COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

OCTAVA REUNIÓN

La Jolla, California (EE.UU.)
8-12 de mayo de 2017

DOCUMENTO SAC-08-07c

RESOLUCIÓN DE REDUNDANCIA POTENCIAL DE ATRIBUTOS DE PRODUCTIVIDAD PARA MEJORAR LAS EVALUACIONES DE RIESGOS ECOLÓGICOS

Leanne Duffy y Shane Griffiths

ÍNDICE

1. Introducción 1
2. Métodos 3
2.1. Modelo APS existente para la pesquería por buques cerqueros grandes en el OPO 3
2.2. Evaluación del sistema de ponderación de atributos 3
2.3. Sensibilidad a la reducción de atributos 4
3. Resultados 4
3.1. Puntuaciones de atributos ponderados y no ponderados 4
3.2. Relaciones entre parejas de atributos 4
3.3. Eliminación de atributos de productividad 5
3.4. Comparación de puntuaciones de vulnerabilidad 5
4. Discusión 6
5. Recomendaciones 8
Reconocimientos 8
Referencias 8

1. INTRODUCCIÓN

la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) es responsable de asegurar la conservación y uso sostenible de las poblaciones de atunes y especies afines y otras especies de peces capturados por buques que pescan atunes y especies afines. Bajo la Convención de Antigua de 2003, que entró en vigor en 2010, cuenta con un mandato y responsabilidades claras con respecto a las especies no objetivo asociadas y los ecosistemas que los sustentan. Sin embargo, cumplir con este mandato y estas responsabilidades con respecto a las especies no objetivo puede representar un reto considerable, especialmente en los ecosistemas tropicales, en los que las agrupaciones de las especies de captura incidental pueden ser altamente diversas. Ya que las especies no objetivo generalmente poseen poco valor económico, a menudo no son reportadas en los cuadernos de bitácora, o son reportadas como grupos taxonómicos genéricos (por ejemplo, atunes pequeños). Además, estas especies no han sido generalmente objeto de estudios científicos detallados de su biología y ecología. Por lo tanto, a menudo no se dispone de datos biológicos y de captura por especie suficientes para elaborar modelos de evaluación de poblaciones robustos para determinar la condición de esas poblaciones y brindar información fiable como fundamento

para medidas efectivas de ordenación. Por lo tanto, son necesarios métodos alternativos para proporcionar a los gerentes pesqueros información suficiente para priorizar especies que son potencialmente motivo de preocupación, mitigar riesgos a su sostenibilidad, o recolectar información detallada por especie para uso en métodos más tradicionales de evaluación de poblaciones.

Las evaluaciones de riesgos ecológicos (ERE) constituyen uno de estos métodos alternativos que pueden ser usados para evaluar la sustentabilidad relativa de agrupaciones altamente diversas de captura incidental de datos escasos afectadas por la pesca. Los métodos de ERE varían de métodos cualitativos de verosimilitud de consecuencias impulsados por información derivada de opinión experta (Fletcher 2005), a modelos cuantitativos de dinámica poblacional espacialmente explícitos que exigen grandes cantidades de datos (Zhou y Griffiths 2006), pero se están usando con mayor frecuencia métodos de ERE semicuantitativos basados en atributos, en particular el análisis de productividad-susceptibilidad (APS) que fue desarrollado originalmente para evaluar la sostenibilidad de miles de especies de captura incidental de datos escasos capturados en las pesquerías camaroneras de arrastre demersales tropicales. (Stobutzki *et al.* 2001).

