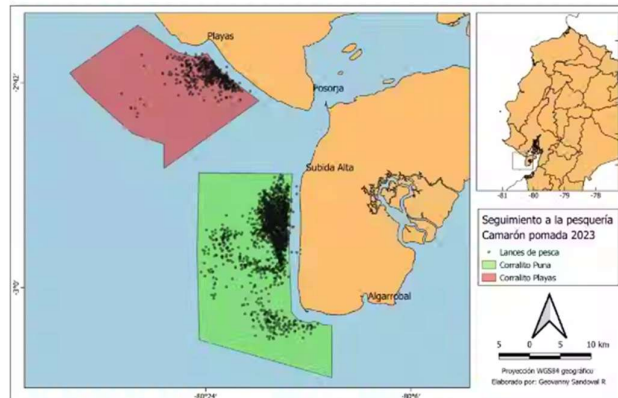
emitidos por la autoridad gubernamental, para proteger a ejemplares juveniles de esta y otras especies hidrobiológicas.

En cuanto a la pesca artesanal, la modalidad más relevante es la que emplea redes de bolso pasivas. Los pescadores están organizados en diferentes asociaciones y/o cooperativas agrupadas geográficamente por macrozonas, operando principalmente en los estuarios interiores del Golfo de Guayaquil (**Figura 1**). Según la Clasificación Internacional Uniforme de Artes de Pesca (ISSCFG, por sus siglas en inglés) de la FAO (Nedelec & Prado, 1999), este arte de pesca (denominado localmente "bolso") se clasifica en la categoría de trampas no especificadas (código ISSCFG 8.9.0, abreviado como FIX). Los pescadores instalan estas redes durante la bajamar en los agujeros de clara y oscura, dejándolas operativas durante la pleamar (Altamirano, 2016). Así, la corriente arrastra al camarón pomada (especie objetivo) junto con fauna acompañante, que quedan atrapados en el bolso de la red.

2.2. Aspectos normativos

La pesquería del camarón pomada (*Protrachypene precipua*) es una actividad pesquera tradicional e importante en el Pacífico ecuatoriano (Correa et al., 2006) y de enorme valor comercial (Agüero & Guamán, 2011). La importancia económica de esta pesquería y los efectos negativos de la explotación llevaron al gobierno de Ecuador, desde la década de 1980, a introducir medidas para el manejo de la captura de camarones mediante redes de arrastre. Desde entonces, se han aplicado diversas reglamentaciones, tales como zonas exclusivas para la pesca artesanal (Acuerdo Ministerial N° 2305/06-08-1984), zonas protegidas (Acuerdo Ministerial N° 134/24-07-2007), cumplimiento de características técnicas de las artes de pesca (Acuerdo Ministerial N° 019/09-03-2010), prohibición para la actividad pesquera de arrastre, excepto para camarón pomada (Acuerdo Ministerial N° 020/13-03-2012), para cuya pesquería, se establecieron medidas de ordenamiento, regulación y control (Acuerdo Ministerial N° 426-A/05-10-2012 y 019/06-02-2013), tales como la veda anual desde el 15 de febrero al 15 de abril, el establecimiento de “zonas permitidas para la actividad pesquera” de la flota industrial del camarón pomada, correspondiente a dos áreas del Golfo de Guayaquil más allá de 1 milla de la costa y el límite de captura diario de 5.000 lb por barco (VAP, 2017).

INDUSTRIAL



ARTESANAL

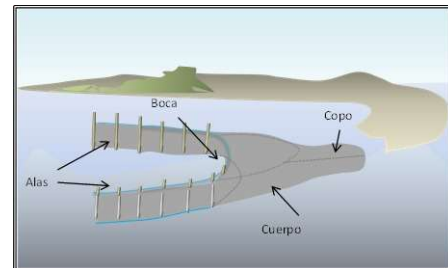
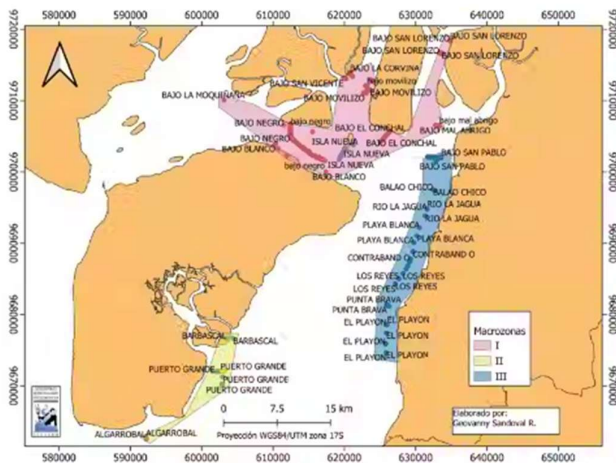


Figura 1. Zona de pesca de camarón pomada flota industrial y artesanal

En concordancia con las medidas mencionadas anteriormente, en 2014 se estableció el “Plan de Acción Nacional para la Conservación y el Manejo del recurso camarón pomada (*Protrachypene precipua*) en Ecuador”, cuyo propósito es “articular las medidas de manejo pesquero entre todos los sectores que aprovechan el recurso camarón pomada, mejorar el nivel de conocimiento científico, dar cumplimiento con las normas vigentes, y fomentar la participación de los usuarios del recurso en el manejo, investigación y control” (Acuerdo Ministerial N° 231/29-08-2014)

Mediante el Acuerdo Nro. MPCEIP-SRP-2020-0077-A del 8 de julio de 2020, se establecieron las primeras medidas de ordenamiento, seguimiento, control y vigilancia para la actividad pesquera dirigida a la captura del recurso camarón pomada realizada por los pescadores

artesanales que utilizan el arte de pesca “red de bolso”, en la actualidad rige el AM MPCEIP-SRP-2024-0033-A del 30 de enero de 2024.

2.3. Evaluación poblacional

Canales et al (2022) realizan la primera evaluación de stock de este recurso y determinan que la presión de pesca se concentra sobre una población juvenilizada y la escasa presencia de ejemplares sobre 10 cm de longitud total, hace suponer una reducción considerable del potencial reproductivo. Para el 2020 el valor promedio de la mortalidad por pesca trimestral podría haber superado en 3.6 veces la mortalidad de referencia (sobrepesca), en tanto la población desovante se encontraría sobreexplotada y en torno al 21% (promedio) de la biomasa virginal. Jurado et al (2025) concluyen que los reclutamientos de este recurso han variado estacionalmente sin mayores tendencias entre años, en tanto la mortalidad por pesca ha excedido permanentemente valores de referencia de manejo pesquero. La presión de pesca hoy en día se sigue concentrando sobre una población juvenilizada y la escasa presencia de ejemplares sobre 10 cm de longitud total hace suponer una reducción considerable del potencial reproductivo. Mas recientemente, Jurado et al (2025) indican que el valor promedio de la mortalidad por pesca trimestral podría haber superado en 1.77 veces la mortalidad de referencia (sobrepesca), en tanto la población desovante si bien se ha recuperado, ésta aún se mantiene en la zona de sobreexplotación próxima al 90% de la biomasa objetivo.

2.4. Estrategias y procedimientos de manejo

La *estrategia de manejo* puede definirse como el marco conceptual de planificación que establece los objetivos de conservación, aprovechamiento y sostenibilidad de una pesquería en el mediano y largo plazo. Este nivel estratégico incorpora consideraciones biológicas, sociales y económicas, orientadas a garantizar la persistencia del recurso y la viabilidad de la actividad pesquera. En este sentido, las estrategias responden principalmente a preguntas de carácter normativo y orientador —“qué se pretende lograr” y “por qué”— y se expresan en términos de metas amplias, tales como mantener la biomasa reproductiva por encima de niveles de referencia críticos, asegurar la estabilidad interanual de las capturas o favorecer la equidad en la distribución de beneficios.

En contraste, el *procedimiento de manejo* corresponde al instrumento operativo mediante el cual se implementa la estrategia. Este se define como un conjunto de reglas de decisión, algoritmos o métodos preestablecidos que utilizan información proveniente de monitoreos, evaluaciones de stock o indicadores de desempeño para ajustar anualmente las medidas de manejo. A diferencia de la estrategia, el procedimiento responde a interrogantes de carácter práctico —“cómo se aplicará” y “cuándo”—, traducándose en acciones específicas tales como la determinación de cuotas de captura, la regulación del esfuerzo pesquero o el establecimiento de vedas espaciales y temporales.

La relación entre ambos conceptos es complementaria. Mientras la estrategia de manejo constituye la expresión de la voluntad de política pública y el consenso en torno a los objetivos de largo plazo, el procedimiento de manejo materializa tales objetivos en un esquema transparente, reproducible y evaluable, que permite la toma de decisiones bajo un marco preacordado de incertidumbre. En ausencia de estrategias claras, los procedimientos pueden carecer de coherencia respecto de los fines superiores del manejo; por otro lado, sin procedimientos operativos adecuados, las estrategias permanecen en un plano meramente declarativo.

Evaluación de Estrategias de Manejo

La Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) constituye un marco metodológico robusto y ampliamente aceptado para el diseño y validación de medidas de gestión pesquera bajo

condiciones de incertidumbre (Butterworth & Punt, 1999). Su finalidad es identificar qué procedimientos de manejo, entendidos como reglas de decisión explícitas y preacordadas, permiten alcanzar de manera más efectiva los objetivos estratégicos de conservación, sostenibilidad económica y estabilidad social de una pesquería (Rademeyer et al., 2007). El enfoque se estructura en torno a la definición de un modelo que simula de forma realista la dinámica poblacional del recurso y la interacción con la actividad extractiva (Modelo Operativo) (**Figura 2**). Sobre esta base se contrastan diferentes procedimientos de manejo, aplicados de manera iterativa en un entorno simulado, lo cual permite evaluar su desempeño frente a un rango amplio de escenarios que incluyen variabilidad ambiental, incertidumbre en los datos, sesgos de estimación y cambios en la presión pesquera (Smith et al., 1999).

Una característica distintiva de la EEM es su capacidad de incorporar explícitamente la incertidumbre inherente al proceso de evaluación y gestión pesquera, generando resultados que se expresan en términos de indicadores de desempeño. Entre los más comunes se encuentran la probabilidad de mantener la biomasa reproductiva por encima de puntos de referencia biológicos (B_{MSY} o proxies), la reducción del riesgo de sobrepesca, la estabilidad interanual de las capturas, el rendimiento económico y la equidad social (Dichmont & Punt, 2013).

Adicionalmente, la EEM constituye un mecanismo transparente y participativo, pues facilita la comunicación entre investigadores, autoridades de manejo y representantes del sector pesquero. Esto contribuye no solo a fundamentar las decisiones en evidencia científica, sino también a incrementar la legitimidad y aceptación de las medidas adoptadas (Punt et al., 2016). En síntesis, la Evaluación de Estrategias de Manejo se ha consolidado como un estándar internacional en la gestión pesquera contemporánea. Al permitir el diseño de procedimientos robustos, adaptativos y precautorios, representa una herramienta esencial para avanzar hacia enfoques de manejo basados en el ecosistema y orientados a la sostenibilidad a largo plazo.

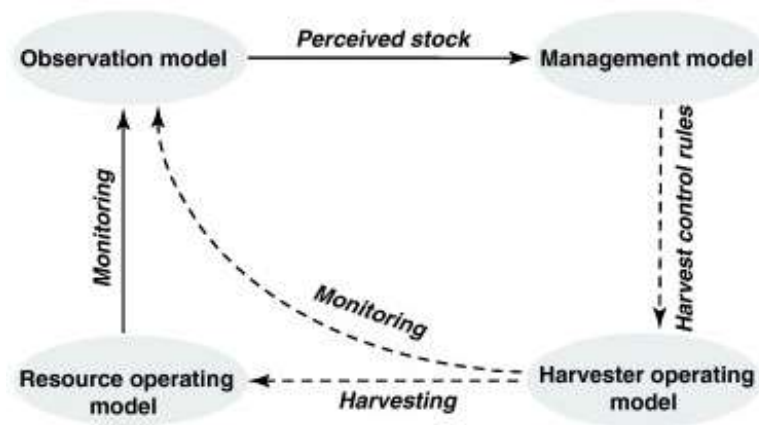


Figura 2. Visión general conceptual del proceso de modelado de la Evaluación de Estrategias de Manejo (Fuente: Bunnefeld et al, 2011)

En base a enfoque anterior, en este trabajo se evalúan diversos procedimientos de manejo pesquero alternativo diseñados a partir de sus características operativas de la pesquería del camarón pomada. Tanto las reglas de control de capturas como los indicadores de desempeño fueron generados a partir de ronda de consulta a los usuarios de la pesquería (flota industrial y artesanal de bolsos), científicos y administradores representantes del Viceministerio de Acuicultura y Pesca.

3. METODOLOGÍA

3.1. Talleres para definir objetivos operacionales

Con el fin de identificar las principales variables de desempeño y objetivos operacionales de la pesquería de camarón pomada, se realizaron tres talleres participativos de consulta a las partes interesadas. Estos talleres se ejecutaron en dependencias del IPIAP los días 21 y 22 de abril 2025 (<https://x.com/IpiapEcuador/status/1914448527616364741>), de manera independiente con pescadores industriales, artesanales y profesionales de la administración pesquero (Viceministerio de Acuicultura y Pesca del Ministerio de Producción del Ecuador). En todos los casos se aplicó una encuesta en línea en formato google.form, lo cual permitió identificar tanto los objetivos de cada parte como las fuentes de incertidumbre del sistema bajo análisis. El resultado de la encuesta se resume en Anexos y consideró entre otras, las siguientes preguntas:

- ¿Que significa una buena temporada de pesca? (indique valores relativos)
- ¿Que significa "mala pesca" por la cual decide no salir a pescar? (indique valores relativos)
- ¿Que aspecto es lo mas importante en la pesca del camarón?
- ¿Que cambios o mejoras desearía ver en la pesquería del camarón?
- ¿Pescaría menos a cambio de tener una pesquería mas estable y segura?

3.2. Modelos Operativos

Los modelos operativos (MO) representan escenarios de la naturaleza posibles y casos de incertidumbre. Los MO para el camarón pomada se acondicionaron a partir de los resultados de la evaluación de stock realizada por Jurado et al (2025) con datos de la pesquería actualizados al 2024. Se destaca que en el caso de la zona de operación industrial (corrales), el valor promedio de la mortalidad por pesca trimestral podría haber superado en 1.77 veces la mortalidad de referencia (**Figura 3 y 4**), mientras la población desovante se ubica en torno al 90% (promedio) de la biomasa de referencia (Brms). De acuerdo con lo anterior, el diagrama de Kobe indica que la población se encontraría con evidencias de ligera sobreexplotación y

sobrepesca. De manera similar, la pesquería artesanal (bolsos) indica que la biomasa se ubica a un 87% de la biomasa objetivo y la mortalidad por pesca excede en un 75% la mortalidad por pesca de referencia (Figura 5).

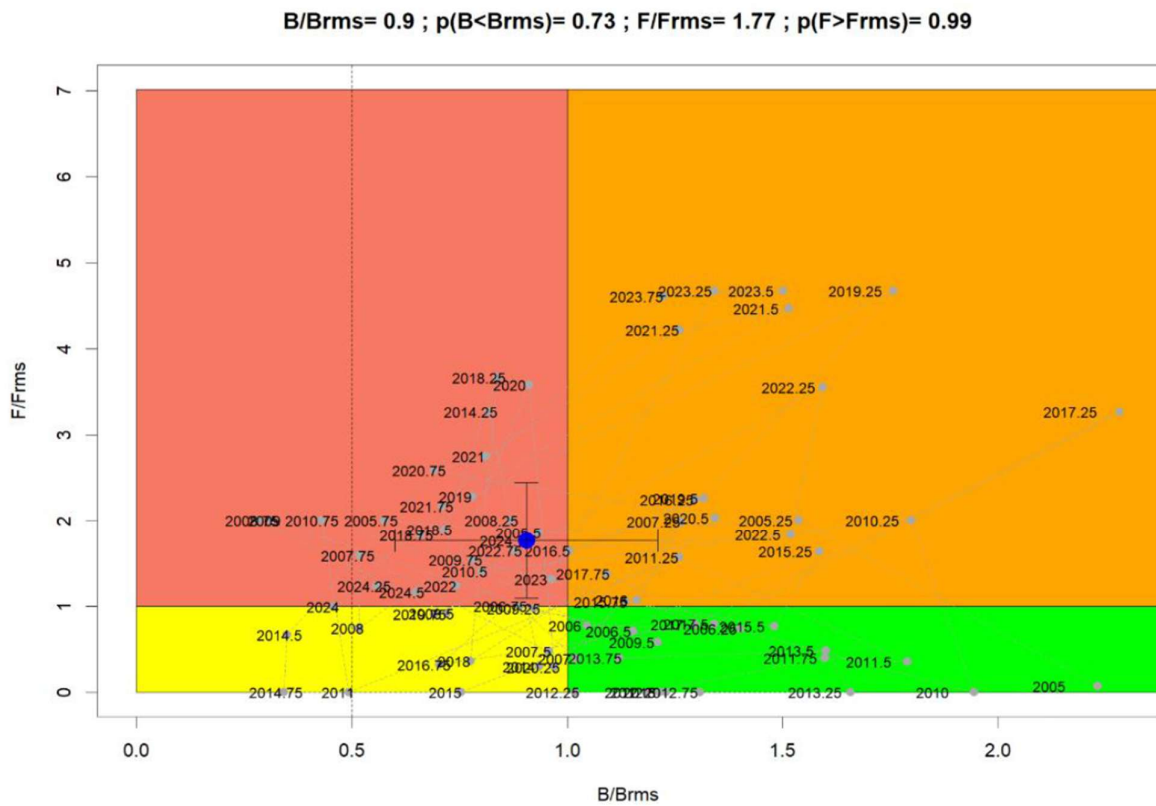


Figura 3. Diagrama de Kobe y estado de situación 2024 del camarón pomada en la zona de operación industrial (Fuente: Jurado et al, 2025)

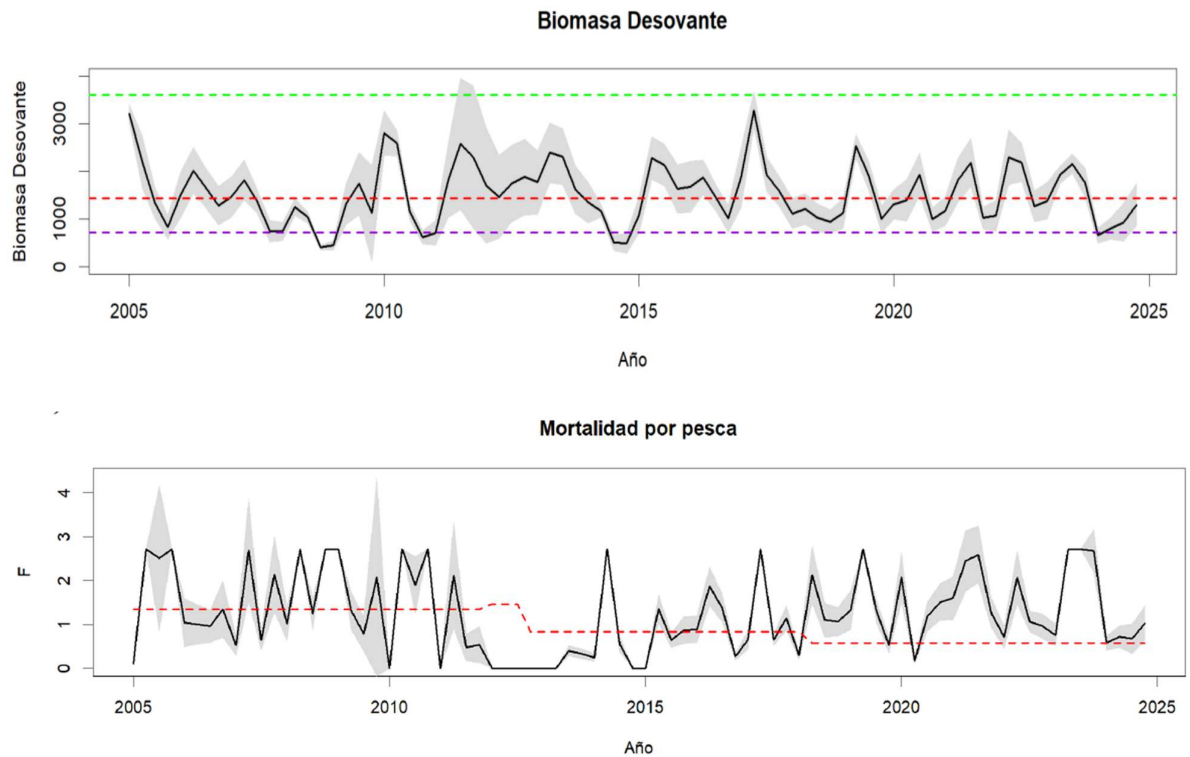


Figura 4. Evolución de la biomasa desovante y mortalidad por pesca del camarón pomada en la zona de operación industrial (Fuente: Jurado et al, 2025)

Los modelos operativos consideraron cambios en la escala de la productividad conforme lo observado en la historia de los reclutamientos (**Figura 6**), lo cual se traduce es que, hasta antes del 2015, predominaron anomalías negativas un 35% menor al promedio histórico, mientras y luego del 2015, estas han sido un 52% superiores. Del mismo modo, se consideraron escenarios de denso-independencia en la relación S/R ($h=1.0$) y otro con mayor dependencia del reclutamiento con el stock progenitor inmediatamente anterior ($h=0.6$). Para todos los efectos, la generación de los reclutamientos futuros consideró el valor esperado por un modelo S/R como efecto aleatorio y otro fijo relacionado con la estacionalidad trimestral antes destacada (**Figura 6**). Del mismo modo y considerando la estacionalidad de los desembarques reflejados en la mortalidad por pesca, igual criterio fue considerado en el modelo operativo a fin de distribuir la mortalidad por pesca “recomendada” entre los trimestres del año inmediatamente siguiente (**Figura 7**)

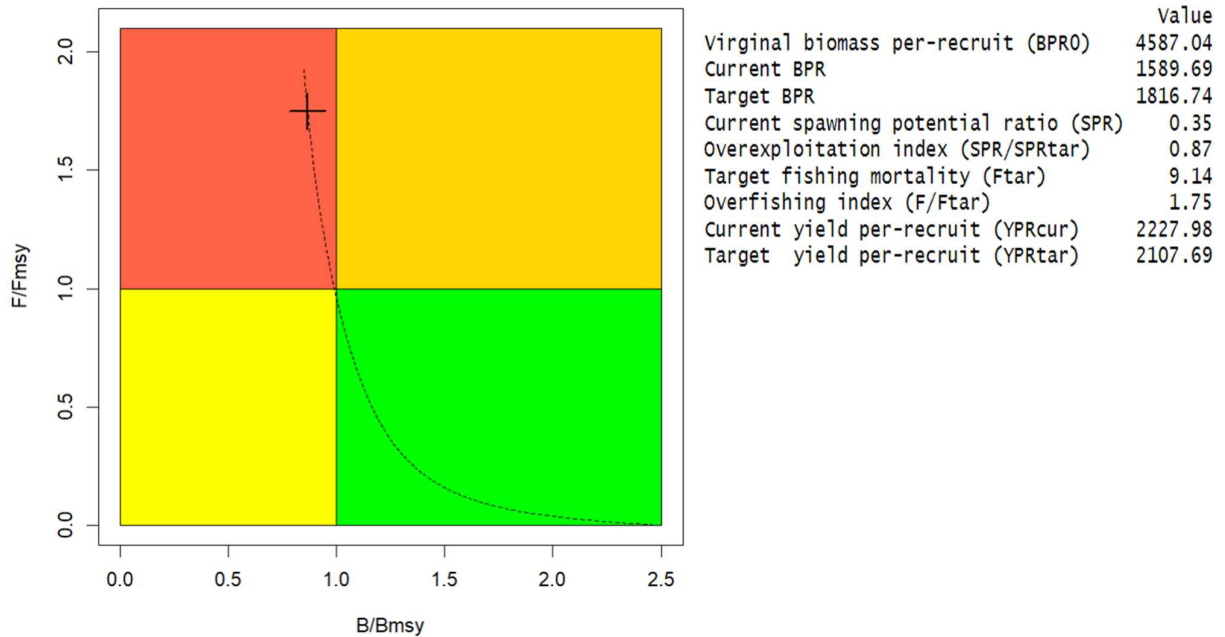


Figura 5. Diagrama de Kobe y resultado del modelo LBPA a la pesquería artesanal del camarón pomada (Fuente: Jurado et al, 2025)

Se implementaron tres modelos operativos; El primero de estos se basa en los supuestos y condiciones bajo las cuales se realiza la evaluación de stock. El segundo consideró un régimen de baja productividad modelada en base al 65% del reclutamiento de largo plazo y acentuada con un valor de steepness $h=0.6$. Un tercer MO consideró alta productividad un 52% mayor al promedio histórico con mayor resiliencia $h=1.0$. El detalle de sus configuraciones se entrega en **Tabla 1**.

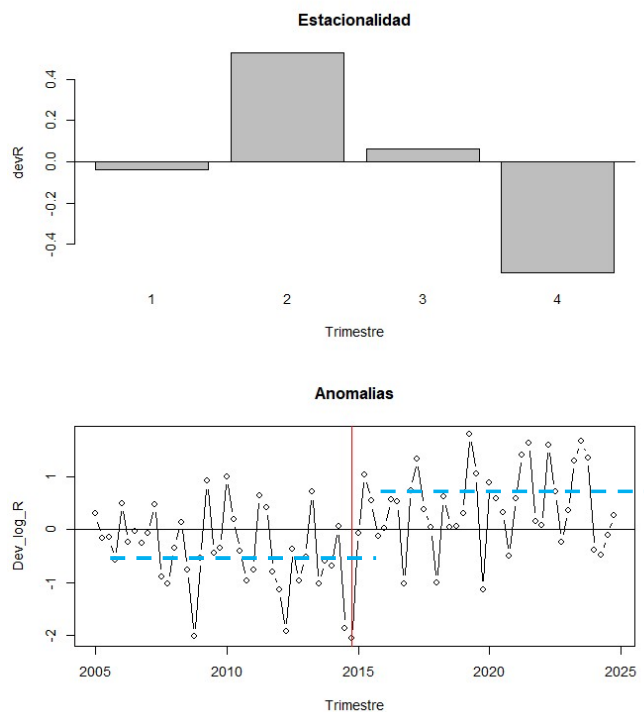


Figura 6. Estacionalidad trimestral de los reclutamientos y anomalías temporales de camarón en escala log. La línea roja separa dos períodos de productividad (baja a la izquierda y alta a la derecha). Las líneas segmentadas azules representan los cambios de escala de productividad.

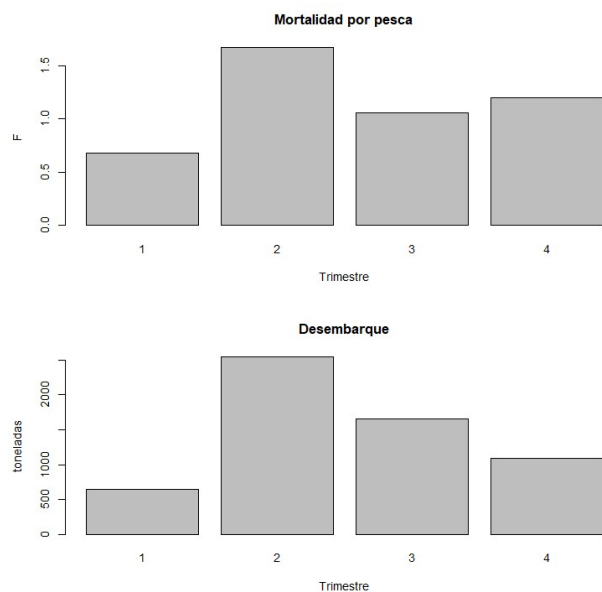


Figura 7. Estacionalidad trimestral de la mortalidad por pesca (δ_q) y los desembarques promedio de camarón.

Tabla 1. Configuración de los modelos operativos empleados para evaluar las estrategias de explotación de camarón.

Modelo operativo	Configuración
MO1	Corresponde al modelo base configurado en base a la dinámica modelada en el modelo de estimación. Se considera como supuesto un nivel de densodependencia $h=1.0$ y reclutamientos promedios históricos ($\varphi=1.0$)
MO2	Similar a M01 pero con una reducción del 35% en la escala de los reclutamientos ($\varphi=0.65$) y menor nivel de resiliencia $h=0.7$ considerando el modelo S/R de Beverton y Holt
MO3	Similar a M01 pero con el incremento del 52% en la escala de los reclutamientos ($\varphi=1.52$) y alto nivel de resiliencia $h=1.0$

Los MO fueron implementados en lenguaje R-project. La evaluación de cada estrategia consideró 200 simulaciones de la proyección a 20 trimestres en el futuro (5 años). Los detalles del modelo operativo en términos generales es el siguiente:

El número de individuos a la talla (\tilde{N}_y) por año es modelado como:

$$\tilde{N}_{a,q} = \begin{cases} \tilde{N}_{a-1,q-1} e^{-\tilde{F}_{a-1,q-1,t}-\tilde{M}} & a > a_r \\ \tilde{R}_q & a = a_r \end{cases}$$

Donde $\tilde{F}_{a,q}$ es la mortalidad por pesca efectiva a la edad a en el trimestre q , M es la mortalidad natural y R_q el reclutamiento trimestral. Al respecto, este último se modela del tipo Beverton-Holt, el cual es función del steepness (h), del reclutamiento virginal R_0 y de la biomasa reproductiva virginal B_0 :

$$\tilde{R}_q = \frac{4\varphi R_0 \tilde{B}_{q-a_r}}{\tilde{B}_{q-a_r}(5h-1) + B_0(1-h)} e^{\varepsilon_q + \delta - 0.5\sigma_R^2}$$

$$\delta \sim N(0, 0.87)$$

donde φ factor de escala del reclutamiento de largo plazo (escalas de productividad) y ε_q es el efecto fijo estacional antes destacado. El valor $\sigma_R = 0.87$ fue obtenido como desviación de las anomalías trimestrales del reclutamiento en escala log. Los estimadores de las variables

poblacionales son las mismas a las empleadas por Jurado et al (2025). La mortalidad por pesca a la talla es modelada considerando el producto entre la selectividad talla-específica tipo logística S_l y la mortalidad por pesca completamente reclutada trimestral \tilde{F}_q :

$$S_a = \left(1 + e^{-l_0} (19)^{\left[\frac{a-a50}{d} \right]} \right)^{-1}$$

$$\tilde{F}_{a,q} = \tilde{F}_q S_a$$

El valor de \tilde{F}_q efectivo es el calculado luego de aplicar una determinada RCC, calcular la mortalidad por pesca trimestral promedio F_{RCC} , distribuirlo por trimestre (δ_q) y agregar sobre estos el error de implementación e^ω , de manera que la mortalidad por pesca y esfuerzo de pesca trimestral efectivo \tilde{E}_q será:

$$\tilde{F}_q = \delta_q F_{RCC} e^\omega$$

$$\tilde{E}_q = \frac{1}{\omega} \tilde{F}_q$$

Donde ω es el coeficiente de capturabilidad de la CPUE tomado desde la evaluación de stock (flota industrial), mientras el patrón de selectividad fue generado con incertidumbre en sus parámetros a partir de una muestra MCMC tomada del modelo de estimación original (**Figura 8**). Los parámetros biológicos del recurso fueron tomados de Jurado y Canales (2025) y se reportan en Anexos.

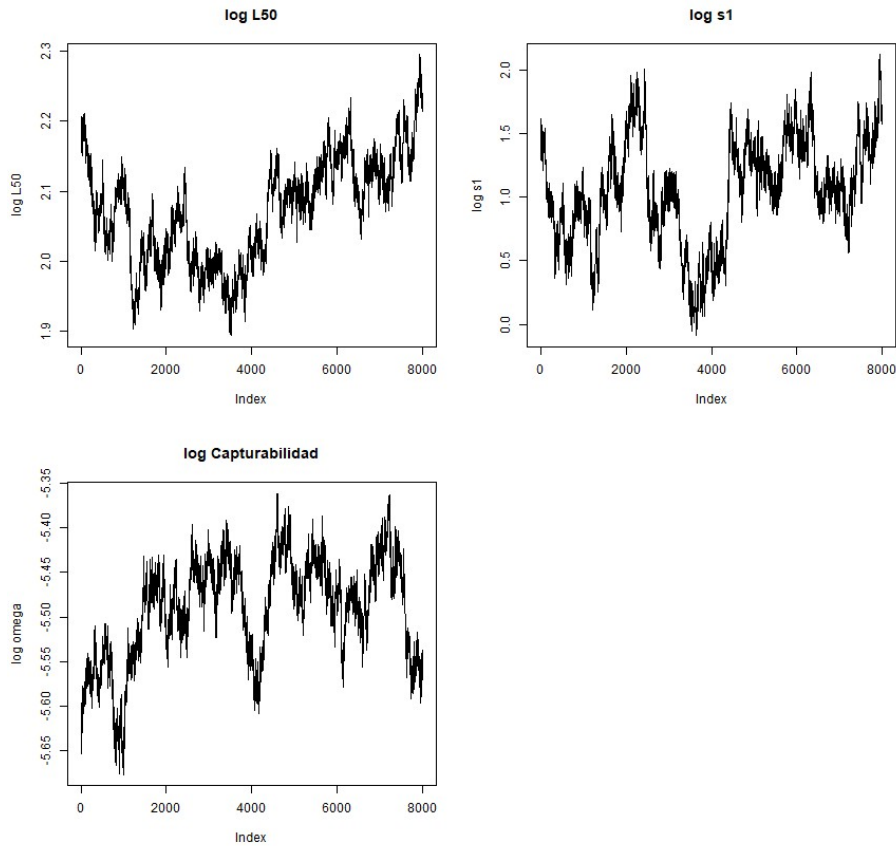


Figura 8. Segmentos 8000 muestras de la cadena de Markov (MCMC) empleados para generar variabilidad del patrón de selectividad y coeficiente de capturabilidad en el modelo operativo del camarón.

3.3. Modelo de estimación/emulación de la evaluación de stock

Con el fin de generar un estimador al modelo de evaluación de stock y de esta forma ganar celeridad en los procesos de evaluación de estrategias para la pesquería industrial, se realizaron 10 ensayos de simulación-estimación proyectadas en el horizonte de tiempo (tiempo 1,5 horas). Esto permitió evaluar la relación entre biomasa “verdadera” y la biomasa estimada por el modelo MESTOCK (Jurado et al, 2025). Los resultados basados en 200 valores muestran una relación potencial significativa en el coeficiente de poder ($p\text{-value} < 1e-5$ y $r^2 = 0.90$) (**Figura 9** y **Tabla 2**), lo cual se traduce en que la evaluación de stock es predecible por medio de un modelo de regresión simple (emulación).

Un ejercicio de validación considerando el modelo de emulación sin sesgo y error aleatorio multiplicativo representado por el error residual estándar 0.2018 y distribución normal, muestra una adecuada reproducibilidad de la biomasa estimada y de la biomasa verdadera (**Figura 10**).

De esta forma, la evaluación de stock regular fue reemplazada por una estimación rápida y coherente a la dinámica de sobrevivientes.

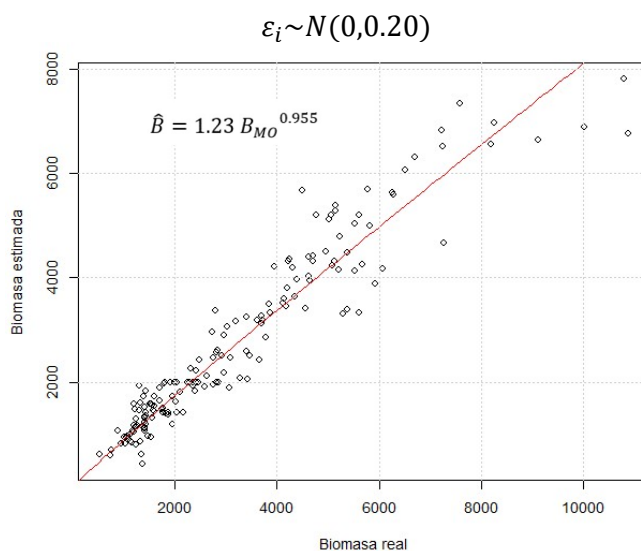


Figura 9. Relación simulación-estimación entre la biomasa real (verdadera del MO) y la biomasa estimada (por la evaluación de stock). La ecuación representa al modelo de emulación de estimación del stock de camarón.