APS mide la sostenibilidad relativa de especies individuales, clasificándolas con base en varios criterios (denominados « atributos ») relacionados con su susceptibilidad a la captura, y la capacidad de la población de recuperarse de una reducción. Para cada especie, se asigna a los atributos de susceptibilidad (por ejemplo, distribución geográfica, posición en la columna de agua relativa a la profundidad del arte de pesca) y atributos de productividad (por ejemplo, estrategia reproductora, tasa de crecimiento, y fecundidad) una puntuación de 1 a 3, que refleja la contribución del atributo a la sostenibilidad general de la especie. Se considera entonces que la especie con las puntuaciones más bajas de productividad y más altas de susceptibilidad en todos los atributos son aquellas que corren el mayor riesgo de que la captura no sea sostenible con los niveles actuales de pesca.

La flexibilidad y los requisitos de datos mínimos del APS ha conducido a que el método se ha usado en una amplia gama de pesquerías en todo el mundo, desde pesquerías de arrastre demersal (Stobutzki *et al.* 2001) hasta las pesquerías atuneras en el Océano Atlántico (Arrizabalaba *et al.* 2011) y el Océano Pacífico occidental (Kirby 2006). En los últimos años, el personal de la CIAT ha aplicado el método de APS, adaptado a las pesquerías de EE.UU. (Patrick *et al.* 2010), a la pesquería de cerco del OPO, como herramienta para priorizar las especies que precisan investigación o medidas de mitigación específicas a fin de reducir los riesgos de la pesca (SAC-06-09). Sin embargo, el proceso de desarrollar atributos específicos para la evaluación de la pesquería de cerco, se hizo aparente que pocas aplicaciones previas del APS consideraron análisis de sensibilidad para determinar la validez de los atributos usados en el APS, teniendo en cuenta que varios atributos, tales como talla máxima y edad máxima, están fuertemente correlacionados (Froese y Binohlan 2000). Esto en efecto crea una ponderación implícita para atributos correlacionados, creando así un sesgo positivo en las puntuaciones de productividad. Esto puede sobreestimar la productividad de una especie, y por ende subestimar la severidad del impacto de una pesquería sobre la sostenibilidad de la especie.

Por lo tanto, antes de aplicar el APS a otras pesquerías del OPO y potencialmente usarlo como herramienta de evaluación para las capturas incidentales, se realizaron análisis para explorar opciones para mejorar el método y potencialmente reducir los requisitos de datos, y a la vez retener un alto contenido de información. El objetivo principal de este documento es describir las exploraciones estadísticas para determinar si cualquiera de los atributos de productividad del APS están correlacionados, en cuál grado la clasificación de vulnerabilidad de especies individuales sería afectada, en caso de serlo, por la eliminación de uno o varios de los atributos correlacionados. El resultado deseado sería un modelo APS más parco que precisaría menos insumos, algunos de los cuales son difíciles de obtener, y producir resultados más fiables.

2. MÉTODOS

2.1. Modelo APS existente para la pesquería por buques cerqueros grandes en el OPO

El personal de la CIAT ha examinado previamente la utilidad del APS para evaluar la vulnerabilidad a la sobrepesca de especies de peces, tiburones, mamíferos, y tortugas capturadas incidentalmente en el OPO. La aplicación incluyó 32 especies que forman la mayoría de la biomasa extraída por buques cerqueros de clase 6 (de más de 363 t de capacidad de acarreo) durante 2005-2013 (SAC-06-09). Siguiendo la metodología de APS de Patrick *et al.* (2009), se usaron nueve atributos de productividad (Tabla 1) y ocho de susceptibilidad (Tabla 2), con algunos modificados para acomodar tipos de datos disponibles para las pesquerías atuneras en el OPO. Se compiló la información correspondiente a los atributos de productividad para cada especie de una variedad de fuentes publicadas e inéditas y datos de pesca del OPO para aproximar mejor la distribución de las características del ciclo vital observadas en las especies encontradas en el OPO. Se derivaron los umbrales de puntuación para los atributos de productividad dividiendo los datos compilados en tres partes iguales. Los criterios de puntuación para los atributos de susceptibilidad fueron tomados del ejemplo de APS de Patrick *et al.* (2009) y modificados, en casos apropiados, para las pesquerías del OPO. Se presenta el promedio ponderado de las puntuaciones de productividad (*p*) y susceptibilidad (*s*) en una gráfica de dispersión x-y, y las puntuaciones de vulnerabilidad (*v*) calculadas a partir de las puntuaciones de *p* y *s* como la distancia euclidiana del origen de la gráfica de dispersión x-y al punto de referencia:

$$v = \sqrt{(p-3)^2 + (s-1)^2}$$

Ya que las puntuaciones de vulnerabilidad fueron similares para las tres medidas de susceptibilidad (s_j^1 s_j^2, y s_j^3) descritas en SAC-06-09, en la presente usamos s_j^1, porque el informe enfoca en determinar la redundancia potencial de atributos de productividad y s_j^1 es conceptualmente el más sencillo. Se calcula s_j^1 como la suma ponderada de los valores de susceptibilidad de la especie *j* a cada pesquería individual (definidas por tipo de lance: sobre delfines, sobre cardúmenes de atunes no asociados, y sobre objetos flotantes), con ponderaciones proporcionales al número de lances en cada pesquería:

$$s_j^1 = \sum_k s_{jk} p_k$$

donde

s_j^1 es la susceptibilidad combinada de la especie *j*

s_{jk} es la susceptibilidad de la especie *j* en el tipo de lance *k,* calculada usando los atributos en la Tabla 2. s_{jk} varía de 1 (susceptibilidad mínima) a 3 (susceptibilidad máxima).

$p_k = \left(\frac{N_k}{\sum_k N_k}\right)$ y N_k es el número total de lances de tipo *k* por buques de clase 6 en 2013.

2.2. Evaluación del sistema de ponderación de atributos

El APS existente utilizó el sistema de ponderación de atributos propuesto inicialmente por Patrick *et al.* (2009), en el que se puede asignar a un atributo una ponderación de entre 0 y 4. Una ponderación de 0 en efecto elimina un atributo del análisis, mientras que una ponderación de 4 le asigna importancia alta. Los atributos de productividad en el APS existente no fueron ponderados. Se redujo a 1 la ponderación de un atributo de susceptibilidad, el índice de solapo zonal/concentración geográfica (la concentración espacial relativa de una especie dentro de la zona de pesca y el solapo espacial relativo de la zona de pesca y la distribución de la especie (SAC-01-INF-A)), a raíz de la falta de confianza que este atributo, que fue evaluado en su totalidad de datos dependientes de la pesca, cuantifica de forma fiable la concentración y

el solapo verdaderos. Se realizó un análisis de sensibilidad para determinar si cambian la puntuación de vulnerabilidad (*v*) y el estatus de riesgo asociado de cada especie si se elimina el sistema de ponderación. Se graficaron entonces las puntuaciones ponderadas de susceptibilidad y no ponderadas de productividad en una gráfica de dispersión x-y y se compararon con la gráfica del APS original.

2.3. Sensibilidad a la reducción de atributos

Ya que muchos de los atributos de productividad (Tabla 1) dependen de, o están combinados con, otros atributos, se realizó un segundo análisis de sensibilidad para determinar si alguno de estos atributos es redundante en el APS. Se evaluaron las relaciones entre parejas de atributos de productividad, usando varios métodos para determinar cuáles podrían ser omitidos del APS. En primer lugar, se usó un método de teoría biológica cualitativa establecida por opinión experta para identificar atributos que se cree están correlacionados (Tabla 3). En segundo lugar, se evaluaron las relaciones entre atributos de productividad de forma gráfica, usando una matriz de gráfica de dispersión por parejas. En tercer lugar, en el caso de los atributos que los expertos creían estar correlacionados, se ajustaron regresiones lineales sencillas a los datos para evaluar el grado de linealidad de las relaciones. Se realizaron los análisis de gráfica de dispersión y regresión lineal en R (R Development Core Team 2017). Finalmente, como verificación adicional de la linealidad, se ajustaron modelos aditivos generalizados (MAG) a los datos de parejas de atributos con un R^2 ajustado del análisis de regresión lineal de >0.5, usando el paquete mgcv en R (Wood 2006). En vista del número limitado de puntos de datos para cada atributo (un máximo de 32, correspondientes a 32 especies), se limitaron los parámetros de modelo de estos MAG para evitar una subsuavización (se fijó el parámetro k de la función 's' en el MAG en un valor de 5).