Tabla 2. Modelo de emulación de la estimación de camarón

```
Call:
lm(formula = log(y) ~ log(x))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.0442 -0.1102  0.0176  0.1252  0.5018

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.20479    0.19408   1.055   0.293
log(x)       0.95505    0.02458  38.857 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2018 on 163 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9026,    Adjusted R-squared:  0.902
F-statistic: 1510 on 1 and 163 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

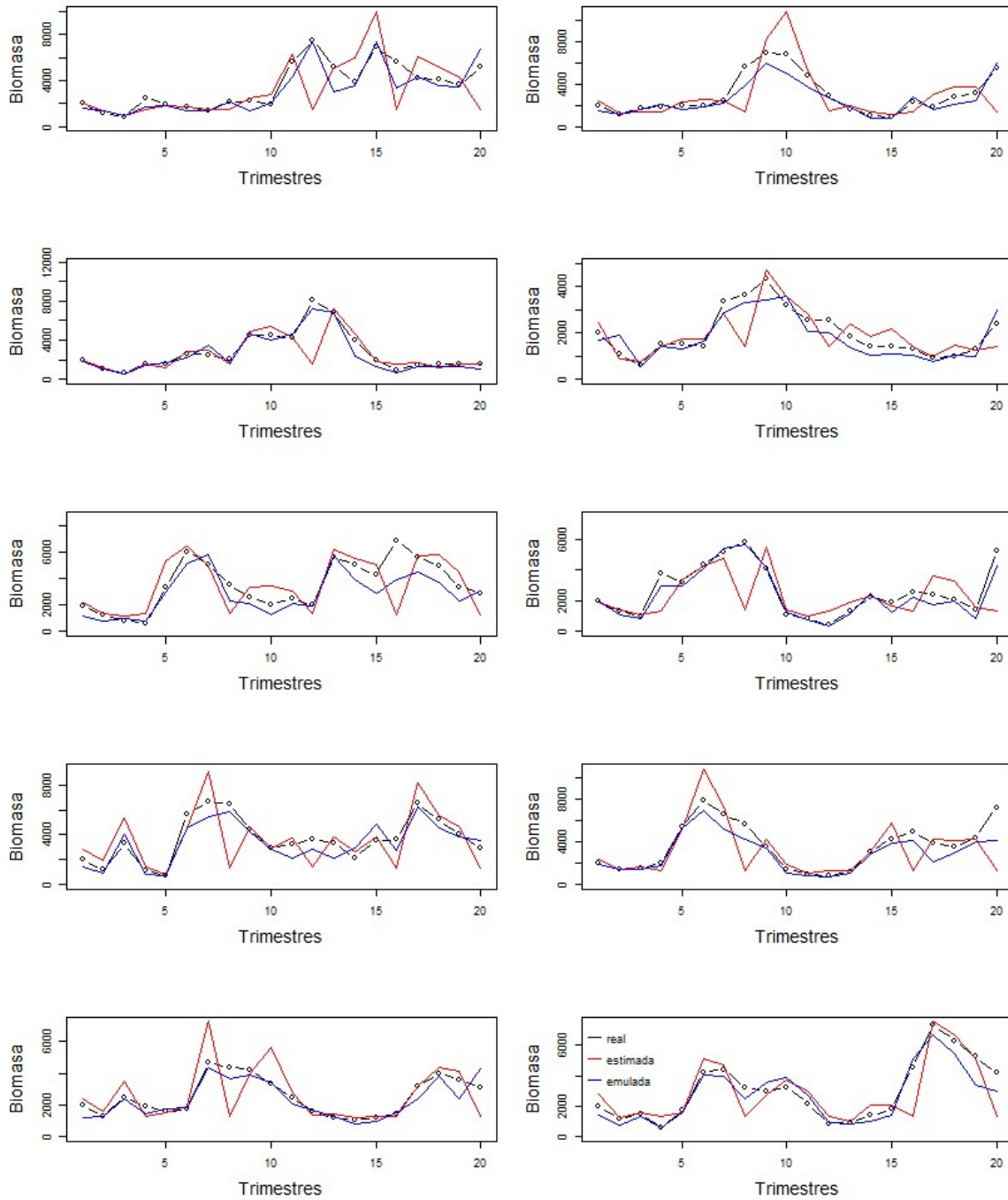


Figura 10. Diez ensayos de simulación-estimación de biomasa de camarón. Biomasa real (verdadera), biomasa estimada (por evaluación de stock) y biomasa emulada aleatoriamente (“short-cut”)

Un detalle de las fuentes de variabilidad corresponde a variables aleatorias definidas en **Tabla 3.**

Tabla 3. Fuentes de variabilidad consideradas en los modelos operativos de Camarón

Variable	Distribución de probabilidad
Error de proceso del reclutamiento (ε)	$\varepsilon \sim N(0, 0.87^2)$
Error de estimación	$\tau \sim N(0, 0.21^2)$
Error de implementación	$\omega \sim N(0, 0.3^2)$

3.4. Esquema de simulación

Para ambas pesquerías, la dinámica de la población se proyecta a 20 trimestres, lo cual corresponde a más de dos veces la longevidad estimada, y cada cuatro trimestre (un año) se reproduce/emula la evaluación de stock por medio del modelo formulado para el efecto. En el caso de la pesquería industrial la evaluación se emuló anualmente siguiendo la técnica shortcut MSE (ICES 2020), mientras que para la pesca artesanal se consideró como estimador el modelo LBPA (Canales et al, 2021) en base a las composiciones de tallas de las capturas de los últimos 4 trimestres. La técnica shortcut omite el paso de la actualización anual del modelo de estimación (evaluación) en el control de retroalimentación. En su lugar, pasa la dinámica "verdadera" estructurada por edad del MO (o con algún error asumido) a la implementación del procedimiento de manejo. Las ventajas de un enfoque de MSE short cut incluyen: (1) la implementación sencilla en programación en R, (2) tiempo de cálculo reducido, (3) los requisitos de datos se limitan a los resultados de evaluación disponibles (condiciones iniciales) sin la necesidad de obtener datos auxiliares para reacondicionar los modelos de evaluación, y (4) la incorporación del efecto de retardo entre los datos, la evaluación y la implementación de la gestión. Por el contrario, las limitaciones del shortcut MSE radican en que no se pueden considerar el efecto de las incertidumbres de datos (e.j. muestreo imperfecto de las composiciones de tallas y errores de observación de los índices) y parámetros (suposiciones erróneas sobre la biología y la selectividad), en el modelo de evaluación de stock. Por lo tanto, las pruebas de robustez que son analizadas en este trabajo se limitan a la incertidumbre estructural sobre los niveles de productividad y del nivel de relación SR.

Para la pesquería artesanal ("bolsos") se aplicó el modelo de evaluación LBPA el cual se ajusta mejor al sistema con información de datos limitados y permite analizar la mortalidad por pesca y el estado de explotación acorde a la realidad de la pesquería. En esencia se supone que el modelo de evaluación representa una estimación imperfecta de la biomasa real (simulada en el

MO) sujeta a un error de estimación derivada del ajuste del modelo ya señalado (**Tabla 3**). De esta forma y cada cuatro trimestres se realiza/imita la “evaluación de stock” y dependiendo del valor de la biomasa respecto de su valor de referencia, se ajusta el esfuerzo de pesca mediante una regla de control en términos del número de días de operación, sujeto a un error de implementación que más tarde repercute en los desembarques reales generando una mortalidad por pesca probablemente mayor a la establecida por la regla de control. Esta mortalidad por pesca afectará la población de camarón. El detalle de este ciclo se presenta en **Figura 11**.

Las pruebas de simulación ilustran como en el futuro sería el desempeño de una regla de control de captura (RCC) cualquiera, destacándose, por ejemplo, que las decisiones son tomadas bajo condiciones de incertidumbre, sesgo y error. El reclutamiento varía en la escala histórica siguiendo el patrón estacional observado mientras la biomasa fluctúa en compensación al nivel de mortalidad por pesca, el error de implementación del esfuerzo y los desembarques, y las fluctuaciones del reclutamiento (**Figura 12**). El análisis es repetido 200 veces y con ello se genera una banda de incertidumbre de las estimaciones y de las posibles trayectorias de la población. En este contexto se evalúan valores de probabilidad medidos como la proporción de veces en que cierta variable de interés cae por fuera o dentro de algún límite o punto de referencia. Para todos los efectos los puntos biológicos de referencia fueron supuestos invariantes y corresponden a los estimados en la evaluación de stock reportado por Jurado et al (2025).

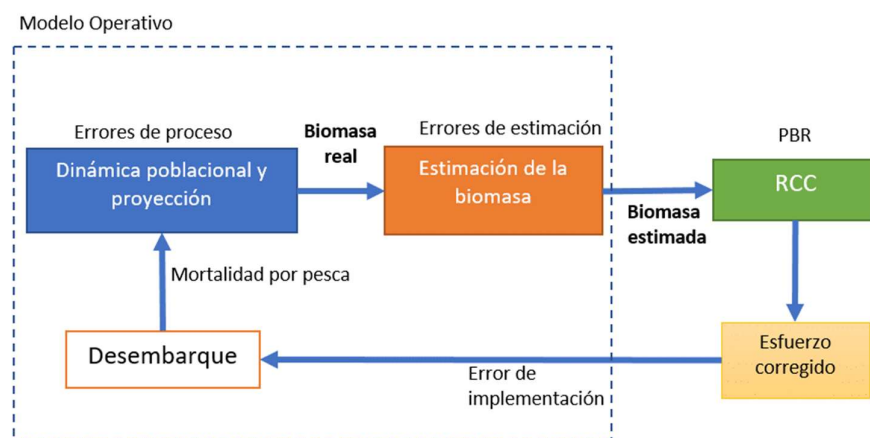


Figura 11. Ilustración de la estrategia de manejo y modelo operativo para su implementación en el camarón pomada

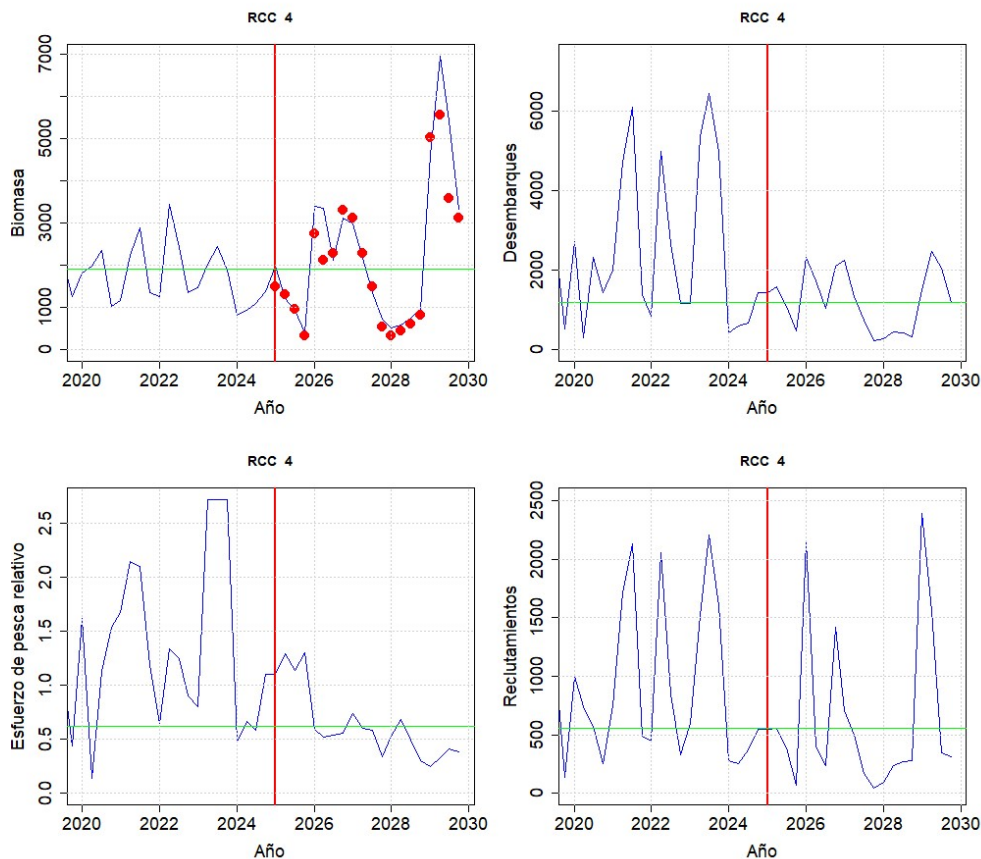


Figura 12. Ejemplo de una simulación de una regla de control de captura de camarón. La línea roja separa la estimación histórica (evaluación de stock) y la simulación futura. Los puntos rojos en torno a la línea de biomasa representan las estimaciones del modelo de evaluación.

3.5. Reglas de control de capturas

Como parte de los procedimientos de manejo, se evaluó el desempeño de cuatro reglas de control de capturas (RCC) basadas en ajuste del esfuerzo de pesca respecto de los tres modelos operativos (MO). El detalle de las RCC se entrega en **Tabla 4** y **Figura 13**.

Para todos los efectos y en base al resultado de evaluación de stock reportado por Jurado et al (2025), los Puntos Biológicos de Referencia empleados en las réplicas de simulaciones de manejo pesqueros fueron considerados conocidos y constantes. Los PBR de camarón relacionado con el Rendimiento de Máximo Sostenible fueron homologados a la referencia del 40% de la biomasa reproductiva virginal (**Tabla 5**). Para la pesquería artesanal y considerando el modelo de estimación (LBPA), todas las variables se consideraron en términos relativos.

Tabla 4. Configuración de las reglas de control de capturas empleadas para evaluar las estrategias de explotación de camarón.

Regla de control de captura	Configuración
RCC1	Regla de control tipo rampa. El esfuerzo de pesca de referencia se mantiene en $1/\omega F_{rms}$ si la biomasa es mayor a B_{rms} , disminuye en la proporción B/B_{rms} cuando la biomasa es menor a la biomasa objetivo B_{rms}
RCC2	Regla de control tipo lineal. El esfuerzo de pesca de referencia aumenta o disminuye en la proporción B/B_{rms} .
RCC3	Regla de control el esfuerzo de pesca de referencia $1/\omega F_{rms}$ constante
RCC4	Regla de control de esfuerzo de pesca de referencia potencial decreciente, en la cual el esfuerzo de pesca de referencia $1/\omega F_{rms }$ aumenta o disminuye a tasas decrecientes conforme a la razón $(B/B_{rms})^{0.5}$

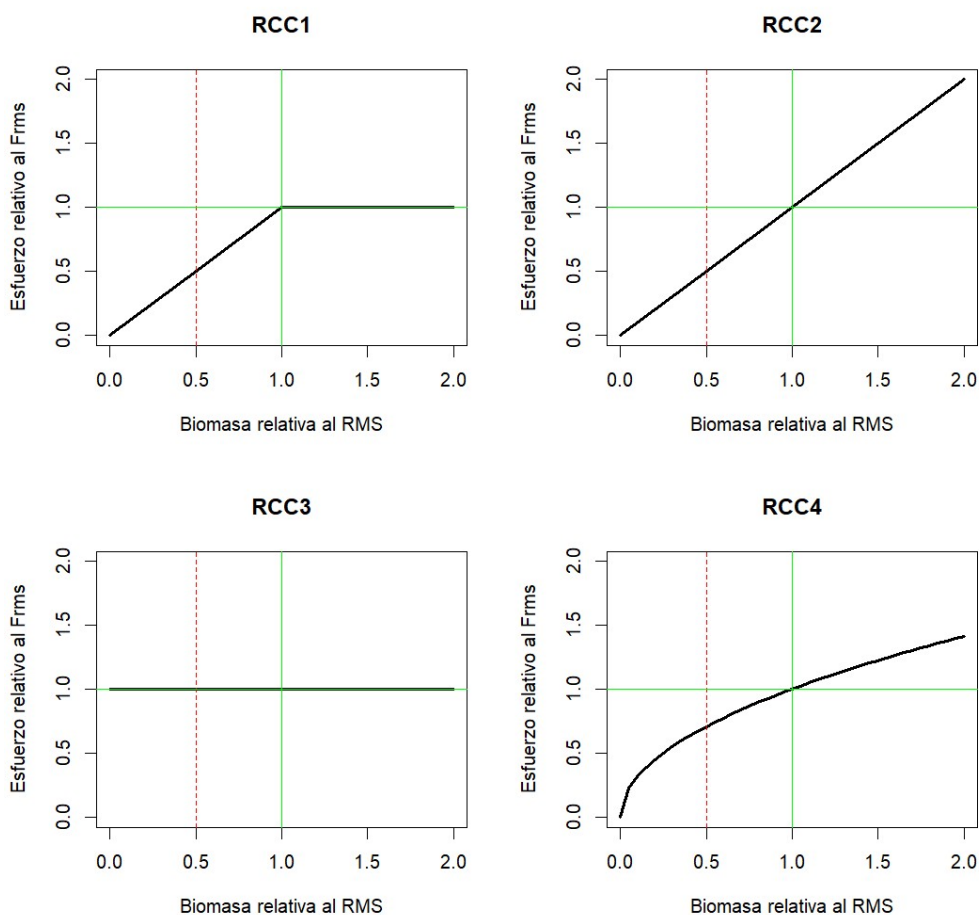


Figura 13. Representación de las reglas de control de capturas (RCC) basadas en esfuerzo de pesca empleadas para evaluar las estrategias de explotación de camarón.

Tabla 5. Puntos Biológicos de Referencia (PBR) para la flota pesquera industrial empleados para la evaluación de estrategias de manejo de camarón.

Referencia	Valor
Biomasa reproductiva de referencia $B_{RMS}=40\%B_0$	1.9 mil t
Mortalidad por pesca de referencia $F_{RMS}=F_{40\%}$	0.62 trim ⁻¹
Captura de referencia trimestral (en el Rendimiento Máximo Sostenible RMS)	1.2 mil t

4. RESULTADOS

4.1. Resultado taller de consulta a usuarios e indicadores de desempeño

Como resultado a la ronda de consulta a pescadores y administradores, para el sector industrial, un buen día de pesca se caracteriza por capturas altas y constantes, con volúmenes que van desde 5.000 hasta 10.000 libras diarias por embarcación, esto equivalente a 100 - 200 gavetas por salida de pesca. Además, se valora que el precio del producto sea bueno, que las tallas y densidades se mantengan constantes durante la temporada, y que exista una combinación de buena producción, precios favorables y manejo sustentable. El año 20204 fue un año anómalo en el cual se registró un promedio de 900 lbs/día por buque (Chicaiza com. Pers.). Los bajos rendimientos de pesca se asocian a capturas reducidas, generalmente inferiores a 15 gavetas por embarcación, con casos extremos de solo 8-10 o incluso 2-4 gavetas por faena. También se mencionan rendimientos de apenas 250 libras, insuficientes para cubrir los gastos. Otros factores son la irregularidad en los días de pesca, la presencia de producto pequeño, falta de control pesquero y vedas debido tamaño promedio por debajo de lo deseado.

Las variables más importantes en la pesca de camarón incluyen el control de la pesca ilegal y el cumplimiento de las vedas. También se destacan la necesidad de ampliar las zonas de pesca, el monitoreo de la actividad por parte de la autoridad y asegurar que el tamaño del camarón capturado sea superior a 6.9 cm (**Figura 14**). Los cambios y mejoras esperadas en la pesca del camarón incluyen un mayor control de la pesca ilegal, especialmente en la pesca de changa, y una fiscalización más estricta a exportadores que no cumplen con las regulaciones. También se espera la actualización o definición de áreas de pesca, el aumento del tiempo de veda, la ampliación de los corralitos, la realización de estudios técnicos que respalden las vedas y mejorar el alcance de las embarcaciones para acceder a zonas de pesca más alejadas.

El 100% de los entrevistados indicó que se pescaría menos a cambio de tener una pesquería más estable y segura, y el 67% cambiaría su estrategia en caso de disminución del recurso (**Figura 15**). Cuando cae la abundancia, las acciones comunes incluyen detener la pesca o reducir la actividad pesquera, buscar alternativas de producción, y no aceptar pedidos al exterior. También se destaca la necesidad de reforzar los controles e investigación para prevenir la disminución, y se observa que en algunas temporadas como el verano, aunque baja la producción, los precios suben, lo que permite mantenerse en la actividad. Las acciones clave para conservar el recurso pesquero incluyen el control estricto de la pesca ilegal, la

implementación y cumplimiento efectivo de vedas en fechas apropiadas, y la regulación del esfuerzo pesquero, como limitar los días de pesca al año. También se destaca la importancia de garantizar que la pesca sea legal y de establecer certificados de monitoreo en las exportaciones. Las acciones de manejo pesquero que deberían implementarse incluyen principalmente el fortalecimiento del control y la reducción de la pesca ilegal, eliminando prácticas como los bolsos ilegales y la pesca de changa. También se sugiere mejorar el control sobre las medidas de manejo existentes e investigar la presencia del recurso en nuevas zonas para diversificar y sostener la actividad. Las prácticas que generan efectos negativos en la actividad pesquera y los ingresos incluyen principalmente la pesca ilegal, el uso de artes no reguladas como bolsos y changas ilegales, la falta o fallo en los controles de pesca, vedas mal diseñadas o "antitécnicas", y la imposición de cuotas de captura que no se ajustan a la realidad del recurso. Finalmente, los aspectos no controlables en la pesca de camarón incluyen factores ambientales como las lluvias, baja temperatura, y el dragado, así como la presencia persistente de pesca ilegal, la falta de control sobre los precios, y situaciones externas como la extorsión.

¿Que aspecto es lo mas importante en la pesca del camarón ?

 Copiar gráfico

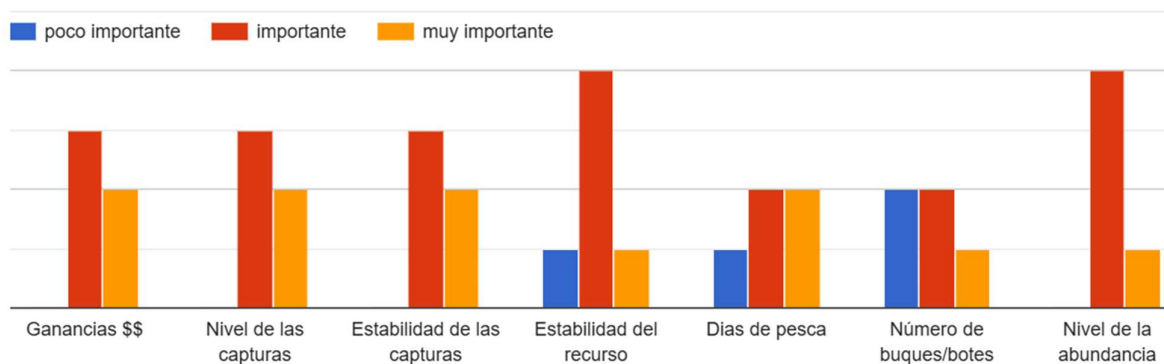


Figura 14. Distribución de las respuestas a la pregunta ¿Que aspectos es lo mas importante en la pesca del camarón?

¿Qué tipo de acciones de manejo se deberían implementar?

 Copiar gráfico

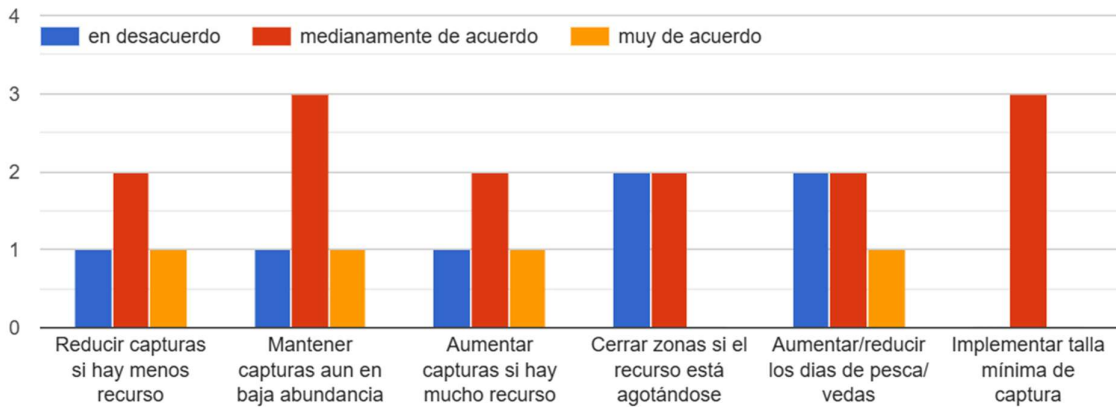


Figura 15. Distribución de las respuestas a la pregunta ¿Qué tipo de acciones de manejo se deberían implementar?

Indicadores de desempeño

Con base a la ronda de consultas realizadas a las partes interesadas, se consideraron distintas métricas con el fin de evaluar el desempeño de las RCC frente a los modelos operativos (**Tabla 6**). No todas las variables son medibles pues no dependen del desempeño de las operaciones de pesca, como es el caso de situaciones del mercado externo o externalidades internas relacionadas con gobernanza y seguridad.

En la propuesta de estos indicadores de desempeño se consideró el interés del sector de alcanzar el cuadrante verde del diagrama de Kobe, el cual significa evitar un estado de sobrepesca y sobreexplotación al mismo tiempo. Otra de las variables relevantes es que en la pesquería se registren individuos mayores a 6.9 cm de longitud y a la vez estabilidad relativa de los desembarques, esto último modelado como el complemento a la variación relativa de las capturas en dos años consecutivos. De este modo, a menor índice mayor estabilidad para la pesquería. Adicionalmente se consideró la probabilidad de caer en un estado de colapso si la biomasa cae a la mitad de la biomasa objetivo. Otro indicador de interés es la CPUE promedio por día/buque así como maximizar la probabilidad que en la pesquería se registren capturas altas (mayores a 4 mil libras). Un detalle de los indicadores se proporciona en **Tabla 6**.

Tabla 6. Indicadores de desempeño para evaluar estrategias de manejo de camarón pomada.

Indicador	Nomenclatura
Biológicos/conservación	
• Ratio de biomasa (B/B_{RMS})	Biomasa relativa
• Riesgo de sobreexplotación $p(B < B_{RMS})$	Sobreexplotación
• Riesgo de sobrepesca $p(F > F_{RMS})$	Sobrepesca
• Riesgo de colapso $p(B < 0.5B_{RMS})$	Colapso
• Probabilidad zona Kobe verde $p(B > B_{RMS} \ \& \ F < F_{RMS})$	Kobe verde
Pesquería	
• Captura promedio trimestral en toneladas	Captura
• Variación relativa de las capturas entre años	Estabilidad
• CPUE (lbs/buque día)	CPUE
• Talla promedio	Talla
• Variación relativa de capturas 2029 vs 2024	Capt relativa LP
• Probabilidad de capturas mayores a 4 mil lbs/trimestre	Capturas altas

De esta forma se analizó el desempeño de las Reglas de Control de Captura (RCC) tanto para la pesquería industrial y artesanal del camarón, bajo distintos modelos operativos. En estas simulaciones se evaluaron variables importantes como la biomasa, la mortalidad por pesca y la captura, así como su comportamiento en el largo plazo.

4.2. Evaluación de las estrategias de manejo

Se presenta los resultados discriminados por pesquería, destacando las diferencias en termino de sostenibilidad, rendimiento pesquero y probabilidad de alcanzar los objetivos operacionales en cada escenario.

4.2.1. Pesquería industrial

Las proyecciones muestran que independientemente de las RCC, y debido a la variabilidad de los reclutamientos y escenarios de productividad (MO2 y MO3), en algunos casos podría llevar a la población a caer por debajo de la biomasa de referencia (ie sobreexplotación) pero pocas veces bajo el límite de colapso (**Figura 16**). Lo anterior se debe principalmente a que la talla de madurez sexual (66 mm CL) es notablemente menor a la talla de primera captura (75 mm CL) (Jurado et al., 2025), lo cual permite el escape permanente de reproductores independientemente de los niveles de esfuerzo de pesca. Del mismo modo, el valor esperado de todas la RCC en MO1 indican que en el mediano plazo, la biomasa reproductiva debiese variar en torno y por sobre la biomasa objetivo Brms. Sin embargo y si bien con RCC4 el valor esperado de biomasa disminuye, su variabilidad indica que los eventos de caer por debajo de la biomasa límite es menor al resto de las RCC (**Figura 16**). En condiciones de menor productividad (MO2), todas las RCC llevarían al recurso por debajo de la biomasa de referencia, pero solo en RCC1 y RCC2 la disminución sería menor, generando igualmente menor número de eventos de caer en zona de colapso (bajo la biomasa límite). En condiciones de mayor productividad, y debido a la alta variabilidad producto de las distintas fuentes de variabilidad, en todas las RCC los eventos de colapso no podrían ser descartado del todo (**Figura 16**).

El efecto de las distintas RCC es el control directo del esfuerzo de pesca y la mortalidad, lo cual condiciona por ejemplo, el número de días de veda del año siguiente. Bajo el esquema de la RCC1 (rampa) se observa que la mortalidad variará ligeramente por debajo de Frms, lo cual se debe al efecto que ejerce la rampa cuando la biomasa disminuye bajo Brms (**Figura 17**). De estas RCC se destaca RCC2 con una aparente mayor variabilidad en la mortalidad por pesca, aspecto directamente relacionado con la linealidad propuesta entre el ajuste del esfuerzo y la biomasa. Dado que los cambios en productividad generan solo aumentos o disminuciones poblacionales debido al reclutamiento, la mortalidad por pesca de referencia no se ve mayormente afectada pues además el manejo pesquero se supone ciego a estas variaciones. Consecuentemente los resultados muestran que F es respuesta de la biomasa “estimada” y

tiende a variar en torno o por debajo de Frms conforme la configuración de la RCC. Un contraejemplo de esto es el desempeño de RCC3 (Fcte) en cualquiera de los MO, destacándose que independientemente del nivel de productividad, la mortalidad variará siempre en torno a Frms, y su variabilidad se explicaría por el notable mayor error de implementación (**Figura 17**). Dicho de otro modo, la falta de mayor control sobre la flota de “changas” sería el principal factor que determina esta variabilidad.

El resultado de las RCC es el desembarque esperado. En los análisis se observa que exceptuando RCC1, las restantes RCC muestran similar desempeño en cuanto a los desembarques. En RCC1 el valor del desembarque resulta relativamente menor mientras la variabilidad se debe al mayor error de implementación antes indicado (**Figura 18**). Como resultado de un bajo nivel de productividad (OM2), e independientemente de las RCC, las capturas debieran variar por debajo de la captura de referencia RMS. La menor variabilidad aparente se registra con RCC3 debido al régimen de esfuerzo de pesca constante. En el análisis probabilístico y bajo las condiciones actuales (MO1) y de alta productividad (MO3), la RCC1 y RCC2 muestra una mayor proporción de tiempo en la zona de sustentabilidad (verde) y sobreexplotación (amarillo), con una reducción gradual de la probabilidad de agotamiento (rojo). En contraste, bajo MO2 existe una alta probabilidad de ubicar la población en condiciones de agotamiento y en menor medida en sobreexplotación (**Figura 19**).

El diagnóstico poblacional en el largo plazo muestra que bajo las condiciones actuales (MO1), todas la RCC ubicarían a la población en torno al objetivo de manejo pero a la vez cerca de la zona roja del diagrama de Kobe (**Figura 20**). En este diagrama se destaca una gran recurrencia de valores en la zona de sobreexplotación en recuperación (zona amarilla) y en la zona de sobrepesca y sobreexplotación (zona roja), particularmente en las RCC 3 y 4. El desempeño de estas RCC en los 4 MO es similar en términos de la relación F/Frms y muestra una correlación negativa entre mortalidad por pesca y biomasa. En el peor de los escenarios (MO2), solo RCC2 estaría más cerca del objetivo de manejo. Cualquier regla en condiciones de MO2 indica una alta recurrencia de sobreexplotación y menor efecto en sobrepesca, mientras que en MO3 todas las RCC se mantienen en promedio, por sobre la biomasa de referencia Brms (**Figura 20**).

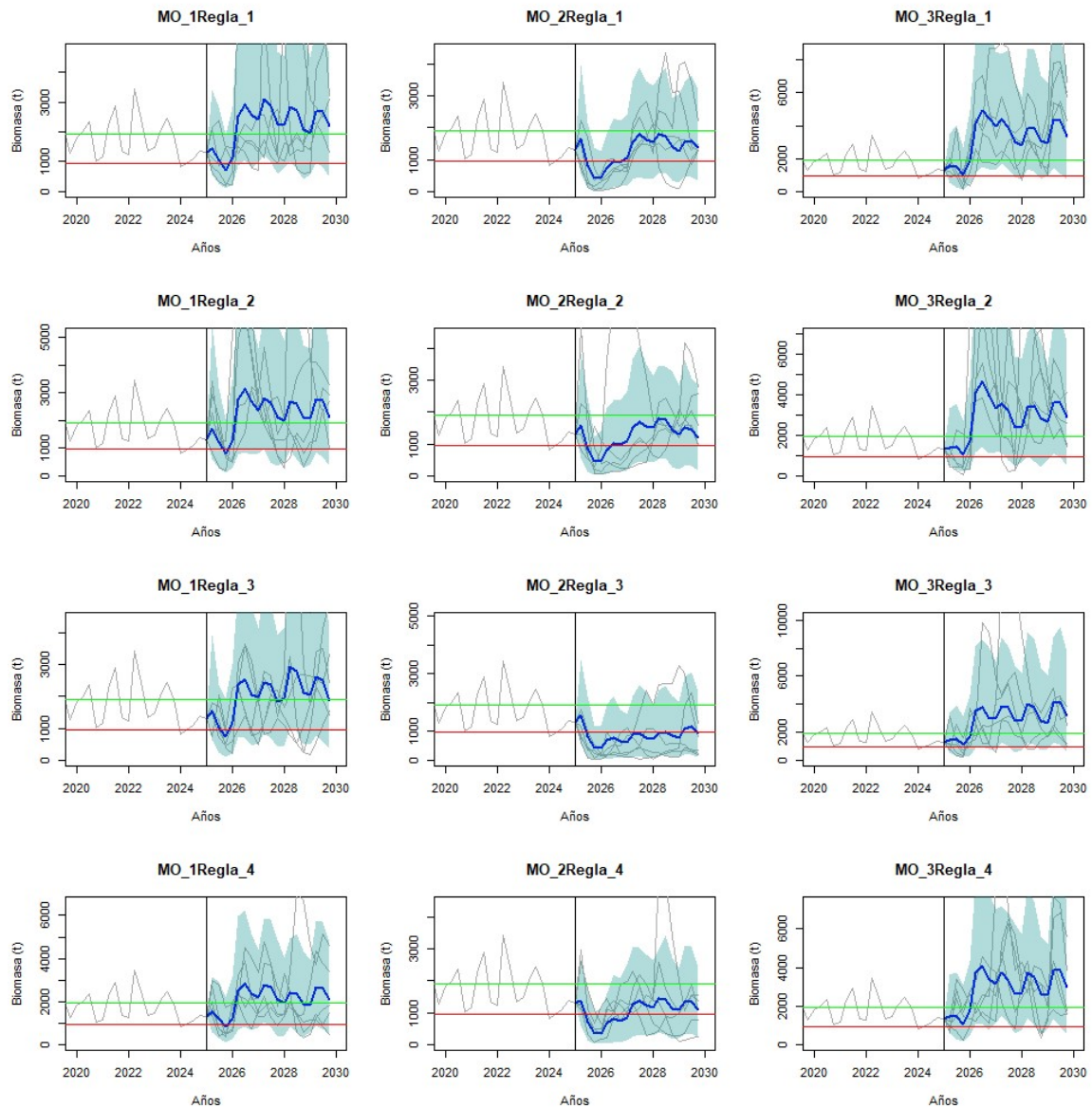


Figura 16. Simulación de la biomasa reproductiva de la pesquería industrial de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea roja horizontal es el límite y la línea verde el objetivo

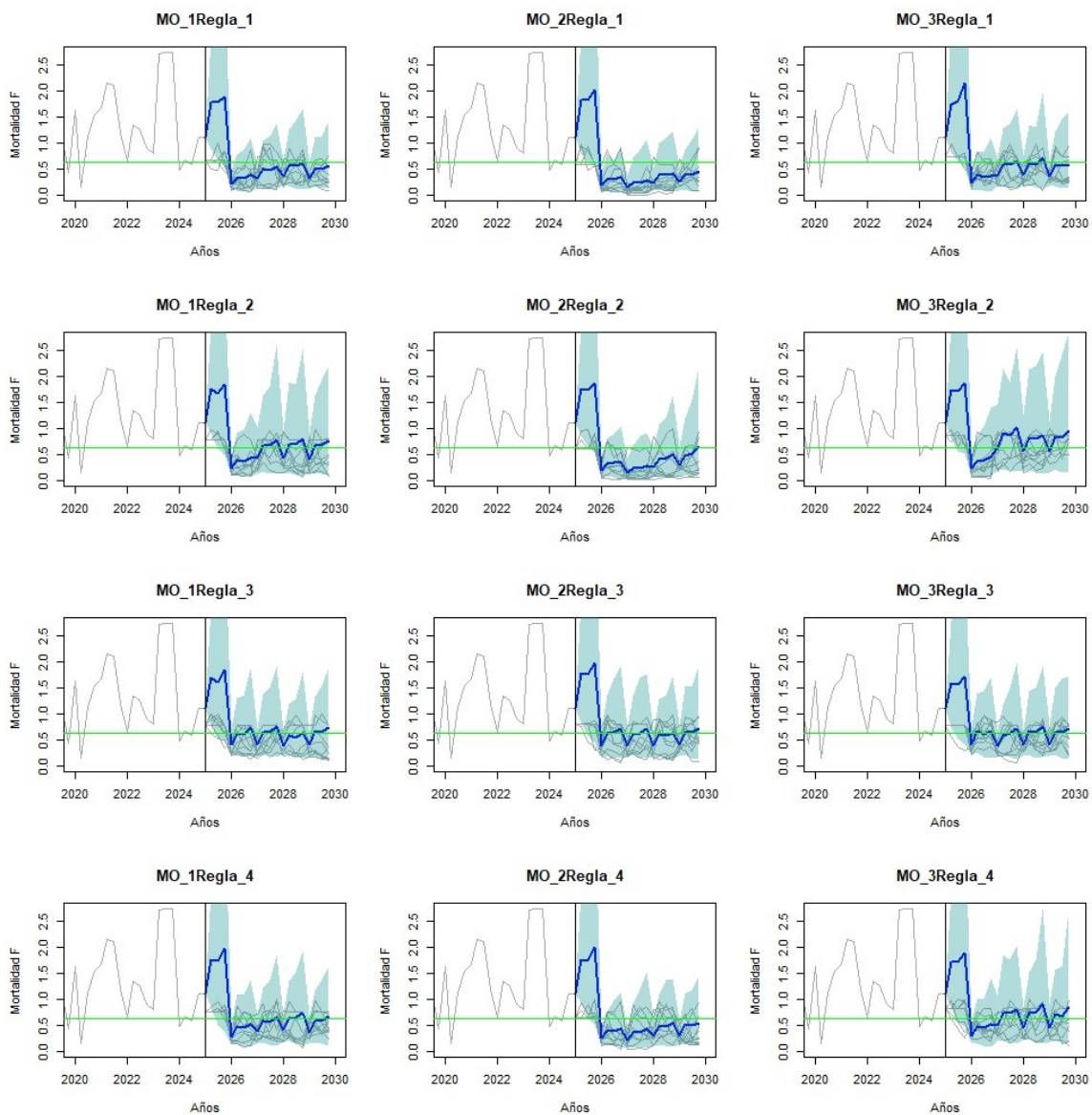


Figura 17. Simulación de la mortalidad por pesca de la pesquería industrial de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea verde representa el objetivo.

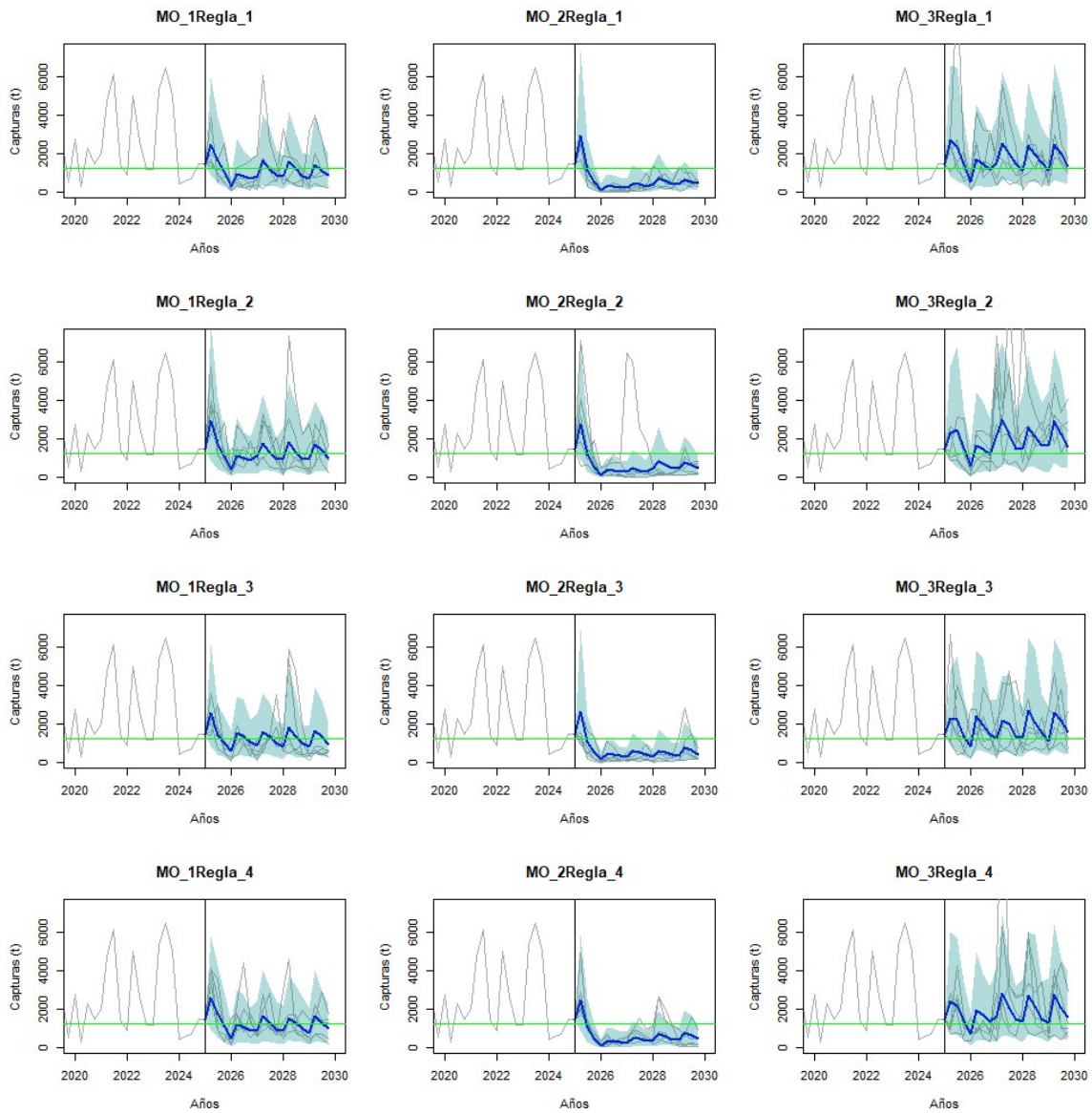


Figura 18. Simulación de los desembarques de la pesquería industrial de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea verde representa el objetivo.

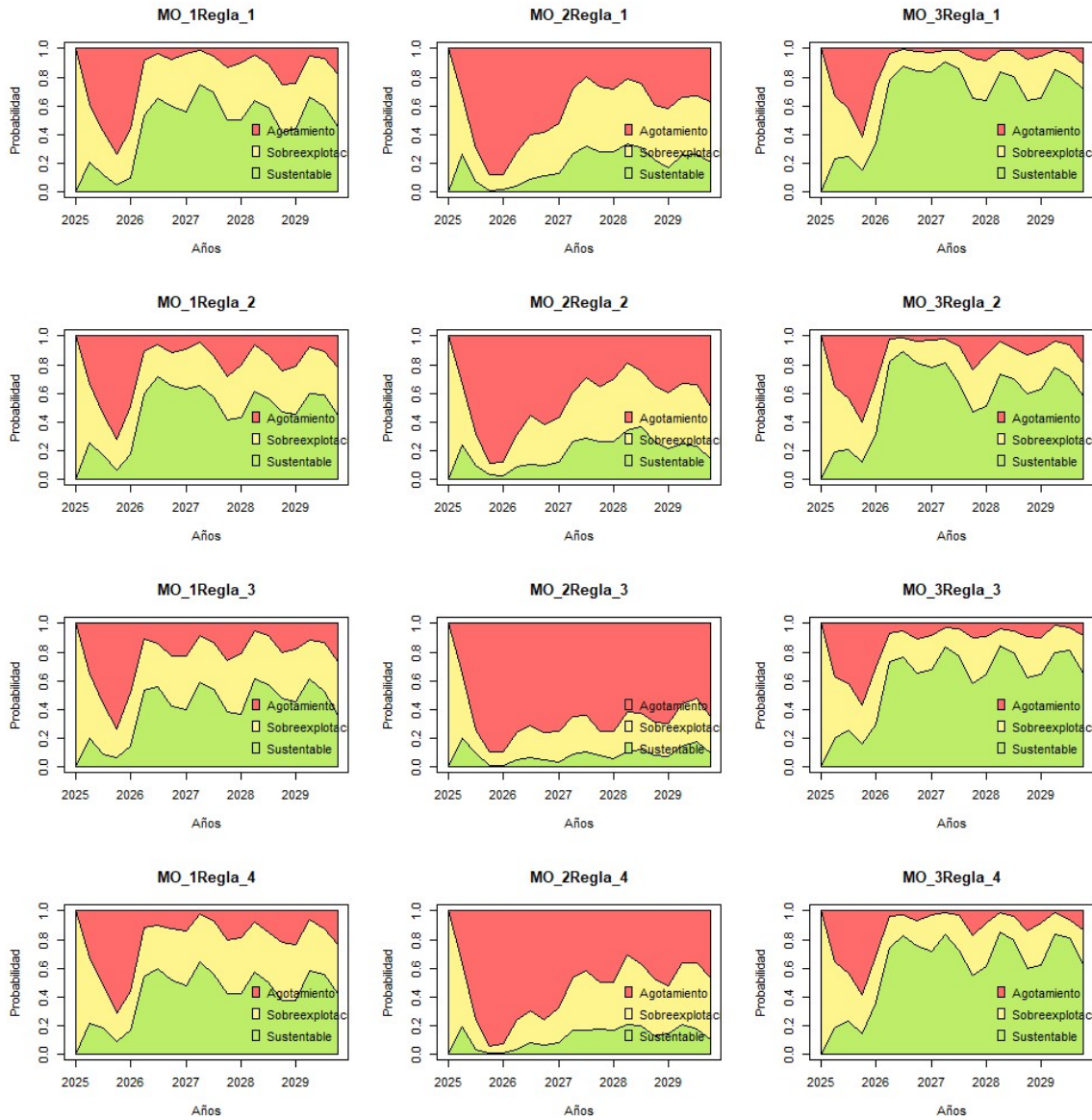


Figura 19. Probabilidad de agotamiento, sobreexplotación y sustentabilidad del camarón capturado por la pesquería industrial para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC).

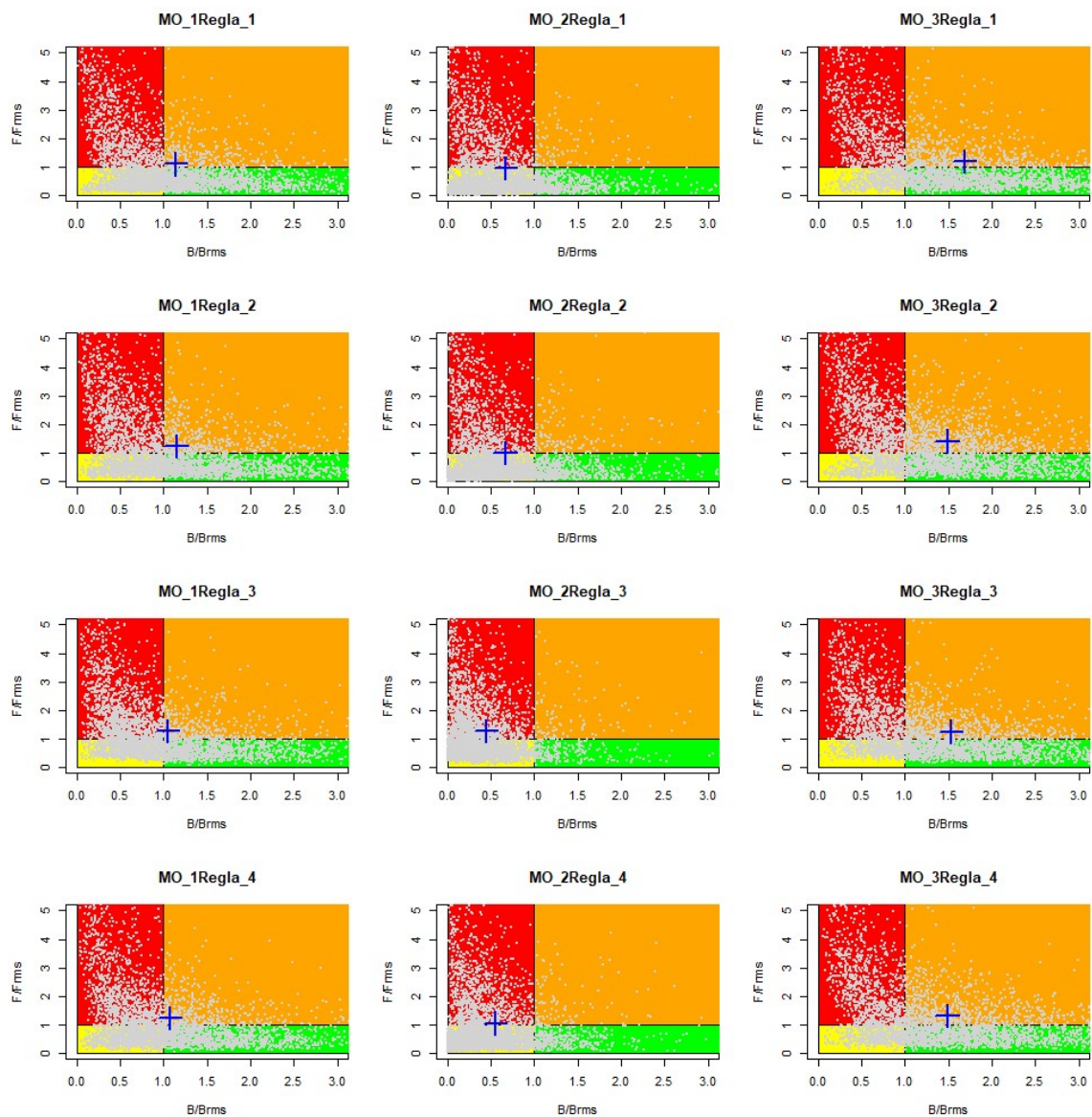


Figura 20. Diagrama de Kobe de la pesquería industrial del camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). Los puntos grises representan las simulaciones y la cruz azul el valor esperado.

El desempeño de las RCC se resume en variables de interés para las industria, científicos y administradores. Desde la perspectiva de la conservación y bajo las condiciones actuales

(MO1), la probabilidad máxima de permanecer en la zona segura (Kobe verde) es del 38% y se registra con RCC1 (rampa) y mínima con RCC3 (Esfuerzo constante), cuya probabilidad es del 30% (**Tabla 7**). Sin embargo, con esta última regla se obtiene el máximo riesgo de sobreexplotación y de colapso, con un 61% y 23% respectivamente. Por el otro lado destaca la RCC1 con los mínimos riesgos de conservación (sobreexplotación y sobrepesca) y máximo nivel de biomasa relativa, alcanzando un 14% por sobre la biomasa de referencia (Brms), lo cual se explica porque ante escenarios de sobreexplotación, el efecto rampla determina que el esfuerzo de pesca debiera ser ajustado linealmente en función de la disminución poblacional, de manera más oportuna y acelerada respecto de RCC4 como su similar (**Tabla 7**). Bajo MO1 y M03, y en cualquiera de las RCC, se verifica que la biomasa promedio de largo plazo se ubicará en torno a Brms. Sin embargo y en condiciones de baja productividad poblacional (MO2), e independientemente de las RCC, la biomasa alcanzará valores por debajo de la biomasa de referencia, pero solo RCC1 y RCC2 serían las más cercanas al objetivo (**Tabla 7**)

Desde la perspectiva de los indicadores de la pesquería y en condiciones ambientales promedio (MO1), las capturas de mediano plazo podrían llegar a superar mil toneladas trimestrales (aprox. 4 mil toneladas anuales), siendo la regla RCC2 la de mejor desempeño relativo con poco más de 1,2 mil toneladas trimestrales con probabilidad de generar rendimientos mayores a 4 mil libras diarias del 16% (**Tabla 7**). Sin embargo y como era de esperar, la regla que ofrece la mayor estabilidad de las capturas interanuales es RCC3 (esfuerzo constante), seguidos de RCC4 y RCC1. Considerando la variación relativa de las capturas a los 5 años futuro, se destacan las RCC2 y RCC3 con el mayor aumento relativo del 59% y 50%, respectivamente. En todos los casos se advierte que el calibre promedio del camarón desembarcado sería mayor a 7 cm, siendo ligeramente mayor con RCC1 y RCC2. En condiciones de baja productividad (MO2), las capturas descienden en torno a las mil toneladas anuales (variación negativa en torno al 30% promedio), con una pesquería de alta inestabilidad de capturas pero con tamaños de calibre iguales o mayores a las condiciones de MO1, particularmente en las reglas RCC1, RCC2 y RCC4. Lo anterior se debe a la disminución del esfuerzo de pesca cuando la biomasa está por debajo de la biomasa de referencia (percepción permanente), determinando que las decisiones de manejo se ubiquen principalmente en el sector de la rampa de las RCC. En el escenario más optimista (MO3) las capturas podrían hasta duplicarse, principalmente en RCC2, generando mayores niveles de estabilidad en las capturas y probabilidades de registrar capturas diarias mayores a 4 mil libras diarias por sobre el 30%. Sin embargo y si bien el tamaño

promedio de los individuos capturados supera los 7 cm, resultan similares a los escenarios de capturas evaluados en OM1, lo cual se debería al incremento en el esfuerzo de pesca como consecuencia de la percepción de mayor biomasa poblacional (**Tabla 7**).

La **Figura 21** compara el desempeño de las cuatro RCC bajo los tres modelos operativos, considerando dos indicadores clave de sostenibilidad: la razón biomasa $B/Brms$ y la razón mortalidad por pesca a $F/Frms$. Los resultados muestran en general que el desempeño de las reglas depende fuertemente de las condiciones poblacionales simuladas. En condiciones promedio normales (MO1), las RCC mantienen a la biomasa en torno a la biomasa de referencia $Brms$, aunque con diferencias en la mortalidad por pesca: la RCC1 muestra niveles más precautorios ($F/Frms < 1$), mientras que las RCC 2–4 tienden a valores cercanos o superiores a 1. En condiciones de baja productividad (MO2), todas las reglas presentan biomasa inferior al umbral ($B/Brms < 1$), siendo más crítico el desempeño de las RCC 2 y 3 (**Figura 21**). No obstante, los niveles de explotación fueron relativamente bajos, lo que indica que el menor desempeño en biomasa obedece a las condiciones de baja productividad representadas en este MO. En condiciones de alta productividad (MO3), la biomasa se mantiene sobre $Brms$ en todas las RCC, destacando la RCC1 como la más alta. Sin embargo, la RCC 2 sugiere tendencia a la sobreexplotación ($F/Frms \sim 1$), incluso bajo altos niveles de biomasa. En conjunto, los resultados muestran que las RCC 1 y 4 tienden a un desempeño más robusto, mientras que la RCC 2 presenta mayor riesgo de sobreexplotación en distintos contextos (**Figura 21**).

Complementariamente, una la figura de radar (**Figura 22**) muestra el compromiso entre un conjunto de indicadores biológicos y pesqueros, respecto de todos los modelos operativos. En el primer gráfico, que incluye variables de estado del recurso, se observa que las RCC presentan desempeños similares en biomasa y “ausencia de colapso”, aunque con diferencias relevantes en otros indicadores. La RCC3 alcanza los valores más altos en términos de “ausencia de sobrepesca”, mientras que la RCC1 muestra un mejor desempeño en la condición de “no sobreexplotación” (**Figura 22**). En contraste, la RCC2 y la RCC4 presentan un menor cumplimiento en el indicador zona “kobe verde”, lo que refleja una mayor probabilidad de mantener el recurso simultáneamente en condiciones seguras de biomasa y mortalidad por pesca (**Figura 22**). En el segundo gráfico, enfocado en variables de desempeño pesquero, se evidencian diferencias más marcadas. La RCC3 destaca por un mejor desempeño en “estabilidad” interanual” y “captura relativa de largo plazo”, lo que sugiere un aporte favorable a la sustentabilidad socioeconómica. Por otro lado, la RCC2 presenta mayores niveles de

“captura absoluta”, aunque con menor estabilidad. Todas las RCC muestran resultados similares en “talla promedio” y en la relación con la CPUE, aunque la RCC4 evidencia un ligero mejor equilibrio entre ambos indicadores (**Figura 22**). En términos de los máximos puntajes obtenidos para las variables de desempeño, la RCC1 destaca como la más recurrente en los tres MO considerados (**Figura 23**), mientras que, a nivel de desempeño individual por variable, las de mayor puntuación correspondió a la talla promedio y estado sin colapso, y la de más bajo desempeño, a la estabilidad de las capturas y estado de salud (Kobe verde) del recurso (**Figura 24**).

En resumen y como se destacó, los cambios ambientales representados por los MO2 y MO3 afectan el desempeño de las RCC. Considerando las puntuaciones obtenidas y representadas en los diagramas de radar, los resultados muestran en general que la dimensión pesquera es la que presenta mayor puntuación en todos los escenarios ambientales (**Tabla 8**), lo cual se debería a la mayor variabilidad provocada por el error de implementación (sobrepesca) en desmedro de los indicadores de conservación. Bajo condiciones ambientales normales MO1, destaca las RCC1 y 2 en la dimensión de conservación y contrariamente, RCC3 y 4 en la dimensión pesquera (**Tabla 8**). Sin embargo y en condiciones de baja productividad (MO2), se aprecia un mayor balance y puntuación de RCC1 y 2 para ambas dimensiones, contraste que se pierde en condiciones desfavorables de baja productividad (MO3), siendo la dimensión pesquera la mayormente beneficiada. Al integrar todos los MO se obtiene que la RCC1 es la que favorece más a la conservación mientras RCC3 a la pesquería (**Tabla 8**). No obstante, y considerando un mayor balance y compromiso entre ambas dimensiones (menor diferencia), destaca RCC1 seguido de RCC2 como las opciones más robustas y sostenibles para la pesquería industrial del camarón pomada del Ecuador.

Tabla 7. Variables de desempeño de las reglas de control de capturas (RCC) para la pesquería industrial del camarón evaluados bajo distintos modelos operativos (MO).

a. Índices de conservación

	Riesgo sobrexplot	Riesgo sobrepesca	Riesgo colapso	Prob Kobe- verde	Biomasa relativa a BRMS
MO1					
RCC1	0.55	0.35	0.19	0.38	1.14
RCC2	0.55	0.42	0.21	0.35	1.15
RCC3	0.61	0.45	0.23	0.30	1.05
RCC4	0.59	0.42	0.21	0.31	1.08
MO2					
RCC1	0.82	0.29	0.43	0.16	0.67
RCC2	0.82	0.31	0.44	0.15	0.66
RCC3	0.92	0.44	0.65	0.06	0.45
RCC4	0.88	0.33	0.53	0.09	0.55
MO3					
RCC1	0.37	0.39	0.11	0.49	1.68
RCC2	0.43	0.51	0.15	0.36	1.48
RCC3	0.41	0.45	0.13	0.41	1.53
RCC4	0.41	0.46	0.13	0.40	1.49

b. Índices pesqueros

	CPUE (lbs/buque- día)	Estabilidad capturas (0-1)	Variación relativa capturas LP	Talla prom (cm)	Prob captura>4 mil lbs/día	Capturas (t/trim)
MO1						
RCC1	2478	0.71	30%	7.46	0.12	1023
RCC2	2497	0.54	59%	7.40	0.16	1257