3. RESULTADOS

3.1. Puntuaciones de atributos ponderados y no ponderados

La posición de las especies en las gráficas de APS fueron similares para las puntuaciones de productividad y susceptibilidad originales ponderadas medias y no ponderadas. Ninguna especie cambió de una categoría de riesgo a otra debido al cambios en la ponderación de los atributos (Figura 1, Tabla 4). Por consiguiente, se usaron las puntuaciones de los atributos no ponderados en todo el resto del análisis.

3.2. Relaciones entre parejas de atributos

Se observaron relaciones no lineales en la mayoría de las gráficas de dispersión (Figura 2), lo cual indica que estos atributos de productividad deberían permanecer en el APS, porque si se eliminan, la puntuación de productividad podría causar un cambio en la puntuación general de vulnerabilidad, y potencialmente trasladar una especie a una categoría de riesgo mayor o menor de reducción. A partir del análisis de regresión lineal (y nuestro criterio de un R^2 ajustado > 0.5), tres parejas de atributos de productividad mostraron cierto grado de linealidad: (1) el factor de crecimiento de von Bertalanffy (*k*) y la tasa intrínseca de crecimiento de población (*r*) (R^2 ajustado = 0.60); (2) mortalidad natural (*M*) y *r* (R^2 ajustado = 0.57); y (3) edad de madurez y edad máxima de la (R^2 ajustado = 0.55) (Figura 3). Una relación lineal indica que dos atributos podrían contener información similar, y por lo tanto eliminar uno de los dos atributos del APS no cambiaría de forma significativa la puntuación de vulnerabilidad y la posición de riesgo de una especie dentro de la gráfica de APS. El análisis de MAG es una segunda prueba estadística que indica que, para la mayor parte de la gama de valores de los datos, las relaciones entre estas parejas de variables son aproximadamente lineales, aunque son evidentes algunas desviaciones (Figuras 3 y 4). El R^2 ajustado bajo de algunas parejas de atributos (por ejemplo, edad máxima y talla máxima, Figura 3) que los expertos creen estar correlacionados (Tabla 3) parece ser debido a la variabilidad considerable en nuestro conjunto de datos particular para estas cantidades.

3.3. Eliminación de atributos de productividad

Se compararon gráficas de APS con entre 1 y 4 atributos eliminados en un enfoque por pasos retrógrados con la gráfica de APS no ponderado (Figura 1b). En la Tabla 4 (columnas v_1-v_4) se presentan las puntuaciones de vulnerabilidad no ponderadas y revisadas correspondientes a las gráficas de APS, en las que se definen las categorías de riesgo como baja (v < 1.0), moderada (≥ 1.0 v <2.0), y alta (v ≥ 2.0). En todos los escenarios de eliminación de atributos, se ilustran las especies en una gráfica de APS (Figura 5). En el primer escenario (v_1, Figura 5a), se excluyó del análisis nivel trófico (NT) medio, no por estar altamente correlacionado con ningún otro atributo, sino porque no se le considera una medida independiente de ningún aspecto de productividad biológica. El nivel trófico describe la ecología trófica de una especie, específicamente la contribución a su dieta realizada por taxones de otros niveles tróficos (Christensen y Pauly 1992). En general, la talla máxima y la longevidad aumentan con el nivel trófico, y por lo tanto existe a menudo una relación inversa con la productividad. Sin embargo, hay muchas excepciones a esta regla; por ejemplo, varias especies de ballenas ocupan niveles tróficos bajos porque consumen casi exclusivamente zooplancton. Ya que la composición de la dieta de una especie no es una medida directa de ningún aspecto de la productividad de esa especie, el atributo de NT medio fue considerado innecesario, a pesar de los cambios que podrían resultar en el estatus de riesgo de una especie. Adicionalmente, las puntuaciones de NT medio en el APS ocuparon una gama limitada, 3.1 a 5.3, ya que consideramos solamente aquellas especies que son capturados en la pesquería. Por lo tanto, los organismos de niveles tróficos más bajos, desde plancton hasta peces pequeños y calamares, que son altamente importantes en las dietas de los depredadores pelágicos, no fueron representados en el APS, limitando así la gama de valores de NT.