RCC3	2368	0.86	50%	7.39	0.14	1183
RCC4	2450	0.75	48%	7.42	0.15	1164
MO2						
RCC1	1516	0.01	-36%	7.56	0.04	504
RCC2	1429	0.01	-27%	7.56	0.04	575
RCC3	1057	0.01	-32%	7.37	0.04	537
RCC4	1256	0.01	-31%	7.48	0.04	546
MO3						
RCC1	4050	0.82	121%	7.43	0.31	1738
RCC2	3315	0.71	166%	7.36	0.32	2094
RCC3	3643	0.93	136%	7.39	0.32	1863
RCC4	3444	0.82	144%	7.37	0.32	1922

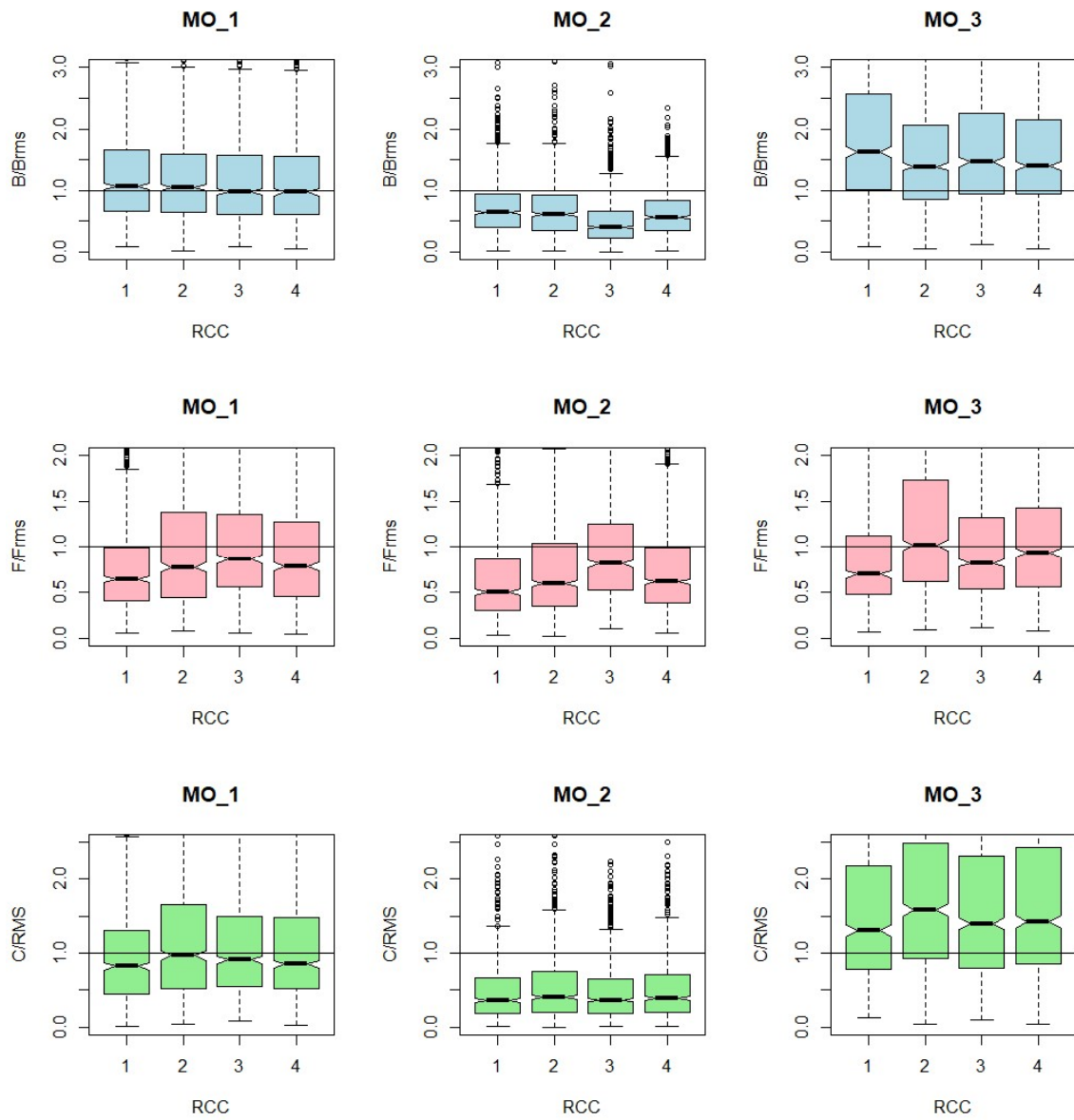


Figura 21. Boxplot del desempeño promedio de largo plazo de B/Brms, F/Brms y C/RMS obtenidas de la aplicación de distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos para la pesquería industrial de camarón.

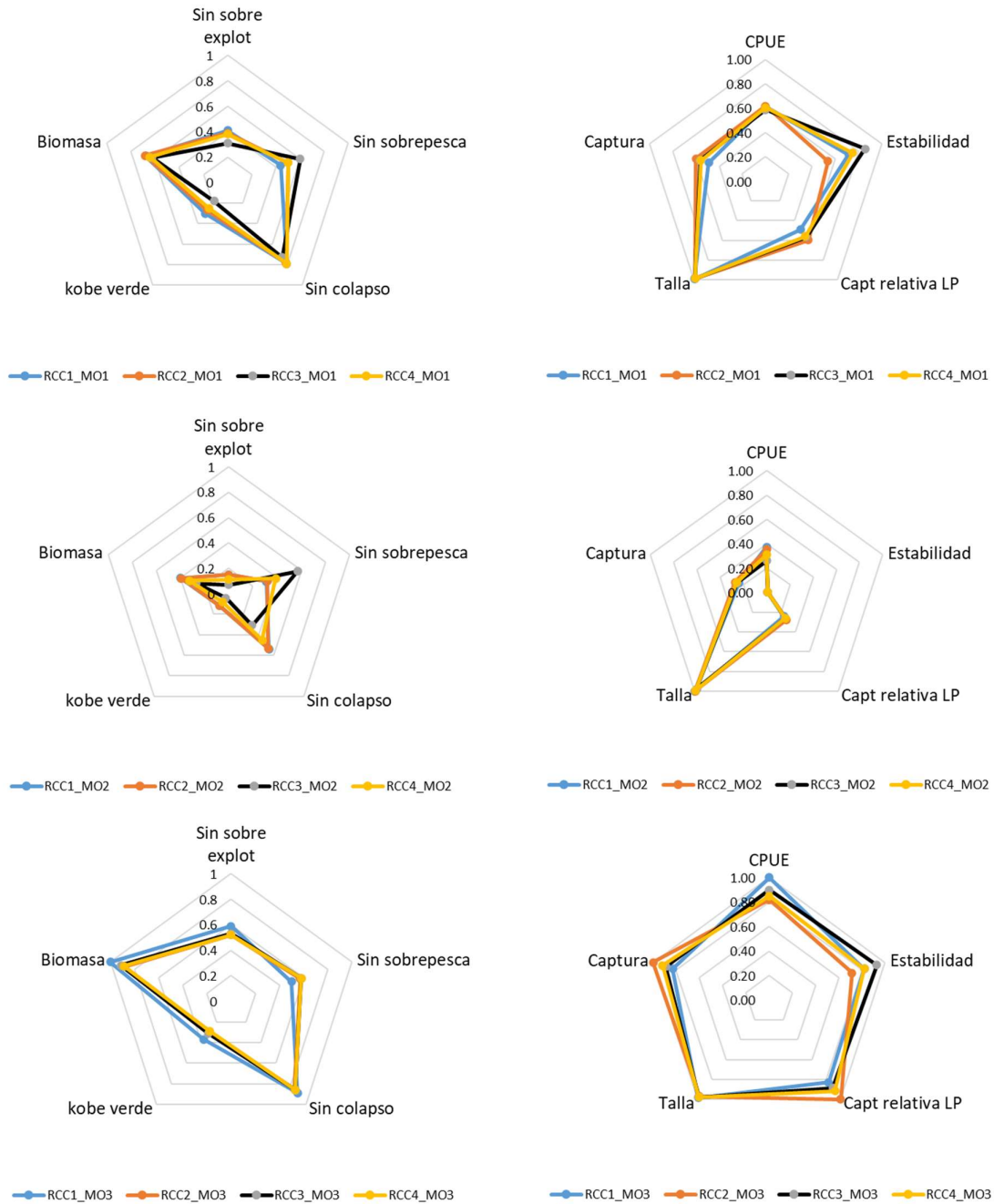


Figura 22. Diagrama de red de las principales variables de desempeño obtenidas de la aplicación de distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos (MO) para la pesquería industrial de camarón.

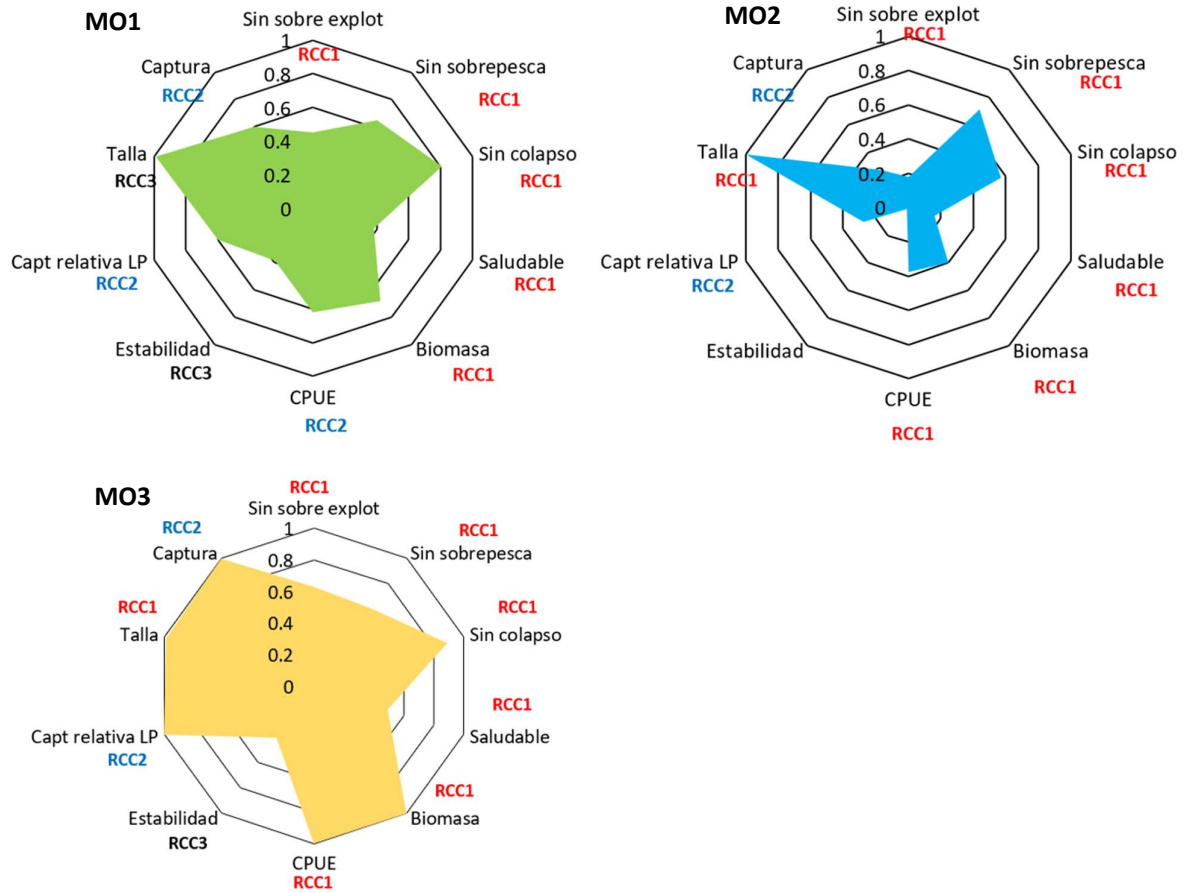


Figura 23. Diagrama de red de los máximos puntajes obtenidos por regla de control de capturas (RCC) para las principales variables de desempeño y modelos operativos (MO), para la pesquería industrial de camarón

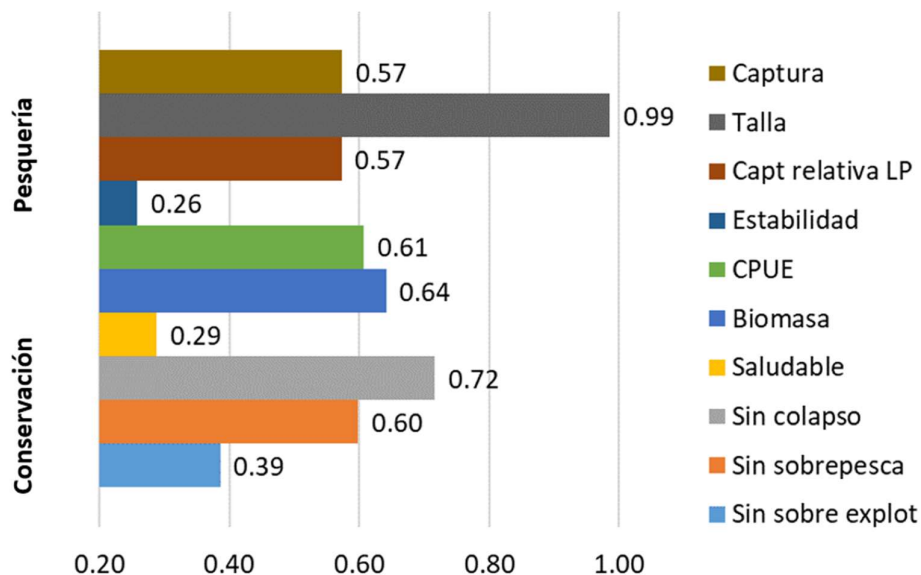


Figura 24. Puntaje promedio obtenido por indicador en la pesquería industrial de camarón

Tabla 8. Resumen de los puntajes promedio para distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos. En color verde más oscuro se destacan el mejor desempeño relativo a su dimensión. (1) Dimensión conservación, (2) Dimensión pesquera

Dimensión	MO1 (Neutro)		MO2 (Desfavorable)		MO3 (Favorable)		Total	
	Pesq.	Conserv.	Pesq.	Conserv.	Pesq.	Conserv.	Pesq.	Conserv.
RCC1	0.59	0.59	0.40	0.37	0.72	0.81	0.57	0.59
RCC2	0.57	0.62	0.39	0.38	0.63	0.83	0.53	0.61
RCC3	0.53	0.62	0.26	0.37	0.67	0.81	0.49	0.60
RCC4	0.55	0.61	0.34	0.38	0.66	0.81	0.51	0.60
Total	0.56	0.61	0.35	0.37	0.67	0.81	0.53	0.60

4.2.2. Pesquería artesanal

Las simulaciones para la pesquería artesanal que emplea como método de pesca “bolsos” muestra que, bajo las actuales condiciones ambientales (promedio) (MO1), y para cualquiera de las RCC analizadas, la población variaría en torno a Brms. Para el caso de menor productividad poblacional (MO2), el escenario es más crítico y la población bordearía los límites de colapso (**Figura 25**). En contrastes, un supuesto de una alta productividad (MO3) genera estimados de biomasa por encima a Brms, excepto RCC4 la cual se mantendría cerca al valor de referencia para los últimos años (**Figura 25**).

Por su parte, el esfuerzo pesquero (mortalidad por pesca $F/Frms$) ajustado en función de la condición de la población, muestra que bajo condiciones promedio y en la mayoría de las RCC, los días de operación se mantendría en torno al valor de referencia ($Frms$), a excepción de la RCC4, donde los valores tienden hacia el límite superior (50% por encima del $Frms$) para los últimos años (**Figura 26**). En todos los MO se observa una fuerte reducción de la mortalidad por pesca para el segundo año debido a la baja condición del recurso a inicio de la proyección. Este efecto es más evidente con RCC4, que alcanzan valores cercados al 10% de $Frms$, cercano al cierre de la pesquería. Además, esta regla presenta la mayor variabilidad interanual, evidenciándose fuertemente para los últimos años (**Figura 26**).

Similar comportamiento de la biomasa se obtendría con los desembarques en el largo plazo. Las simulaciones de capturas de las pesquerías muestran diferentes tendencias dependiendo del escenario de condición ambiental (MO) y RCC (**Figura 27**). Bajo el escenario de condiciones promedio (RCC1), los desembarques se mantendrían en niveles cercanos al valor de referencia (RMS), para la mayoría de las RCC, con ligeras fluctuaciones intraanual producto del reclutamiento, salvo RCC4, donde se observa un ligero aumento hacia los últimos años de la proyección, lo que podría implicar una presión creciente sobre el recurso.

Para condiciones de menor productividad (MO2), los desembarques comenzarían a declinar rápidamente a partir del primer año de proyección acercándose a valores muy bajos, debido a la disminución de la mortalidad por pesca. Cabe destacar que se presentaría un ligero aumento a partir del segundo año de proyección, especialmente con RCC1 (**Figura 27**). En condiciones

de alta productividad poblacional (MO3), los desembarques se mantienen por encima del RMS, durante la mayoría de los años proyectados.

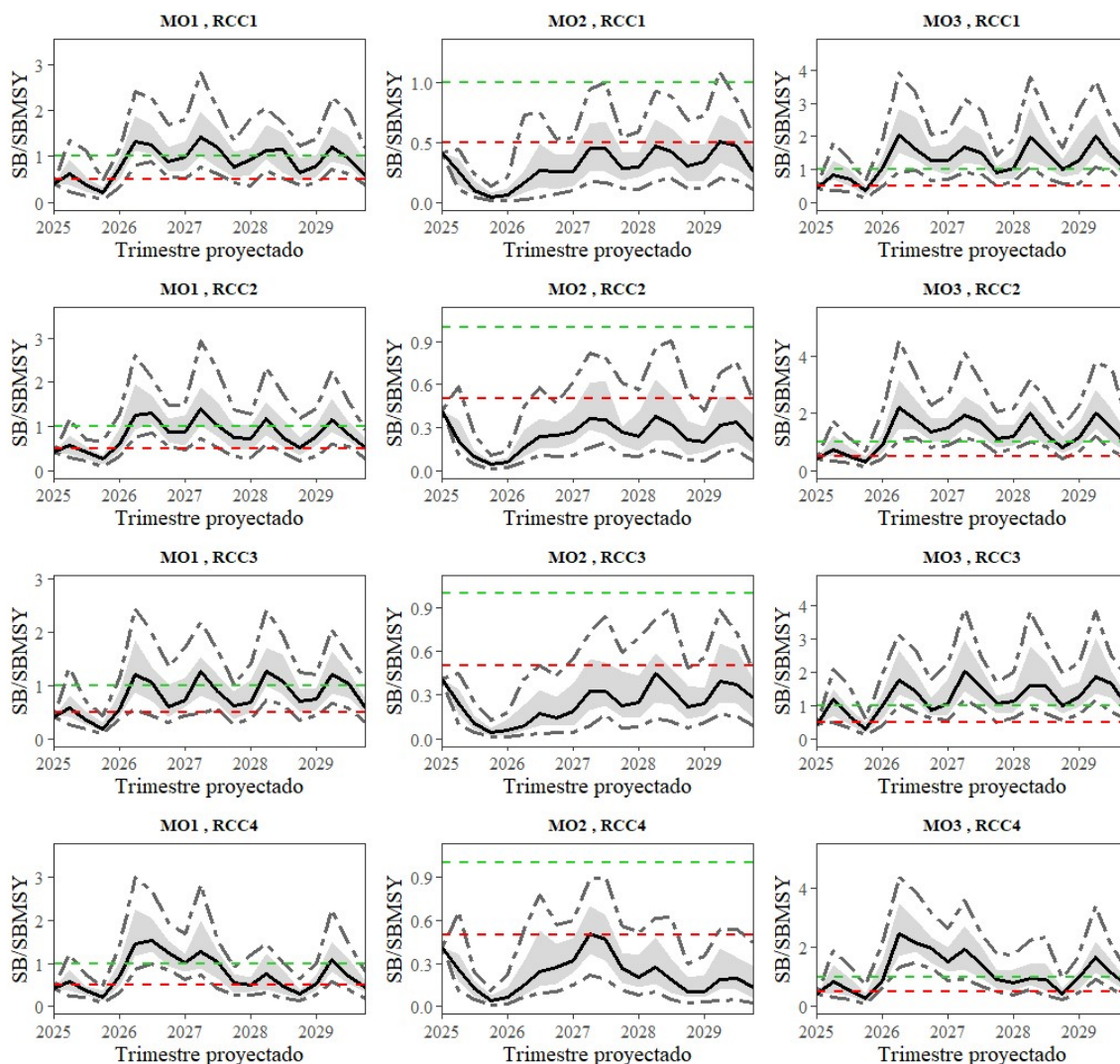


Figura 25. Simulación de la tasa relativa de la biomasa reproductiva de la pesquería artesanal de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona gris representa los intervalos de confianza del 50% y las líneas segmentadas representan los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea roja horizontal es el límite y la línea verde el objetivo

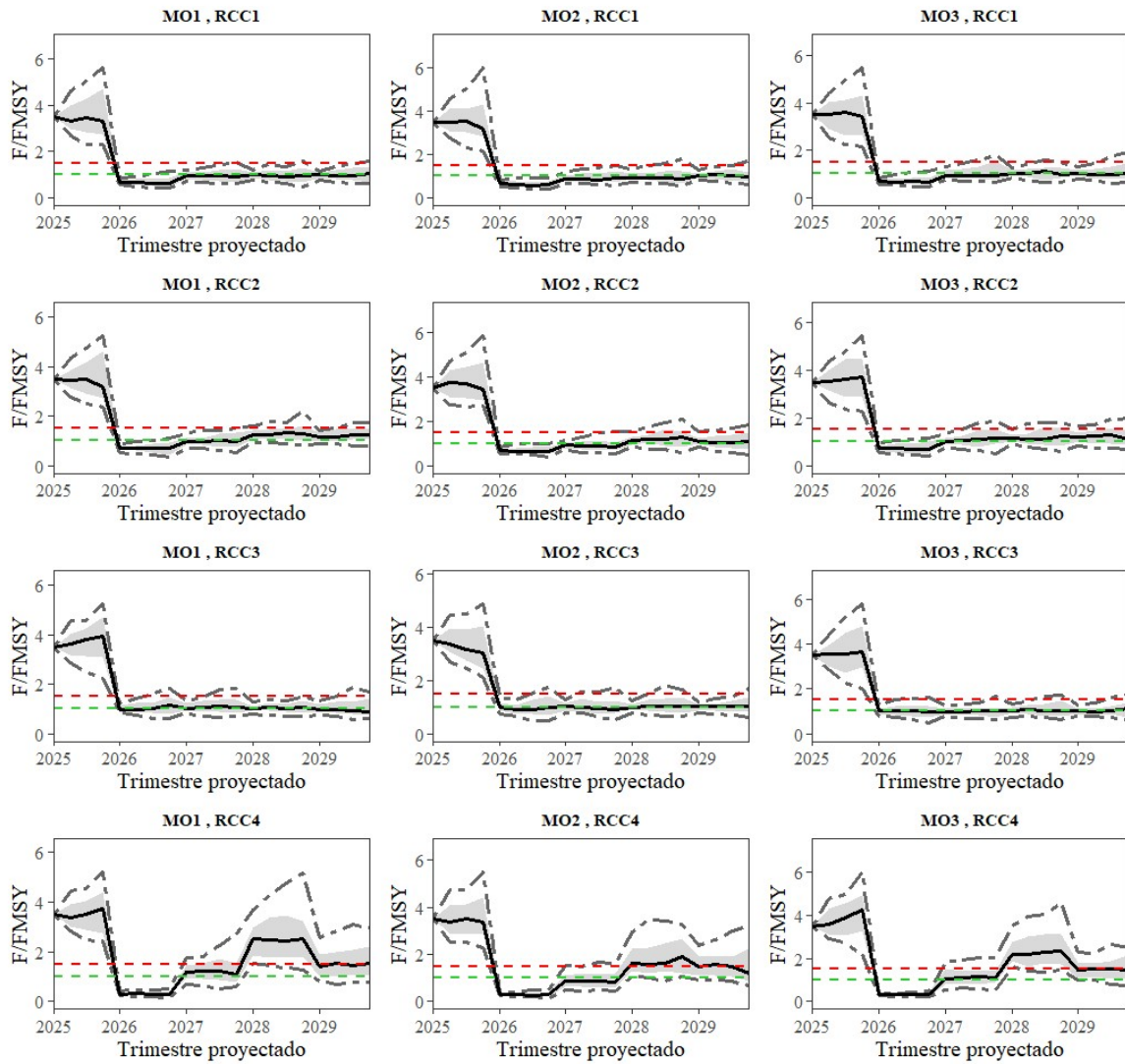


Figura 26. Simulación de la tasa relativa de la mortalidad por pesca de la pesquería artesanal de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea verde representa el objetivo.

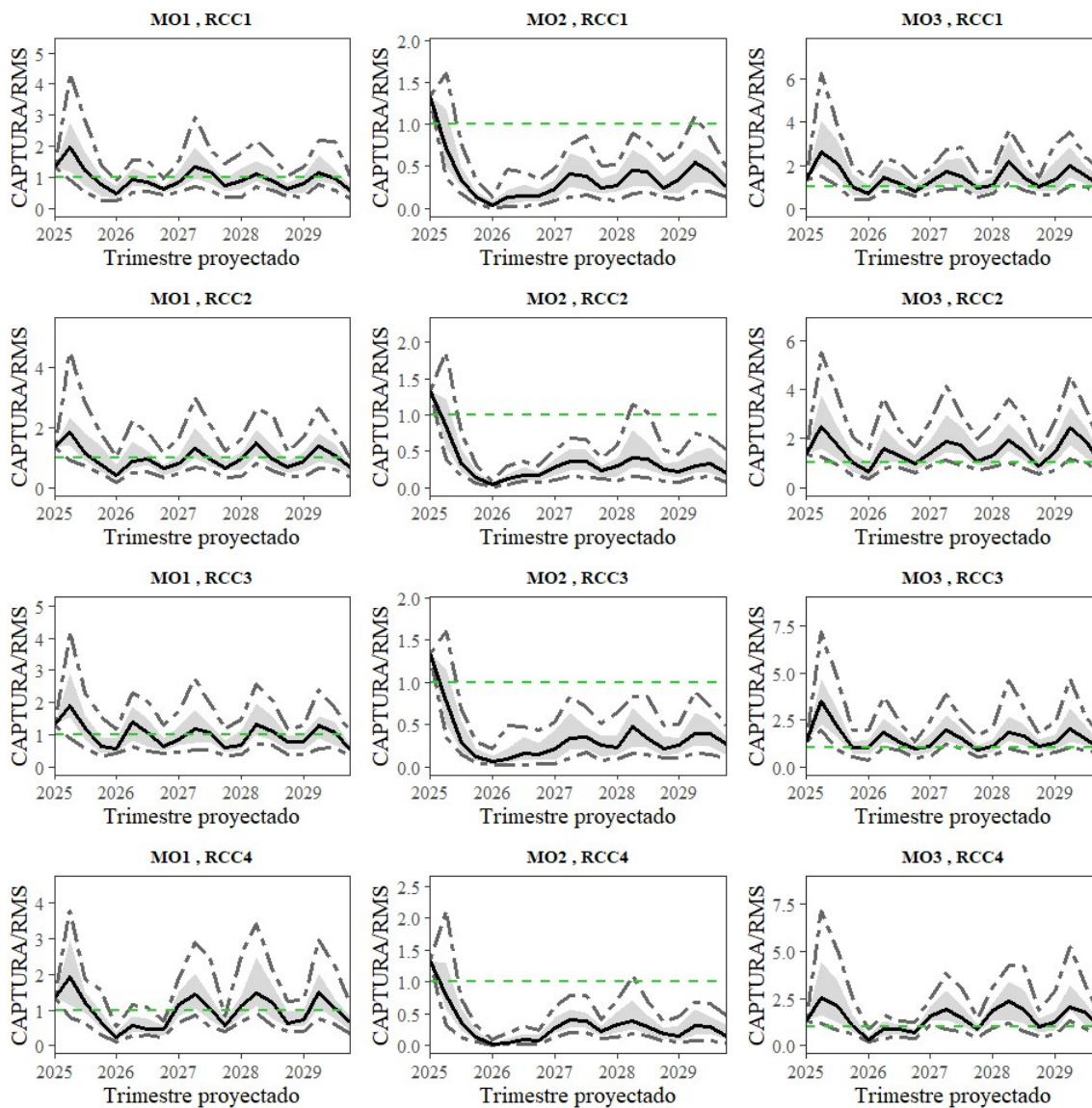


Figura 27. Simulación de la tasa relativa de la captura de la pesquería artesanal de camarón para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC). La zona oscura representa los intervalos de confianza al 95% de la proyección. La línea verde representa el objetivo.

En el largo plazo, la probabilidad de mantener la biomasa por encima de Brms es cercana al 50%, con mayores valores en los trimestres de mayor reclutamiento estacional (**Figura 28**). En el caso de RCC4, esta probabilidad varía entre 50% y 70% en el segundo y tercer año de proyección, pero luego se reduce a valores entre 5% y 25%. Bajo MO2, la probabilidad de colapso estaría alrededor del 75% para la mayoría de las RCC, mientras que bajo MO3 la probabilidad de superar Brms es mayor al 70% en la mayoría de los trimestres proyectados, independientemente de la regla (**Figura 28**). En el último trimestre de proyección, la mayoría de los escenarios, la población se ubicaría en la zona de recuperación (cuadrante amarillo) del diagrama de Kobe, aunque con RCC4 y MO2 puede caer en la zona colapso (cuadrante rojo) (**Figura 29**)

El desempeño de estas estrategias, relevante para los diferentes actores de la pesquería (pescadores, científicos y administradores pesqueros) se resumen en **Tabla 9**. Desde el enfoque de la conservación y en el contexto actual (MO1), el riesgo de sobreexplotación es moderado ($0.50 < p < 0.70$) para todas las RCC, excepto para RCC4. En cuanto al riesgo de colapso, este alcanzaría ~20%, excepto en RCC4 donde supera el 40% ($p=0.44$). El mayor riesgo asociado a la sobrepesca ($F > Frms$) se presentaría con RCC2 y RCC4, con probabilidades cercanas al 80%, y alrededor del 50% en RCC1 y RCC3. Bajo MO2, se obtendrían los peores desempeños, con alta probabilidad de sobreexplotación y colapso, además de baja ocurrencia de encontrarse en la zona verde del diagrama de Kobe. Estos resultados evidencian la fuerte influencia de los escenarios ambientales de productividad (MO) en el desempeño de las Reglas de Control de Captura (RCC).

(**Tabla 9**). En un diagrama de red se resume el desempeño de las RCC a través de las distintas variables operacionales (**Figura 30**). Al igual que en la pesquería industrial, en la mayoría de los casos, los máximos puntajes obtenidos para las variables de desempeño correspondieron a la RCC1 particularmente en las condiciones MO1 y MO2, mientras que en condiciones favorables MO3 destaca la RCC3 como la más recurrente (**Figura 31**). A nivel de desempeño individual por variable, los resultados muestran que las de mayor puntuación correspondieron al menor esfuerzo de pesca y reducción de los eventos de colapso, mientras que las de más bajo puntaje fueron la estabilidad de las capturas y el estado de salud (Kobe verde) del recurso (**Figura 32**).

En condiciones promedio (MO1), todas las RCC registran similares tallas promedio y solo las RCC1 y 3 se aproximan a los máximos puntajes para cada variable. En ese escenario las RCC2 y 4 presentan el desempeño más bajo. Lo anterior se repite en condiciones tanto de alta como de baja productividad, siendo la talla promedio la variable menos afectada. Esto último estaría explicado en el hecho del control ejercido sobre la mortalidad por pesca (esfuerzo pesquero) lo cual y a través de las distintas RCC, reduce los episodios de sobrepesca y sobreexplotación sostenidos en el tiempo que pudieran hacer disminuir la sobrevivencia de los individuos más grandes y longevos. En los últimos años, se obtendrían una alta variabilidad tanto en la biomasa relativa ($B/Brms$) como en la mortalidad por pesca ($F/Frms$) (**Figura 33**). La mortalidad (esfuerzo de pesca) se mantendría cerca del valor de referencia ($Frms$), sin embargo, para RCC4, tiende a ser más alta en los últimos trimestres superando el valor de referencia, para todos los modelos operativos. Caso contrario ocurría con la biomasa, la cual tiende a estar ligeramente por debajo del valor de referencia ($Brms$) para MO1. En el caso de MO, todas cae por debajo de $Brms$. Bajo MO3, la biomasa permanece por encima de $Brms$ (**Figura 33**). Con referente a las capturas, para todas las RCC de MO1, estarían ligeramente por debajo del valor de referencia (RMS), salvo RCC 4, donde la capturas sería similar al valor de referencia. Para MO2, los resultados de las diferentes RCC, evidencian que las capturas estarías por debajo del valor de referencia (**Figura 33**). Contrario a esta situación se evidencia con MO3, las capturas se mantendrían por encima de RMS .

A manera de resumen, el puntaje promedio total de todas variables por RCC muestra que, independientemente del MO, la RCC1 (rampa) y RCC3 (esfuerzo constante) son las de mejor desempeño, mientras RCC4 el de puntuación más baja (**Tabla 10**).

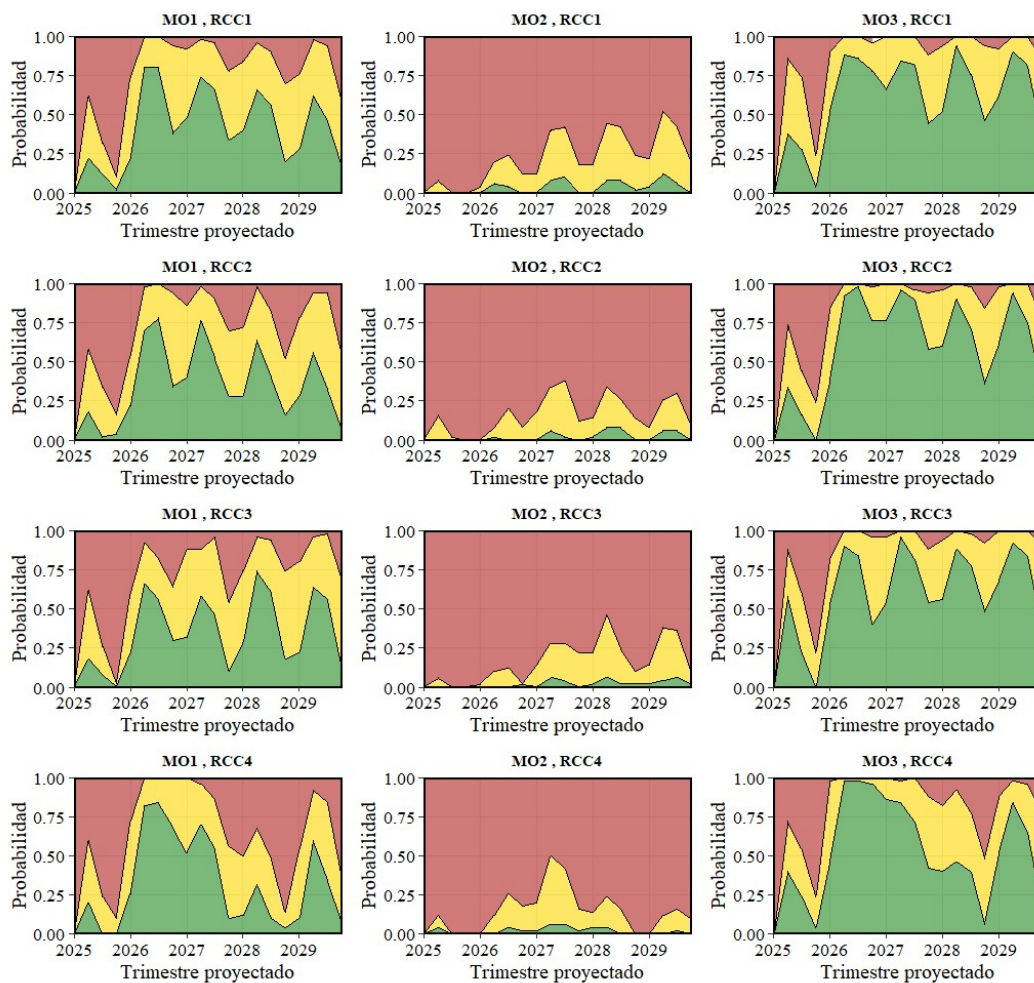


Figura 28. Probabilidad de agotamiento, sobreexplotación y sustentabilidad del camarón capturado por la pesquería artesanal para distintos modelos operativos (MO) y reglas de control de capturas (RCC).

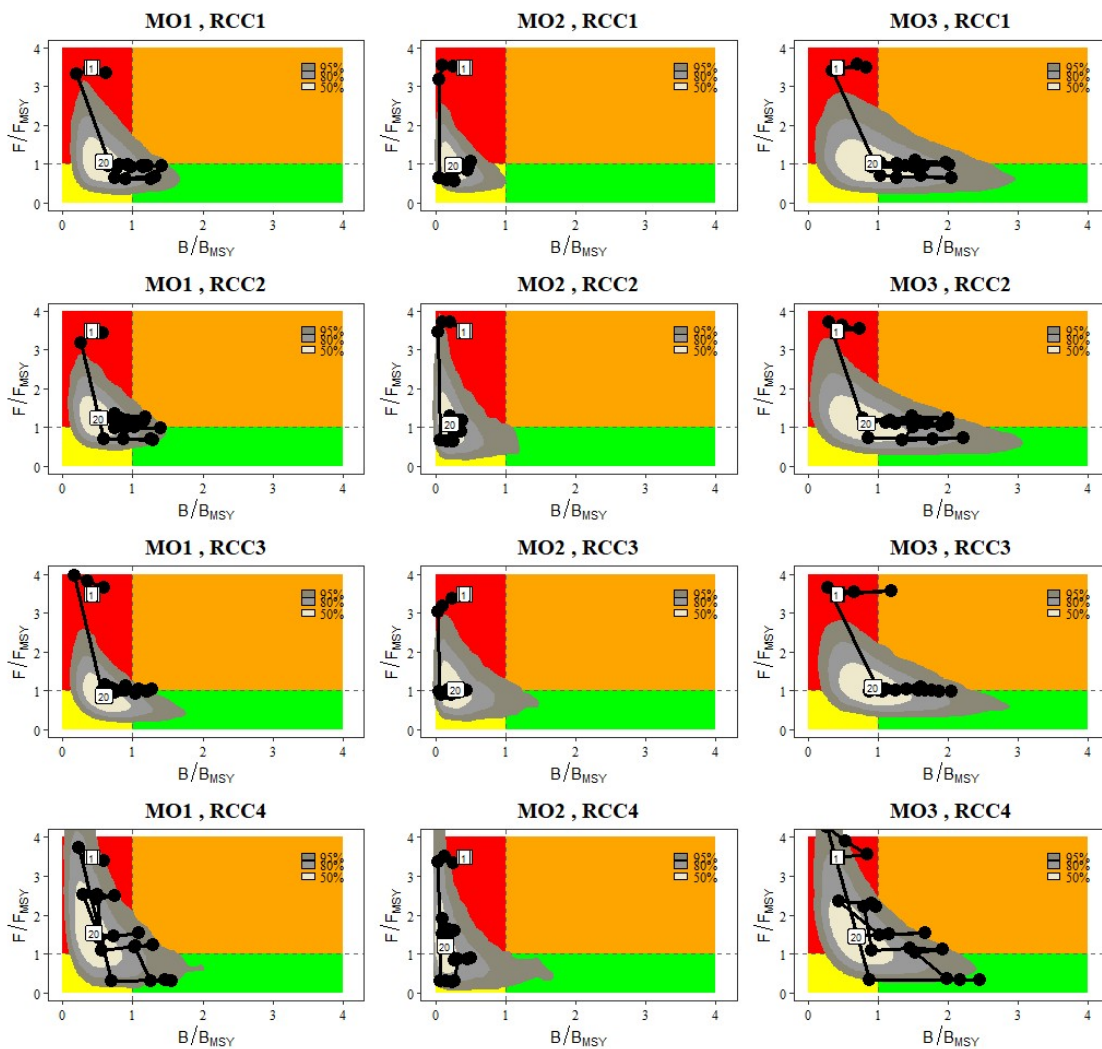


Figura 29. Diagrama de Kobe para la pesquería artesanal del camarón para distintos Modelos Operativos (MO) y Reglas de Control de Capturas (RCC). Las bandas sombreadas representan los intervalos de confianza al 50%, 80% y 95% de las simulaciones.

Tabla 9. Variables de desempeño de las reglas de control de capturas (RCC) para la pesquería artesanal del camarón evaluados bajo distintos modelos operativos (MO) en los últimos 2 años de proyección.

		Riesgo sobrexplot	Riesgo colapso	Riesgo sobrepesca	Prob Kobe- verde	Biomasa relativa a BRMS	Variación relativa del esfuerzo	Captur a relativa	Esfuerz o relativo
MO									
1									
	RCC 1	0.59	0.17	0.46	0.28	1.04	0.33	1.00	1.00
	RCC 2	0.67	0.23	0.75	0.12	0.93	0.32	1.10	1.25
	RCC 3	0.62	0.18	0.51	0.21	0.98	0.36	1.01	1.08
	RCC 4	0.8	0.44	0.85	0.06	0.69	0.56	1.16	2.09
MO									
2									
	RCC 1	0.96	0.69	0.44	0.03	0.42	0.36	0.41	1.03
	RCC 2	0.97	0.81	0.6	0.02	0.34	0.48	0.37	1.17
	RCC 3	0.97	0.75	0.51	0.02	0.37	0.34	0.37	1.06
	RCC 4	0.99	0.88	0.8	0.01	0.25	0.54	0.33	1.71
MO									
3									
	RCC 1	0.35	0.05	0.51	0.37	1.49	0.36	1.53	1.08
	RCC 2	0.35	0.06	0.65	0.27	1.52	0.37	1.69	1.21
	RCC 3	0.32	0.04	0.54	0.34	1.53	0.34	1.59	1.08
	RCC 4	0.56	0.17	0.89	0.08	1.09	0.51	1.83	1.97

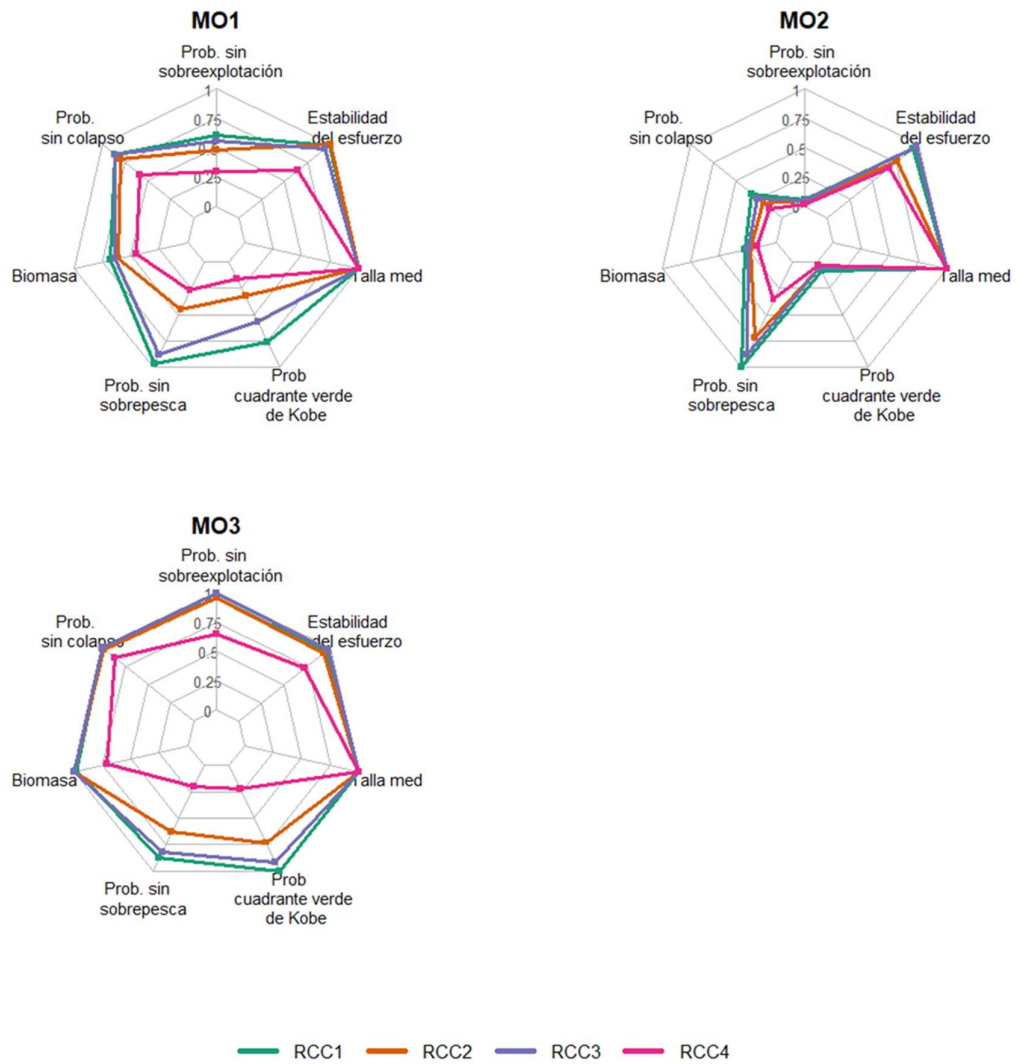


Figura 30. Diagrama de red de las principales variables de desempeño obtenidas de la aplicación de distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos (MO) para la pesquería artesanal de camarón.

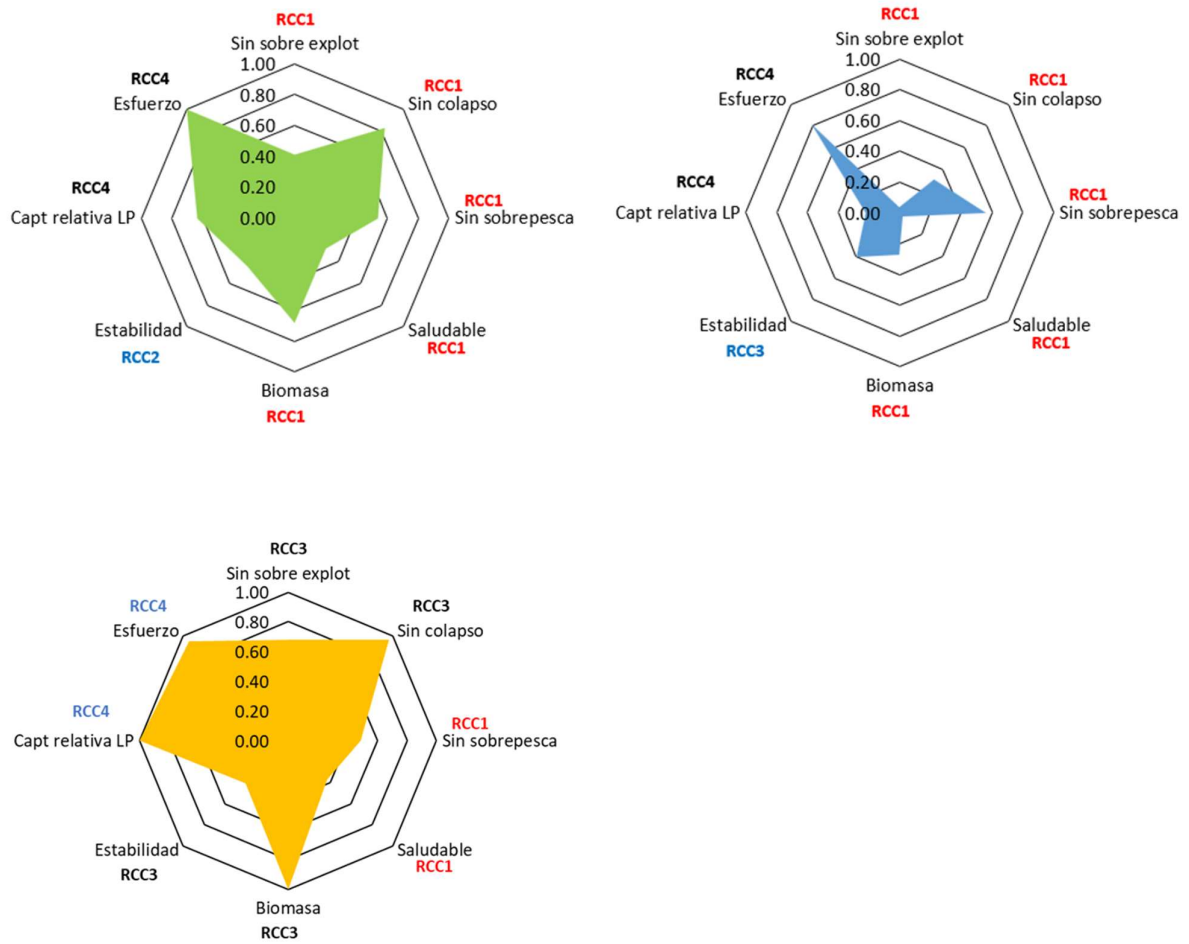


Figura 31. Diagrama de red de los máximos puntajes obtenidos por regla de control de capturas (RCC) para las principales variables de desempeño y modelos operativos (MO), para la pesquería artesanal de camarón

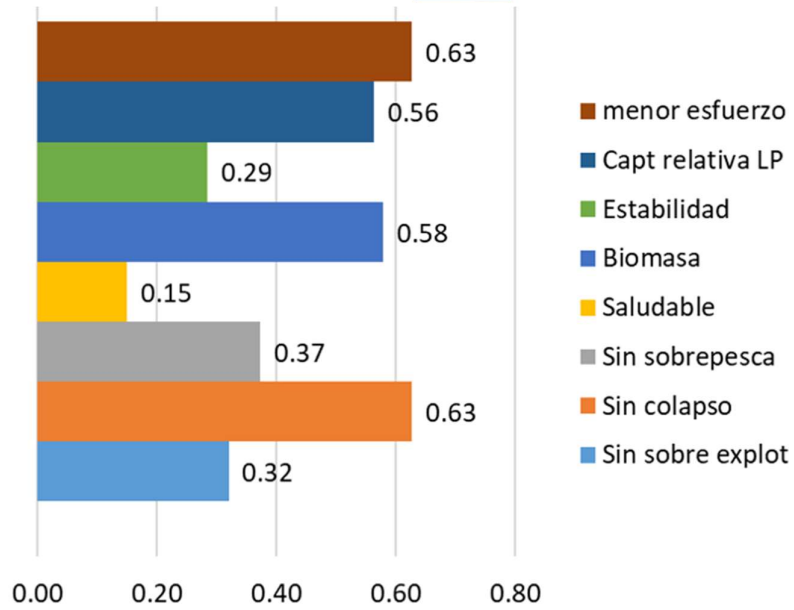


Figura 32. Puntaje promedio obtenido por indicador en la pesquería artesanal de camarón

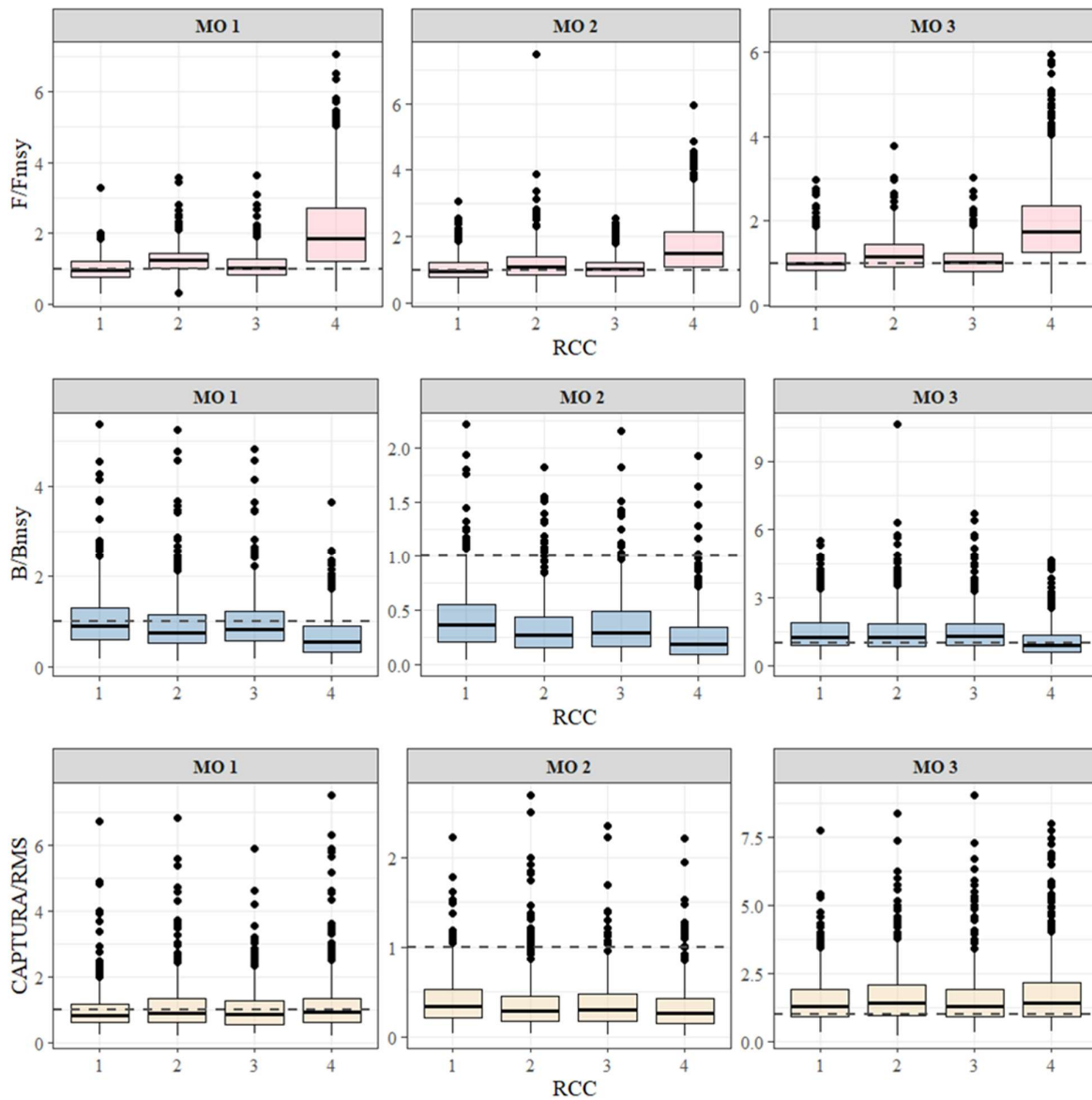


Figura 33. Boxplot del desempeño promedio de largo plazo de B/Brms y F/Frms obtenidas de la aplicación de distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos para la pesquería artesanal de camarón.

Tabla 10. Resumen de los puntajes promedio para distintas reglas de control de capturas (RCC) y modelos operativos de la pesquería artesanal. En color verde más oscuro indica el mejor desempeño relativo a cada RCC.

	MO1	MO2	MO3	Total	Pesq.	Conserv.
RCC1	0.52	0.29	0.64	0.48	0.47	0.49
RCC2	0.46	0.22	0.63	0.44	0.49	0.41
RCC3	0.50	0.27	0.65	0.47	0.48	0.47
RCC4	0.38	0.19	0.53	0.37	0.53	0.27

4.2.3. Elección final de la Regla de Control de Captura para la pesquería del camarón pomada

Los resultados obtenidos fueron expuestos a los usuarios, investigadores y administradores de la pesquería el día 29 de septiembre 2025 en la ciudad de Guayaquil, Ecuador (<https://x.com/PesqueriaEc/status/1973161939292258689>). La reunión tuvo la asistencia de la Vice ministra de Pesca y Acuicultura del Ecuador, a la cual asistieron una treintena de personas. A la instancia se registró una mayoritaria participación del sector artesanal (52%) mientras el sector industrial representó solo el 10% de los asistentes. Una vez discutidas las ventajas y desventajas de cada regla, y mediante votación anónima por medio de formulario de google.drive, la Regla de Control 1 obtuvo la mayoría de las votaciones con un 79% de las preferencias, seguido de la Regla de Control 2 con un 63%. El detalle de la votación se proporciona en Anexos.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio revelan una compleja interacción entre las distintas Reglas de control de capturas (RCC) y las condiciones de productividad y reclutamiento de la población de camarón (modelos operativos). Aunque las RCC tienen un efecto claro sobre la mortalidad por pesca y las capturas anuales, es evidente que algunas presentan ventajas y desventajas en función de los escenarios de productividad representadas por los modelos operativos evaluados y los riesgos de sobreexplotación o colapso de la población.

Pesquería industrial

Para la simulación realizada en la pesquería industrial de camarón, uno de los hallazgos más importantes es que la diferencia entre la talla de madurez (90 mm CL) y la talla de primera captura (110 mm CL) permite un "escape" de reproductores de la población, lo cual reduce el riesgo de colapso, incluso bajo escenarios de sobreexplotación. Este fenómeno destaca la importancia de una gestión adecuada de las tallas de captura, ya que asegura que una fracción de la población se mantenga reproductiva, lo cual es crucial para la sostenibilidad a largo plazo. Como respuesta al manejo del recurso, en todas las RCC la talla promedio fue la variable más puntuada.

Por otro lado, las RCC presentan una variabilidad en la mortalidad por pesca que influye directamente en las trayectorias de la población. En particular, la RCC3 muestra la mayor variabilidad debido a la respuesta más sensible de la mortalidad a la biomasa poblacional, lo cual genera fluctuaciones en las capturas y en la biomasa que podrían poner en riesgo la estabilidad de la pesquería. En cambio, las RCC1 y RCC2, al mantener una mortalidad más controlada en función de la biomasa, resultan en un manejo más precautorio para la población, a pesar de que en algunos casos la biomasa pueda acercarse a niveles críticos bajo escenarios de baja productividad (MO2). Este control más estricto de la mortalidad por pesca podría ser una estrategia preferible en situaciones de incertidumbre, ya que reduce el riesgo de sobreexplotación y favorece una pesquería más sostenible. Cabe destacar que ambas RCC presentan relativo similar desempeño pues la probabilidad de caer en la región de agotamiento es casi nula.

La relación entre los niveles de productividad (MO) y la dinámica poblacional es otro factor clave. En condiciones de baja productividad (MO2 y MO4), es más probable que las poblaciones no alcancen la biomasa de referencia (Brms) aumentando el riesgo de sobreexplotación. Sin embargo, las RCC que permiten un control más fino de la mortalidad por pesca (RCC1 y RCC2) ofrecen mejores perspectivas para evitar escenarios de sobreexplotación, ya que tienden a mantener la biomasa en torno a niveles seguros, en comparación con RCC3, que presenta un mayor riesgo debido a su mayor variabilidad. El bajo desempeño de RCC4 podría deberse entre otros factores, a que la respuesta de control de la mortalidad por pesca no es oportuna ante drásticas reducciones poblacionales.

El análisis de los diagramas de Kobe mostró que, bajo las condiciones actuales de productividad (MO1), la RCC3 es la que presenta mayor riesgo de ubicar la población en la zona roja (agotamiento) del diagrama, lo cual se traduce en el aumento de la probabilidad de caer en escenarios de sobrepesca y sobreexplotación. Este resultado subraya la necesidad de tener una política de manejo que limite la variabilidad en la mortalidad por pesca, algo que RCC3 no logra hacer de manera efectiva. En cambio, RCC1 y RCC2, con un enfoque más conservador en la reducción de la mortalidad, mantienen la biomasa en niveles más seguros, evitando en mayor medida la zona de sobrepesca.

En términos de los desembarques, las RCC1, RCC2 y RCC4 ofrecen un desempeño más estable en cuanto a capturas, con probabilidades de obtener desembarques superiores a las mil toneladas en casi todos los escenarios. No obstante, la RCC3 se caracteriza por una mayor variabilidad en las capturas, lo que podría generar incertidumbre en la pesquería y dificultar la planificación a largo plazo. Sin embargo, el desempeño de RCC3 en términos de evitar escenarios de sobreexplotación es destacable, ya que, aunque las capturas se acercan o superan el umbral de sobrepesca, la población tiende a mantenerse por encima de la biomasa límite, lo que reduce el riesgo de colapso.

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda priorizar estrategias de manejo pesquero que favorezcan un control más estable de la mortalidad por pesca, como las configuraciones RCC1 y RCC2. Estos enfoques no solo son más efectivos para evitar la sobreexplotación, sino que también permiten una mejor recuperación en caso de que la población caiga por debajo de los niveles deseados. RCC3, aunque ofrece cierto beneficio en términos de sostenibilidad,

presenta una mayor variabilidad y riesgos asociados a la sobrepesca, lo cual podría ser contraproducente a largo plazo.

El desempeño de las RCC varía significativamente dependiendo de la configuración de la mortalidad por pesca y los escenarios de productividad y reclutamiento. Mientras que RCC3 muestra un rendimiento superior en términos de sostenibilidad bajo condiciones específicas de productividad, su alta variabilidad y los riesgos asociados con la sobrepesca hacen que RCC1 y RCC2 se presenten como opciones más estables y seguras para la gestión pesquera de camarón. Es crucial considerar la dinámica de la población de este recurso y la capacidad de los sistemas pesqueros para adaptarse a cambios en la productividad y el reclutamiento, de manera que se minimicen los riesgos de sobreexplotación y se asegure la sustentabilidad a largo plazo de los recursos pesqueros.

Pesquería artesanal

Los resultados obtenidos para la pesquería artesanal demuestran que el desempeño de las estrategias de manejo para la pesquería artesanal que emplea bolsos depende fuertemente de los supuestos de productividad condicionados en los modelos operativos. Las Reglas de Control de Captura (RCC) logran ajustar la mortalidad por pesca y las trayectorias de la biomasa, se evidencia que con la combinación de una baja productividad inicial y alta dependencia del reclutamiento con la biomasa causa escenarios críticos con alto riesgo de sobreexplotación o en algunos casos colapso.

En el escenario base MO1, que correspondería a la condición actual del stock, la población se mantendría en niveles inferiores al punto de referencia biológico (Brms), lo que confirma un estado de sobreexplotación y colapso, especialmente bajo RCC4. La situación se pone más alarmante en condiciones de baja productividad (MO2), que asume un menor reclutamiento y una dependencia más marcada entre el reclutamiento y la biomasa, representa la condición más crítica. La biomasa se acerca o incluso cae por debajo de los límites de colapso ($50\%Brms$), con una alta probabilidad ($>70\%$) mostrando que esta especie es muy vulnerable a reducciones en la capacidad reproductiva del stock y mostraría que las estrategias actuales resultarían insuficientes para garantizar la sostenibilidad del recurso. En contraste, MO3 sugiere que, bajo condiciones de un aumento de la productividad con respecto a la actual, las RCC serían capaces

de mantener la población en torno o por encima de Brms, con una mayor probabilidad de recuperación. Este contraste resalta la importancia de reducir las incertidumbres biológicas asociadas al reclutamiento y resiliencia de la población, dado que una gestión bajo escenarios equivocados puede conducir a decisiones inadecuadas.

Con respecto a la mortalidad por pesca, la mayoría de las RCC permitirían mantenerla en torno a Frms, salvo con RCC4 que presenta altos valores y mayor variabilidad interanual. Esto sugiere que reglas menos restrictivas no solo aumenta el riesgo de sobrepesca, sino que genera inestabilidad en el desempeño de la pesquería. En términos generales, los hallazgos indican que RCC1 y RCC3 presentan un mejor desempeño al reducir la probabilidad de sobreexplotación y mantener una condición favorable entre la biomasa y la mortalidad por pesca. Sin embargo, en estos casos el riesgo de caer por debajo de Brms sería significativo bajo los escenarios MO1 y MO2. Una gestión que adopte reglas conservadoras y, al mismo tiempo, promueva medidas que fortalezcan la capacidad natural del recurso para recuperarse, ofrece una ruta más segura hacia la sostenibilidad. Esto no solo incrementa la probabilidad de mantener la biomasa en niveles saludables, sino que también asegura que las comunidades que dependen de esta pesquería artesanal puedan contar con un sustento estable a largo plazo.

Finalmente, los análisis realizados resaltan la importancia de una estrategia de manejo flexible y adaptativa que considere tanto las variaciones en la productividad como la necesidad de mantener un control eficiente sobre la mortalidad por pesca, especialmente en situaciones de incertidumbre o cambios en las condiciones ambientales. En términos globales y para ambas pesquerías, los análisis mostraron que el mejor balance entre objetivos de conservación y pesqueros se registran en la RCC1, regla que además de ser la más votada por los usuarios, fue la más frecuente en los máximos puntajes objetivos en las variables de desempeño independientemente del modelo operativo considerado. Esta regla podría garantizar que ambas pesquerías puedan sostenerse en el tiempo, resguardando no solo el recurso, sino la sostenibilidad de la actividad extractiva comercial.

6. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MANEJO

Considerando aspectos biológicos y de manejo de este importante recurso pesquero, se recomienda que el procedimiento de manejo considere para su implementación lo siguiente:

- a. IPIAP realizará anualmente la evaluación de stock considerando que ambas unidades de manejo corresponden a una misma población. Si bien el conocimiento sobre la dinámica espacial de este recurso es escaso, no se puede desconocer el nivel de conectividad de ambas subunidades, aspecto fundamental para minimizar riesgos para la población y asegurar la sostenibilidad de la actividad pesquera y su gobernanza.
- b. Como objetivo de manejo (Puntos Biológicos de Referencia) relativo a Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) se considera el 40% de la biomasa reproductiva virginal.
- c. La biomasa de referencia (BRMS), la mortalidad por pesca de referencia (FRMS), la mortalidad por pesca promedio actual (Ft) y la biomasa poblacional promedio actual (Bt), deberán ser calculadas por IPIAP a partir de la evaluación de stock antes mencionada.
- d. El número de días de pesca de referencia (DRMS) se calcula como:

$$DRMS = DDP_t / F_t \times FRMS$$

donde DDPt son los días de pesca calculados para el último año de análisis, y Ft la mortalidad por pesca promedio trimestral estimada en la evaluación de stock del último año.

- e. El número de días de pesca (DDP) se calculan considerando el estado poblacional promedio para el año más reciente.
- f. El estado poblacional se determina como el cociente entre la biomasa promedio estimada para el último año (Bt) y la BRMS.
- g. Si este cociente Bt/BRMS es mayor a uno, los días de pesca no se verán afectados, entonces los días de pesca efectivo serán.

$$DDP = DRMS$$

- h. Si este cociente es menor a uno (sobreexplotación), entonces los días de pesca efectivo serán reducidos en base a la fórmula:

$$DDP = DRMS \times B / BRMS$$

- i. Los DDP serán establecidos y anunciados anualmente por la autoridad pesquera.

Ejemplo ficticio

Variable	Valor
FRMS (dato eval stock) (punto c)	0.62
Ft (dato eval stock)	0.75
DDPt (dato de la pesquería)	152 días/año
BRMS (dato eval stock)	1900 t
B (dato eval stock)	1850 t
DRMS (punto d)	$DRMS = 152 / 0.75 \times 0.62 = 125$ días/año
Estado poblacional (punto f)	$B / BRMS = 1850 / 1900 = 0.97 < 1$ Al ser menor a uno, se activa punto g.
DDP	$DDP = 125 * 0.97 = 121$ días/año

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bunnefeld, N., E. Hoshino & E. J. Milner-Gulland. 2011. Management strategy evaluation: a powerful tool for conservation?. *Trends in Ecology & Evolution*. Volume 26, issue 9, p441-447, september 01, 2011. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.05.003>.
- Canales, C.M. A.E. Punt & M. Mardones. 2021. Can a length-based pseudo-cohort analysis (LBPA) using multiple catch length-frequencies provide insight into population status in data-poor situations? *Fisheries Research*, 234: 1-15.
- Francis, R.I.C.C. 1993. Monte Carlo evaluation of risks for biological reference points used in New Zealand fishery assessments. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 120: 221-230.
- Jurado, V.M., D. Chicaiza, C. Canales, 2025. Evaluación de la Población de camarón pomada (*Protrachypene precipua*) del Golfo de Guayaquil, Ecuador. Informe especial. Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, Ecuador. 48 p.
- HollandDS.2010. Management strategy evaluation and management procedures: tolos for rebuilding and sustaining fisheries.
- OECD Food, Agriculture and Fisheries Working Papers, No.25. Paris, France: OECD Publishing. doi:10.1787/5kmd77jhvkjf-en
- ICES. 2020. The third Workshop on Guidelines for Management Strategy Evaluations (WKG MSE3). ICES Scientific Reports. 2:116. 112 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.7627>
- Punt, A., Butterworth, D.S., de Moor, C.L., De Oliveira, J.A.A. and Haddon, M. (2016). Management strategy evaluation: best practices. *Fish and Fisheries*, DOI 10.1111/faf.12104

8. ANEXOS

Anexo 1. Parámetros biológicos del Camarón Pomada (Jurado y Canales, 2025).

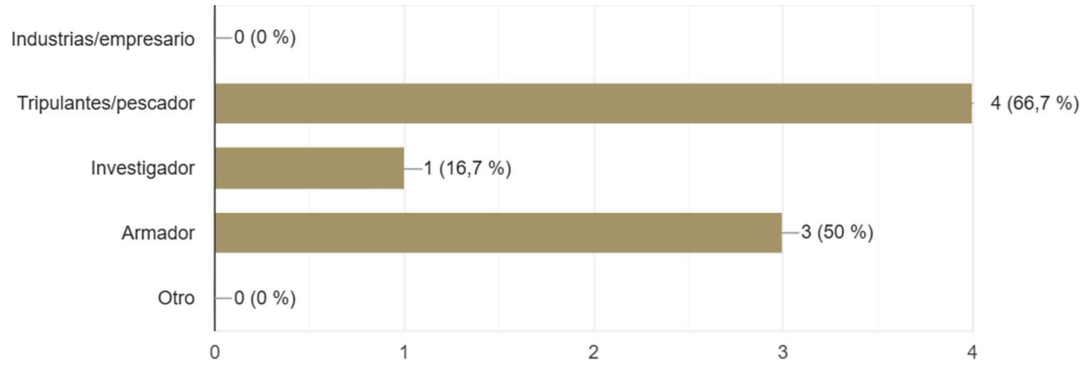
Parámetro	Valor
L _{oo} (cm)	10.3
k	0.38
L _o (cm)	6.5
L ₅₀ madurez (cm)	6.6
L ₉₅ madurez (cm)	8.95
M	0.64
Coef condición (log)	-4.32
Coef alometría	2.92

Anexo 2. Resultado de encuesta realizada en Talleres con usuarios de la pesquería de Camarón Pomada

A que grupo representa ?

[Copiar gráfico](#)

6 respuestas



¿Que significa una buena temporada de pesca ? (indique valores relativos)

6 respuestas

200 gavetas

Q el recurso este a su medida para su debida capturarla pesca es cuando el invierno es malo y no hay producción o valores pequeños

50 gaveta

40 gavetas por bolso \$40 dólares

50 gavetas

40 a 50 gavetas de pomadas

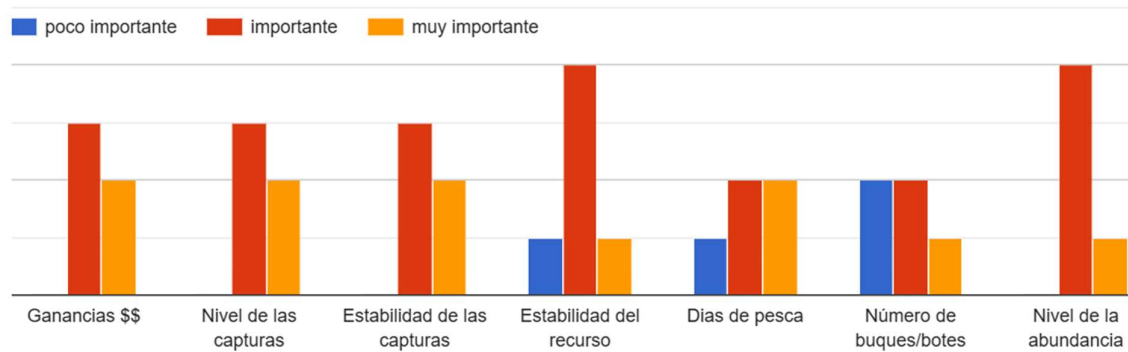
¿Que significa "mala pesca" por la cual decide no salir a pescar? (indique valores relativos)

6 respuestas

- 1 o 2 gavetas
- Menor a 3 gavetas
- 5 gaviotas
- Precio por los suelos \$5 por gavetas
- 1
- La vedas entre 10 a 5 dólares la gaveta

¿Que aspecto es lo mas importante en la pesca del camarón ?

[Copiar gráfico](#)



¿Que cambios o mejoras desearía ver en la pesquería del camarón ?

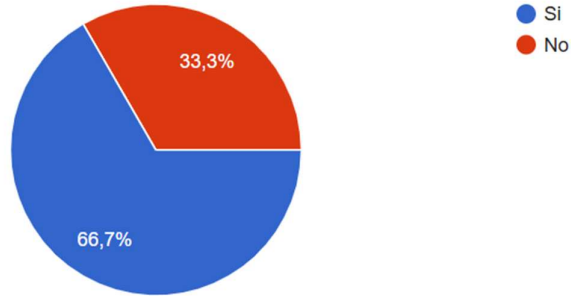
6 respuestas

- Que la veda se mantenga desde 15 de febrero asta el abril de cada año
- Mejor control x la autoridad pesquera
- Más controles
- Que las autoridades estén presente en zonas
- Organizacion
- No hay ningún cambio

¿Pescharía menos a cambio de tener una pesquería mas estable y segura?

[Copiar gráfico](#)

6 respuestas



¿Que hacen cuando siente que la abundancia está disminuída ?

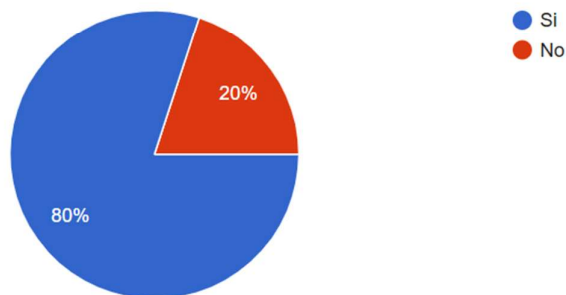
5 respuestas

- Auto veda
- Se dejar descansar el recurso para que haya produccion
- Se aprovecha la temporada y se descansa cuando se está agotando .
- Retiro de bolsones
- Buscar otro método xq no hay pesca

¿Cambiarían su estrategia de manejo si supiera que el recurso está disminuyendo?

[Copiar gráfico](#)

5 respuestas



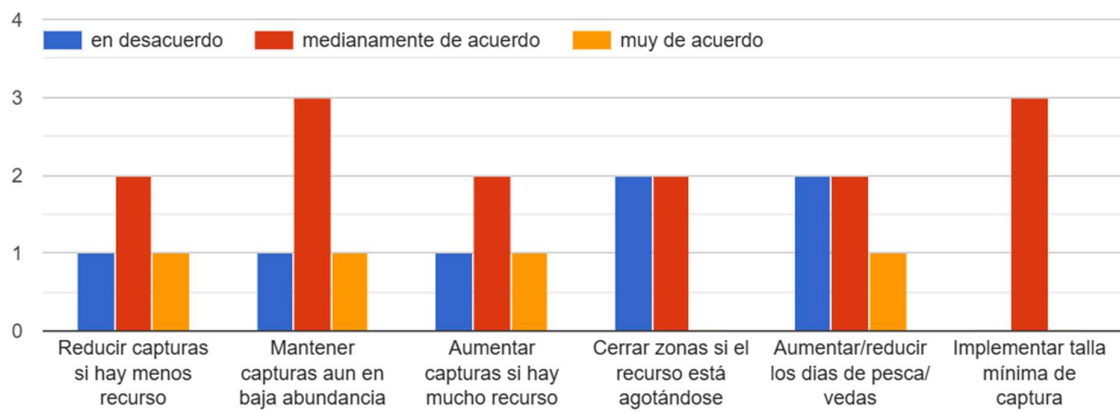
¿Qué tipo de medidas de manejo cree que ayudan a conservar el recurso?

5 respuestas

- La veda y auto vedas
- El manejo de las vedas hagan un estudio bueno
- Proibir flota changuera en zonas .
- Vedas
- Que no haya la changa

¿Qué tipo de acciones de manejo se deberían implementar?

[Copiar gráfico](#)

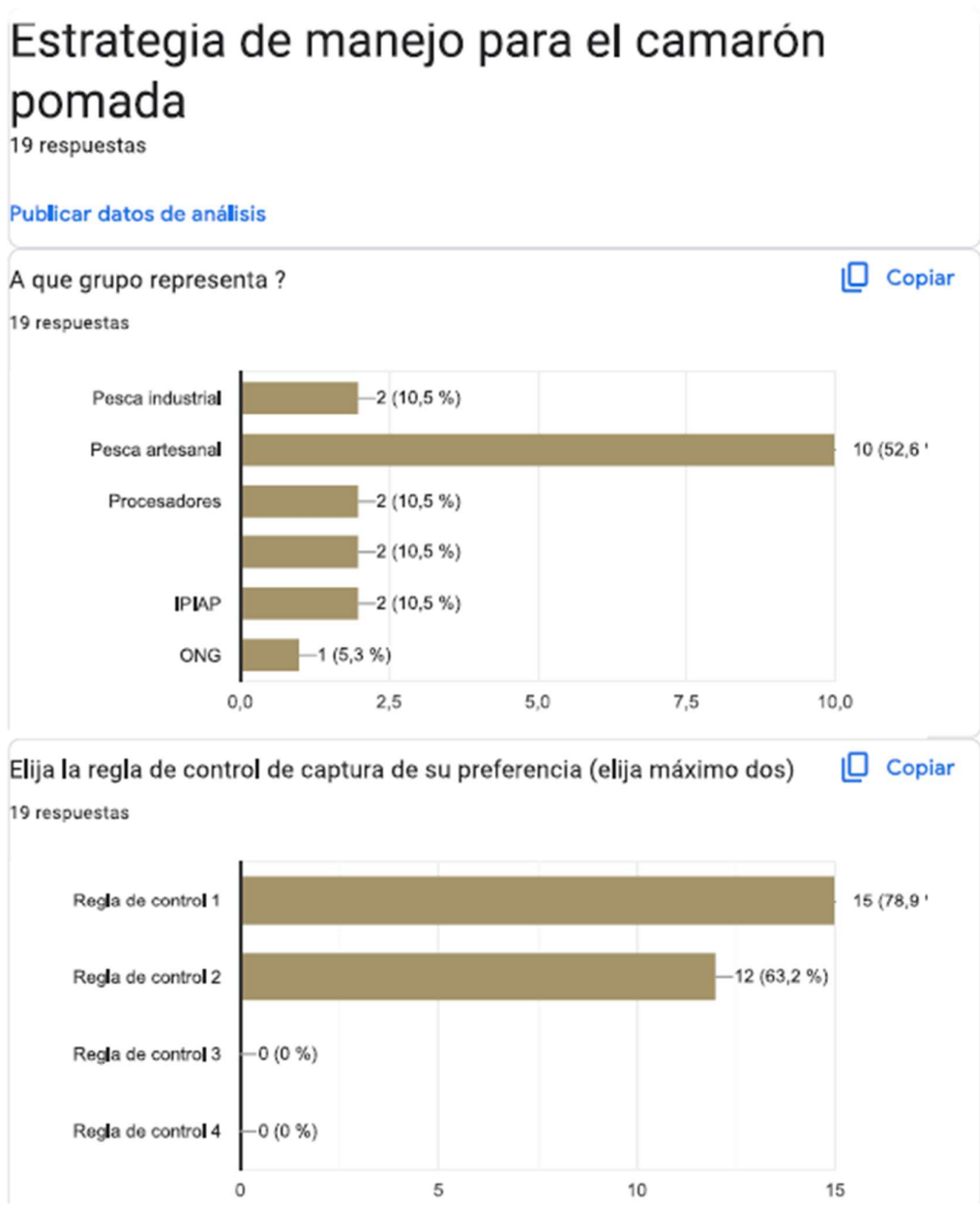


¿Qué aspectos “no controlables” afectan negativamente a la pesquería? (ej. lluvias, mareas, precios....)?

4 respuestas

- Precio
- Temperatura fria

Anexo 3. Resultado de encuesta realizada en la elección de la Regla de Control de Capturas



Anexo 4. Scripts del modelo operativo principal