Otros atributos (r, edad máxima, y M) fueron eliminados subsecuentemente, con base en las regresiones lineales (Figura 3), los análisis de MAG (Figura 4), y opinión experta. En el segundo escenario (v_2) se eliminaron dos de los nueve atributos, NT medio y r (Figura 5b). El atributo r es un parámetro difícil de estimar para especies de captura incidental y datos escasos, y especialmente para los teleósteos, cuya dinámica poblacional es más comúnmente caracterizada por los parámetros k (tasa de crecimiento) y L_∞ (la talla asintótica en la cual el crecimiento es cero) del modelo de crecimiento de von Bertalanffy. Por lo tanto, se dispone de valores de r para solamente nueve de las 32 especies. Adicionalmente, r combina muchos otros atributos de productividad usados en el APS, incluyendo M, fecundidad, y edad máxima, en una distribución estable de la edad. En el escenario 3 (v_3) se eliminaron tres atributos: NT medio, r, y edad máxima (Figura 5c). La edad máxima está relacionada con M, en el sentido que se espera que valores bajos de M estén correlacionados negativamente con la edad máxima (Hoenig 1983). En el último escenario (v_4), se excluyeron cuatro atributos: NT medio, r, edad máxima, y M (Figura 5d), M debido a su relación con la edad máxima.

3.4. Comparación de puntuaciones de vulnerabilidad

Tras eliminar los atributos, la mayoría de las especies permanecieron en la misma categoría de riesgo que en el análisis original no ponderado. El cambio más importante fue observado en el caso de la mantarraya gigante, *Manta birostris*, cuya puntuación de vulnerabilidad aumentó de 1.96 (riesgo moderado) a 2.17 (riesgo alto) en todos los escenarios de eliminación de atributos (Tabla 4), resultando en un aumento de 10.4% para v_1-v_4. En el caso de unas pocas especies de tiburones, el estatus de riesgo cambió de alto a moderado, o viceversa según el escenario, aunque la mayoría de las puntuaciones de vulnerabilidad estuvieron muy cercanas al umbral de riesgo alto. El tiburón zorro ojón, *Alopias superciliosus*, tuvo una puntuación de vulnerabilidad no ponderada de 2.0; tras eliminar los atributos en los escenarios v_1–v_3, disminuyó ligeramente, a 1.99, 1.97, y 1.95, respectivamente. Por contraste, cuando se eliminaron todos los cuatro atributos (v_4), la puntuación aumentó a 2.11 (Tabla 4), un incremento de 5.2%. El tiburón zorro pelágico, *A. pelagicus*, tuvo una puntuación de vulnerabilidad no ponderada moderada de 1.95, que

aumentó a 2.00 y 2.16 en los escenarios v_3 (aumento de 2.6%) y v_4 (aumento de 10.5%), respectivamente (Tabla 4), mientras que el tiburón marrajo dientuso, *Isurus oxyrinchus*, tuvo una puntuación de vulnerabilidad no ponderada alta (2.06), que disminuyó a 1.97 en el escenario v_3 (reducción de 4.6%) y 1.91 en el escenario v_4 (reducción de 7.3%) (Tabla 4). En general, las puntuaciones de vulnerabilidad en los distintos enfoques produjeron resultados similares, tal como señala la alineación de la mayoría de especies cerca de la línea de 1:1 line (Figura 6). En conjunto, los resultados de estos análisis sugieren que un enfoque más parco al atributo de productividad podría ser usado en APS futuros