```

rm(list=ls())

source('read.admb.R')
source('read.admbFit.R')
source('por_recluta_r.R')
source('funciones.R')

#Se debe separar el archivo.dat del mestockt.ct1

name="camaron" #archivo para correr el modelo de evaluación

# MCMC (solo realizar si mcmc.csv ni for_R0.rep no ha sido creado)
# system(paste('mestockt -ind ',name,'.dat -nox -mcmc 10000 -mcsave 100 -
mcscale 0.1',sep=""))
# shell('copy for_R.rep for_R0.rep') # guardo el reporte original
# shell('copy mcmc.csv mcmc0.csv') # guardo el reporte original

# Lee archivo MCMC base-----
mcmc0 <- read.csv("mcmc0.csv", header = TRUE,sep=",",dec = ".")

# Lee los archivos de la última evaluación para condicionar MO-----
----
data <-read.rep('for_R0.rep')
attach(data)

#estacionalidad de los reclutamientos
devR0=c(mean(Dev_log_R[seq(1,80,4)]),mean(Dev_log_R[seq(2,80,4)]),mean(Dev_lo
g_R[seq(3,80,4)]),mean(Dev_log_R[seq(4,80,4)]))
devF=c(mean(Mort_F[1,][seq(1,80,4)]),mean(Mort_F[1,][seq(2,80,4)]),mean(Mort_
F[1,][seq(3,80,4)]),mean(Mort_F[1,][seq(4,80,4)]))
devY=c(mean(Desembarques[1,][seq(1,80,4)]),mean(Desembarques[1,][seq(2,80,4)
]),mean(Desembarques[1,][seq(3,80,4)]),
      mean(Desembarques[1,][seq(4,80,4)]))

# par(mfrow = c(2,1))
#      barplot(devF~c(1,2,3,4),xlab="Trimestre",main="Mortalidad          por
pesca",ylab="F")
#
# barplot(devY~c(1,2,3,4),xlab="Trimestre",main="Desembarque",ylab="toneladas")
#
#
# par(mfrow = c(2,2))
# plot(mcmc0$log_L50[4000:12000],type="l",ylab="log L50",main="log L50")
# plot(mcmc0$log_sigmal[4000:12000],type="l",ylab="log s1",main="log s1")
#      plot(mcmc0$log_qflo[4000:12000],type="l",ylab="log          omega",main="log
Capturabilidad")

trim=rep(c(1,2,3,4),100) # vector que identifica el numero del trimestre

ysim=20 #periodos a proyectar
nrep=200 #numero de simulaciones
# Tipo de MSE (1: Full,..2: Short)
Op_MSE=2

#Errores y escenarios-----
cv_est=0.2018 #error de estimación para el short-cut
sesgo=0 #0.18 #sesgo en la estimacion para el short-cut
cvr=0.87 # error proceso del reclutamiento
cv_impl=0.4 #error de implementación

```

```
target=0.4
cv_camp=0.3
cv_cpue=0.2
```

```
B0=B0_R0_alfaSR_betaSR[1]
R0=B0_R0_alfaSR_betaSR[2]
M=Loo_k_Lo_alfa_beta_M_h_dt[6]
h0=Loo_k_Lo_alfa_beta_M_h_dt[7]
dt=Loo_k_Lo_alfa_beta_M_h_dt[8]
PesoL=Peso_edad
mseX=Madurez_edad
Tmax=length(PesoL)
```

```
matBIO=matrix(0,nrep,ysim)
matBIOest=matrix(0,nrep,ysim)
matBIOsc=matrix(0,nrep,ysim)
matCAP=matrix(0,nrep,ysim)
matF=matrix(0,nrep,ysim)
matR=matrix(0,nrep,ysim)
matL=matrix(0,nrep,ysim)
matCPUE=matrix(0,nrep,ysim)
```

```
Bio=rep(0,ysim)
Best=rep(0,ysim)
Best_e=rep(0,ysim)
Y=rep(0,ysim)
Fref=rep(0,ysim)
Freal=rep(0,ysim)
r=rep(0,ysim)
Lmed=rep(0,ysim)
CPUE=rep(0,ysim)
```

```
N0=N[length(Yrs),]
Sel0=Sel_f[length(Yrs),]
Fmort0=Mort_F[1,length(Yrs)]*Sel0
Z0=Fmort0+M
```

```
#-----
#condiciones del modelo operativo
for (mo in 1:3) {

  listaMO=setMO(mo)

  #-----
  # Relación S/R

  h=listaMO$h
  mR0=listaMO$mR0

  alfa=4*h*R0/(5*h-1);
  beta=(1-h)/(5*h-1)*B0;

  for (l in 1:4) { #reglas
    #-----
    #tipo de regla
    #1: rampa, 2:Flineal, 3:Fcte, 4:Potencial decreciente
    #-----

    for (k in 1:nrep) {

      print(c(mo,l,k))

      N=N0 # reinicio valores
```

```

Sel=Sel0
Fmort=Fmort0
Z=Z0
Bio[1]=sum(N0*PesoL*msex*exp(-dts*Z))
Best[1]=exp(0.2048)*Bio[1]^0.955*exp(rnorm(1,0,cv_est))
#Bio[1]*exp(rnorm(1,sesgo,cv_est))
Best_e[1]=Best[1]
Y[1]=sum(N0*Fmort0/Z0*(1-exp(-Z0))*PesoL)
CPUE[1]=mean(exp(mcmc0$log_qflo[5000:10000]))*sum(N*PesoL*Sel*exp(-
0.5*Z))*exp(rnorm(1,0,cv_cpue))
Fref[1]=Mort_F[1,length(Yrs)]
r[1]=Reclutamientos[2,length(Yrs)]
ypr_out<-por_recluta_r(Tmax,Sel0,Madurez_edad,Peso_edad,target,h0,M,dt)
Ftar=ypr_out$Ftar
RMS=ypr_out$YPRtar*R0
BRMS=ypr_out$BPRtar*R0
CPUErms=mean(exp(mcmc0$log_qflo[5000:10000]))*ypr_out$BETar*R0
flag=0

Lmed[1]=sum(Frecs_capt_obs[length(Frecs_capt_obs[1,]),]*Tallas)/sum(Frecs_capt_obs[length(Frecs_capt_obs[1,]),])

# datos originales para luego agregarles datos simulados y dejarlos en
.dat
mdatos=data.frame(Yrs=data$Yrs, Y=data$Desembarques[1,], cvy=0.05,
CPUE=data$CPUE[1,],cv=0.2,Camp=0,cv=10,nmf=50,nmc=0)
mcap=Frecs_capt_obs
mcamp=Frecs_srv_obs
yrs_tallasf=Lmed_flo[1,]
yrs_tallasf=Lmed_srv[1,]

for (i in 2:ysim) {

  if(i<3){Rpred=R0*exp(devR0[trim[i]]+rnorm(1,0,cvr)-0.5*cvr^2)}
  if(i>=3){Rpred=mR0*alfa*Bio[i-1]/(beta+Bio[i-1])*exp(devR0[trim[i]]+rnorm(1,0,cvr)-0.5*cvr^2)}

  r[i]=Rpred

  N[2:Tmax]=N[1:Tmax-1]*exp(-Z[1:Tmax-1])
  N[Tmax]=N[Tmax]/(1-exp(-Z[Tmax]))

  N[1]=Rpred

  # REGLA DE CONTROL-----
  --

  Fref[i]=Fref[i-1]

  if(flag==1 && i>=5){

    Fref[i]=Fregla(1,Ftar,Bcurr,BRMS)} #defino F a partir de la regla y
la biomasa estimada en t-1
    Fref[i]=Fref[i]*devF[trim[i]]/mean(devF)*exp(rnorm(1,0,cv_impl)) #
sumo el error de implementación y distribución trimestral

    nale=round(runif(1,5000,10000)) #muestreo parámetros desde MCMC para
generar selectividad (se debe realizar MCMC antes)
    L50f=exp(mcmc0$log_L50[nale])
    slf= exp(mcmc0$log_sigma1[nale])
    s2f= exp(mcmc0$log_sigma2[nale])
    qf=exp(mcmc0$log_qflo[nale])

```

```

L50c=exp(mcmc0$log_L50c[nale])
slc= exp(mcmc0$log_sigma1c[nale])
s2c= exp(mcmc0$log_sigma2c[nale])
qc=exp(mcmc0$log_qcru[nale])

Sel=exp(-0.5*(L_edad-L50f)^2/s1f^2)
ubi=which(L_edad>=L50f)
Sel[ubi]=exp(-0.5*(L_edad[ubi]-L50f)^2/s2f^2)

Selc=exp(-0.5*(L_edad-L50c)^2/s1c^2)
ubi=which(L_edad>=L50c)
Selc[ubi]=exp(-0.5*(L_edad[ubi]-L50c)^2/s2c^2)

Fmort=Fref[i]*Sel

Z=Fmort+M
Bio[i]=sum(N*PesoL*msex*exp(-dts*Z))
Y[i]=sum(N*Fmort/Z*(1-exp(-Z))*PesoL)
TAC=Y[i]

#observaciones
Bcamp=qc*sum(N*PesoL*Selc*exp(-0.5*Z))*exp(rnorm(1,0,cv_camp))
#campañas
CPUE[i]=qf*sum(N*PesoL*Sel*exp(-0.5*Z))*exp(rnorm(1,0,cv_cpue)) #CPUE
Ncru=N*Selc*exp(-0.5*Z) #comps edad campañas
C=N*Fmort/Z*(1-exp(-Z)); #comps edad capturas

Ntalla=t(Prob_talla)%*(Ncru) #comps talla campañas
Ctalla=t(Prob_talla)%*(C) #comps talla campañas

nmf=300
nmc=250

#proporción a la talla
pfC=rmultinom(1, nmf, Ctalla/sum(Ctalla))/nmf # muestreo con error
multinomial capturas
pfN=rmultinom(1, nmc, Ntalla/sum(Ntalla))/nmc # muestreo con error
multinomial campañas

Lmed[i]=sum(pfC*Tallas)/sum(pfC)

#acumulando la matriz de datos antes de imprimir
mdatos=rbind(mdatos,c(max(Yrs)+i-1, round(TAC), 0.05,
round(CPUE[i],3), 0.2, 0, 10, 50, 0))
mcap=rbind(mcap,t(pfC))
yrs_tallasf=c(yrs_tallasf,max(mdatos[,1]))
yrs_tallasf=1

Best_e[i]=exp(0.2048)*Bio[i]^0.955*exp(rnorm(1,0,cv_est))
#Bio[i]*exp(rnorm(1,sesgo,cv_est)) #emulación modelo de evaluación
Best[i]=Best_e[i]

flag=0
if(abs(i/4-round(i/4))<1e-10){ # estimación cada 4 trimestres

    Bcurr=mean(Best[seq(i-3,i)])

    if(Op_MSE==1){

        #imprimo datos para el modelo de estimación
        source('imprimedat.R')

        #ejecuto modelo de estimación y leo resultados
    }
}

```

```

        system(paste('mestockt -ind ',paste("datos_sim",i,".dat -nox -
nohess",sep="")),show.output.on.console = FALSE)
        shell(paste('copy for_R.rep', ' for_R',i,'.rep',sep="")) # guardo
el reporte original
        aux <-read.rep(paste('for_R',i,'.rep',sep=""))
        Best[i]=aux$Biomasa_desovante[1,length(Biomasa_desovante[1,])]
#estimación
        Bcurr=mean(aux$Biomasa_desovante[1,seq(i-3,i)])
    }

    flag=1 # nueva estimación para accionar la regla
}

} #fin ciclo tiempo

matBIO[k,]=Bio
matBIOest[k,]=Best
matBIOsc[k,]=Best_e
matCAP[k,]=Y
matF[k,]=Fref
matR[k,]=r
matL[k,]=Lmed
matCPUE[k,]=CPUE

} #fin replicas

save.image(paste("MO_",mo,"Regla_",l,"MSE",Op_MSE,".RData",sep=""))

} #fin reglas

} #fin ciclo modelo operativo

plot(matBIO[1,],type="b",lwd=2)
lines(matBIOest[1,],col="red")
lines(matBIOsc[1,],col="blue")

plot(Best_e,type="b",ylim=c(0,max(Best,Bio,Best_e)))
lines(Best,col="red")

```

Anexo 5. Script de “funciones.r” que contiene procesos varios

```

# conjunto de funciones varias-----

# Error cuota2 global
error_cuota=function(data,Fmort){
    x=(Fmort)
    f=x*s
    z=f+m
    C=f/z*n*(1-exp(-z))*Peso
    fun=(sum(C)-TAC)^2
    return(fun)
}

# Regla de control

```

```
Fregla=function(l,Ftar,Best,BRMS){

  if(l==1){ #rampla sin veda
    Fref=Ftar*min(c(l,Best/BRMS))
  }

  if(l==2){ #F lineal
    Fref=Ftar*Best/BRMS
  }

  if(l==3){ #Fcte
    Fref=Ftar
  }

  if(l==4){ #potencial decreciente
    Fref=Ftar*(Best/BRMS)^0.5
  }

  return(Fref)
}

# Settings modelo operativo

setMO=function(mo){

  if(mo==1){
    mR0=1
    h=1.0
    sesgo=0}

  if(mo==2){
    mR0=0.65
    h=0.7
    sesgo=0}

  if(mo==3){
    mR0=1.52
    h=1.0
    sesgo=0}

  listaMO=list(mR0=mR0,h=h,sesgo=sesgo)

  return(listaMO)
}
```

Anexo 6. Script de la función por_recluta_r para el cálculo de PBR

```

por_recluta_r<-function(Tmax,Sel,Madage,Wage,tar,h,M,dt){

  age=c(1:Tmax)

  N=seq(1,Tmax)
  N0=N
  Ntar=N
  Ctar=N

  Fcr=seq(0.001,5*M,0.01)
  Eprom=Fcr
  B=Fcr
  BE=Fcr
  Y=Fcr
  R=Fcr

  # Calcula B0
  for (i in 2:Tmax) {

    N0[i]=N0[i-1]*exp(-M)
  }
  N0[i]=N0[i]/(1-exp(-M))
  B0=sum(N0*Madage*Wage*exp(-dt*M))
  alfa=4*h/(5*h-1);
  beta=(1-h)/(5*h-1)*B0;
  aux=0

  for (j in 1:length(Fcr)) {

    F=Fcr[j]*Sel
    Z=F+M

    for (i in 2:Tmax) {

      N[i]=N[i-1]*exp(-Z[i-1])
    }
    N[i]=N[i]/(1-exp(-Z[i]))

    C=N*F/Z*(1-exp(-Z))

    B[j]=alfa*sum(N*Madage*Wage*exp(-dt*Z))-beta
    R[j]=alfa*B[j]/(beta+B[j])
    Y[j]=R[j]*sum(C*Wage)
    BE[j]=sum(N*Sel*Wage*exp(-0.5*Z))

    if (B[j]/B[1]>0.99*tar){Ftar=Fcr[j]
    BPRtar=B[j]
    YPRtar=Y[j]
    BETar=BE[j]
    }

    if (Y[j]>aux){
      BRMS=B[j]
      YRMS=Y[j]
      FRMS=Fcr[j]
    }

    aux=Y[j]

  }
}

```



```
outputs=list(Fcr=Fcr, B=B, Y=Y, Ftar=Ftar, BPRtar=BPRtar, YPRtar=YPRtar,  
            FRMS=FRMS, BRMS=BRMS, YRMS=YRMS, BEtar=BEtar)  
  
return(outputs)  
  
}
```

Anexo 7. Scripts del modelo operativo principal pesquería artesanal

```

# Cargar paquetes
library(ggplot2)
library(MASS)
#library(ciTools)
library(gridExtra)
#library(spatstat)
library(coda)
library(parallel)
library(foreach)
library(doParallel)
library(gplots)
library(mvtnorm)
library(openxlsx)
library(LBPA)
library(patchwork)
library(dplyr)
library(tidyr)
library(readxl)

# Borrar el entorno
rm(list=ls())
# Borrar gráficos
while (dev.cur() > 1) {
  dev.off()
}
# Limpiar la consola en RStudio
cat("\014")

rm(list=ls(all=TRUE)) # erasure all objects
#system('./LBPA -ind lbpa_bolsones.dat') # for model running

Archivo="lbpa_bolsones"
opcion_Model=2
if(opcion_Model==1){
system(paste0('./LBPA -ind ',Archivo,'.dat')) # for model running admb model builder
}
if(opcion_Model==2){
  D=LBPA_fits(paste0(Archivo,".xlsx"), graph_opt=T, save_opt=F)##### codigo R
}

source('read.admb.R')
source('read.admbFit.R')
source("error_cuota.r")
source('Setting Modelos operativos.R')

##### ejecuta el LBPA #####
#name="lbpa_Caranx crysos.xlsx"
#D=LBPA_fits(paste0(name), graph_opt=F,save_opt=F)

#####información pesquera#####
Capini <- 500 # toneladas
Esfact <- 365 # días del año

#####
Year <- 5 # años a proyectar
Repli <- 50# número de replicas

#####Escenarios#####

```

```
# Valores posibles de parámetros
#h_values <- c(0.7, 1.0) # los h que quieras
ind <- c(2) # 0=Fconst, 1=CPUE, 2=LBPA
reg_values <- c(1, 2,3,4) # 1=rampla, 2=lineal
med <- c(1) # 1=esfuerzo, 2=captura
#mR0=0.5 ### escala de los reclutamientos
devR0=c(-0.03826294, 0.52513330, 0.06083183, -0.53809750)
#devR0=c(1,1,1,1)
sin_CV=1
b <- 0.5 #
Factor_M="No"
LiM <- 0.8
LsM <- 1

##### DESVIACIONES ERROR DE PROCESO Y OBSERVACIONES#####
#nr <- 600 # selectividad flota en una multinomial

if(sin_CV==0){
  cv_r <- 0
  cv_F <- 0
  cv_CPUE <- 0
}
if(sin_CV==1){
  cv_r <- 0.6 # Reclutamiento
  cv_F <- 0.2 # Mortalidad por pesca
  cv_CPUE <- 0.2 # CPUE
}
#####
#ruta <- "G:/Otros ordenadores/Mi Portatil (3)/Jesus/Modelo operativo en R"
Total_trimestres <- Year * 4
SPR<-rep(NA,Year)
#Fcr<-rep(NA,Year)
Fcr <- numeric(Total_trimestres)
CBA<-rep(NA,Year)

source("Setting_LBPA.R")

ftall2=ftall

if(opcion_Model==2){
  ftall=t(ftall)
}
nr=round(mean(rowSums(ftall)),0)
#####

# NUEVAS estructuras trimestrales para dinámica poblacional

Fa_tr <- matrix(0, Total_trimestres, Nedades)
Z_tr <- matrix(0, Total_trimestres, Nedades)
N_tr <- matrix(0, Total_trimestres, Nedades)
R_tr <- numeric(Total_trimestres)
C_tr <- matrix(0, Total_trimestres, Nedades)
Ct_tr <- matrix(0, Total_trimestres, Ntallas)
Dtal_tr <- matrix(0, Total_trimestres, Ntallas)
Y_tr <- numeric(Total_trimestres)
BD_tr <- numeric(Total_trimestres)
SPR_tr <- numeric(Total_trimestres)

Dtalla_tr <- matrix(0, Total_trimestres, Ntallas)
Bexp_tr <- rep(NA,Total_trimestres)
```

```

Bt_tr <- rep(NA,Total_trimestres)
TC_tr<- rep(NA,Total_trimestres)

# Para registrar F anual calculado
#Fcr_anual <- numeric(Year)

Fa <- matrix(0, Year, Nedades)
Z <- matrix(0, Year, Nedades)
N <- matrix(0, Year, Nedades)
C <- matrix(0, Year, Nedades)
Ct <- matrix(0, Year, Ntallas)
Ct2 <- matrix(0, Year, Ntallas)
Dtal <- matrix(0, Year, Ntallas)
Dtalla <- matrix(0, Year, Ntallas)
BD <- rep(NA,Year)
Bexp <- rep(NA,Year)
Bt <- rep(NA,Year)
Y <- rep(NA,Year)
Nini <- numeric(Nedades)
R <- numeric(Year)

CPUEproy <- matrix(NA,Repli,Total_trimestres)
BDproy<- matrix(0, Repli, Total_trimestres)
Beproy <- matrix(0, Repli, Total_trimestres)
Yproy <- matrix(0, Repli, Total_trimestres)
Fcrproy <- matrix(0, Repli, Total_trimestres)
Mproy <- matrix(0, Repli, Total_trimestres)
Nproy <- matrix(0, Repli, Total_trimestres)
RPDproy <- matrix(0, Repli, Total_trimestres)
Ctproy<-array(0, dim = c(Total_trimestres,Ntallas,Repli))
Matrizt<-matrix(data=NA, nrow = 12, ncol = 1)
TCproy<-matrix(0, Repli, Total_trimestres)

#####calculo de Puntos de referencia#####
q <- Fcr_0/Esfact
E40 <- F40 / q
BE40 <- (YPR40/F40)*R0
CPUE40 <- q*BE40
RMS <- YPR40*R0#/1e6

##### CONDICION VIRGINAL#####
No<- R0
for (i in 2:Nedades) {
  No[i] <- No[i-1] * exp(-Mo) # abundancia
}
No[Nedades] <- No[Nedades] / (1 - exp(-Mo))

BE0 <- sum(No * Wmed * Sel * exp(-dt * Mo)) #/ 1e6
BD0 <- sum(No * Wmed * Mad * exp(-dt * Mo)) #/ 1e6
Btini <- sum(No * Wmed)# / 1e6
BDRMS <- SPR40 * BD0
#BERMS <- SPR40 * BE0
#CPUE40b <- q * BERMS
BERMS=BE40
CPUE40b=CPUE40
# inicia el proceso acá para darle aleatoriedad a los parametros biológico

# Lista para guardar resultados
resultados <- list()

```

```

plots_kobe <- list()
plots_CPUE <- list()
plots_BD <- list()
plots_Fcr <- list()
plots_N <- list()
plots_Y <- list()
plots_BE <- list()
plots_F_Fmsy <- list()
plots_B_Bmsy <- list()
plots_prob_B_Bmsy <- list() # Lista para guardar gráficos de probabilidades
plots_TCproy <- list()
plots_prob_Cmed <- list()
# Bucle de todas las combinaciones

for (mo in 1:3) {

listaMO=setMO(mo)
h=listaMO$h
mR0=listaMO$mR0
for (reg in reg_values) {
for (r in 1:Repli) {

df_ftall=ftall2
# ***** recetear los inputs del dat
if(opcion_Model==1){
if(ind==2){
ftall2=ftall
Nmuestra2=Nmuestra
LF2=LF
}
}
# *****incorpora error de proceso en
M*****
if(Factor_M=="Si"){
M <- runif(1, LiM, LsM)
}
if(Factor_M=="No"){
M <- Mo
}

#
*****
*****
Fcr[1] <- Fcr_0
Fa_tr[1,] <- Fcr[1] * Sel #* exp(rnorm(1, 0, cv_F))
Z_tr[1,] <- Fa_tr[1,] + M
#Fcr_anual[1]<-Fcr[1]
# CONDICION INICIAL
R[1] <- R0
Nini[1] <- R0
for (i in 2:Nedades) {
Nini[i] <- Nini[i-1] * exp(-Z_tr[1, i-1]) # abundancia
}
Nini[Nedades] <- Nini[Nedades] / (1 - exp(-Z_tr[1, Nedades]))

alfa <- (4 * h * R0) / (5 * h - 1)
bet <- ((1 - h) * BD0) / (5 * h - 1)

N_tr[1,] <- Nini

```

```

C_tr[1, ] <- N_tr[1, ] * Fa_tr[1, ] * (1 - exp(-Z_tr[1, ])) / Z_tr[1, ] # Captura a la edad
Ct_tr[1, ] <- C_tr[1, ] %% Ptalla # captura a la talla
Dtal_tr[1, ] <- rmultinom(1, nr, Ct_tr[1, ] / sum(Ct_tr[1, ] + 1e-10))
BD_tr[1] <- sum(N_tr[1, ] * Wmed * Mad * exp(-dt * Z_tr[1, ])) #/ 1e6 # Biomasa desovante
Bexp_tr[1] <- sum(N_tr[1, ] * Wmed * Sel * exp(-dt * Z_tr[1, ])) #/ 1e6
Bt_tr[1] <- sum(N_tr[1, ] * Wmed) #/ 1e6
SPR_tr[1] <- (alfa * BD_tr[1] - bet) / BD0
#RPD_tr[1] <- Bt[1] / Btini
CPUE_tr[1] <- q * Bexp_tr[1]
CPUEjc_tr[1] <- q * BD_tr[1]
Y_tr[1] <- sum(C_tr[1, ] * Wmed) #/ 1e6
TC_tr[1] <- sum(Dtal_tr[1, ] * tallas) / sum(Dtal_tr[1, ])
# INICIO DE LA PESQUERÍA A ESCALA TRIMESTRAL

#for (t in 2:(Year * 4)) {
  for (t in 2:20) {

    y <- ceiling(t / 4) # Año actual
    qtr <- (t - 1) %% 4 + 1 # Trimestre actual (1 a 4)

    # ----- REGLAS DE MANEJO (SOLO TRIMESTRE 1) -----
    if (qtr == 1 & y >= 2) {
      if (med == 1) { # Basado en esfuerzo
        if (reg == 3) {
          Fcr[t] <- F40
        }
        if (ind == 2) {
          if (reg == 1) Fcr[t] <- F40 * min(1, SPR[y-1] / SPR40)
          if (reg == 2) Fcr[t] <- F40 * SPR[y-1] / SPR40
          if (reg == 4) Fcr[t] <- F40 * (SPR[y-1] / SPR40)^b
        }
      }
    }

    # ----- ESFUERZO TRIMESTRAL -----
    Fa_tr[t, ] <- Fcr[t] * Sel
    Z_tr[t, ] <- Fa_tr[t, ] + M

    # ----- RECLUTAMIENTO (TRIMESTRE 1) -----
    # if (qtr == 1) {
      R[t] <- mR0 * (alfa * BD_tr[t-1]) / (bet + BD_tr[t-1]) * exp(devR0[qtr] + rnorm(1, 0, cv_r) - 0.5 * cv_r^2)
    #} else {
    # R[t] <- R0 * exp(rnorm(1, 0, cv_r)) * exp(devR0[qtr] + rnorm(1, 0, cv_r) - 0.5 * cv_r^2)
    #}

    # ----- DINÁMICA DE ABUNDANCIA -----
    N_tr[t, 1] <- R[t]
    N_tr[t, 2:Nedades] <- N_tr[t-1, 1:(Nedades-1)] * exp(-Z_tr[t-1, 1:(Nedades-1)])
    N_tr[t, Nedades] <- N_tr[t, Nedades] + N_tr[t-1, Nedades] * exp(-Z_tr[t-1, Nedades])

    # ----- CAPTURA -----
    C_tr[t, ] <- N_tr[t, ] * Fa_tr[t, ] * (1 - exp(-Z_tr[t, ])) / Z_tr[t, ]
    Ct_tr[t, ] <- C_tr[t, ] %% Ptalla
    Dtal_tr[t, ] <- rmultinom(1, nr, Ct_tr[t, ] / sum(Ct_tr[t, ] + 1e-10))
    BD_tr[t] <- sum(N_tr[t, ] * Wmed * Mad * exp(-dt * Z_tr[t, ]))
    Bexp_tr[t] <- sum(N_tr[t, ] * Wmed * Sel * exp(-dt * Z_tr[t, ]))
    Y_tr[t] <- sum(C_tr[t, ] * Wmed) #/ 1e6
    CPUE_tr[t] <- q * Bexp_tr[t] * exp(rnorm(1, 0, cv_CPUE))
  }
}

```

```

SPR_tr[t] <- (alfa * BD_tr[t] - bet) / BDO
TC_tr[t] <- sum(Dtal_tr[t, ] * tallas) / sum(Dtal_tr[t, ])
# ----- EVALUACIÓN ANUAL (TRIMESTRE 4) -----
if (qtr == 4) {
  # Biomasa desovante
  BD[y] <- sum(N_tr[t, ] * Wmed * Mad * exp(-0.25 * Z_tr[t, ])) #/ 1e6
  Bexp[y] <- sum(N_tr[t, ] * Wmed * Sel * exp(-0.25 * Z_tr[t, ])) #/ 1e6

  # SPR si corresponde
  if (ind == 2) {
    if (opcion_Model == 1) {
      source("imprime_LBPA2.R")
      system(paste0("./LBPA -ind LBPA', y, '.dat -nox'))
      K <- read.rep('For_R.rep')
      SPR[y] <- as.numeric(K$`F/Ftar_SPR_SPRtar`[2])
    }
    if (opcion_Model == 2) {
      #source("imprime_LBPA.R")
      source("imprime_LBPA_sin_interaccion.R")
      g <- LBPA_fits(paste0("LBPA ", y, ".xlsx"), graph_opt = FALSE, save_opt = FALSE)
      SPR[y] <- as.numeric(g[["table2"]][[4]])
    }
  }
}

cat("Trimestre", t, "(Año:", y, ", Q", qtr, ")\\n")
}

TCproy[r,] <- TC_tr
CPUEproy[r,] <- CPUE_tr
BDproy[r,] <- BD_tr
BEproy[r,] <- Bexp_tr
Yproy[r,] <- Y_tr
Fcrproy[r,] <- Fcr
Mproy[r,] <- M
Nproy[r,] <- N_tr[, 1]
#RPDproy[r,] <- RPD
#Ctproy[,r]<-Ct2

clave <- paste0("mo",mo,"_reg", reg )
resultados[[clave]] <- list(
  CPUEproy = CPUEproy,
  BDproy = BDproy,
  Fcrproy = Fcrproy,
  Nproy = Nproy,
  Yproy = Yproy,
  BEproy = BEproy,
  TCproy=TCproy
)

cat("replica", r, "\\n")
} # finaliza las replicas

cat("mo", mo, "reg", med,"\\n")

# }
# }

```



}
#}
} # fin de reg
} # fin de mo