4. DISCUSIÓN

La evaluación de la sostenibilidad ecológica de la pesca se ha vuelto cada vez más importante con la amplia adopción de los principios de ordenación pesquera ecosistémica (OBE) y es un requisito para ciertos tipos de certificación y ecoetiquetado de la pesca. Sin embargo, demostrar sostenibilidad ecológica de forma cuantitativa es un reto significativo en muchas pesquerías, incluida la pesquería atunera del OPO, donde las capturas incidentales son diversas y la disponibilidad de los datos necesarios para evaluar las poblaciones usando enfoques tradicionales es limitada (SAC-08-07b, SAC-08-07d). El APS es un enfoque a la evaluación de riesgos ecológicos que puede priorizar rápidamente especies potencialmente vulnerables, permitiendo así a los gerentes mitigar los riesgos, o someter especies a investigaciones adicionales a fin de evaluar su estatus de forma más cuantitativa.

El presente informe describe los resultados de una evaluación metodológica del enfoque de APS de Patrick *et al*. (2009) adaptado a la pesquería cerquera del OPO. Los análisis de sensibilidad de los nueve atributos de productividad señalaron una redundancia significativa entre los mismos, con una correlación clara entre tres de las parejas de atributos. Las parejas de atributos con la correlación más alta fueron la tasa intrínseca de crecimiento de población (r) y el coeficiente de crecimiento de von Bertalanffy (k), r y mortalidad natural (M), y edad de madurez y edad máxima. Eliminar cualquiera de estos atributos del APS resultó en un cambio del estatus de riesgo de la mantarraya gigante y algunas especies de tiburones, para uno o más de los escenarios de eliminación de atributos.

La tasa intrínseca de crecimiento de población (r) fue eliminada de nuestro análisis debido a la falta de estimaciones fiables de este atributo para la mayoría de las especies no objetivo, especialmente los teleósteos. Es útil para describir la dinámica poblacional y trayectorias de recuperación, pero es difícil de medir, porque requiere datos sobre la mortalidad por edad o etapa de vida y el número de crías. En el caso de los peces pelágicos que producen millones de ovocitos por desove, esto puede ser difícil de estimar con confianza. Sin embargo, recientemente se han propuesto métodos para mejorar las estimaciones de r, particularmente para especies de vida larga como los tiburones (Dillingham *et al.* 2016, Pardo *et al*. 2016).

Correlaciones entre parámetros del ciclo vital han sido también reportados en la literatura. Por ejemplo, M ha sido identificado como correlacionado con otros parámetros del ciclo vital (Pascual e Iribarne 1993, Jennings *et al.* 1998, Denney *et al.* 2002, Goodwin *et al.* 2006, Zhou *et al.* 2012). Algunos argumentan que M es un punto de referencia biológico suficiente para estimar la mortalidad por pesca, y el uso de otros parámetros del ciclo vital en evaluaciones de riesgos semicuantitativos tales como el APS es redundante (Zhou *et al.* 2012). No obstante, M es un parámetro notoriamente difícil de medir, y es estimado con mayor frecuencia a partir de modelos empíricos usando los parámetros L_∞ y k de la función de crecimiento de von Bertalanffy (Pauly 1980, Pascual e Iribarne 1993, Zhou *et al.* 2012). Otros han sugerido que un parámetro del ciclo vital que es ampliamente medido podría ser suficiente para predecir tasas de recuperación posexplotación (Jennings *et al.* 1998, Denney *et al.* 2002), y el tamaño corporal podría ser usado como índice de r si es que ese es el único dato biológico disponible (Denney *et al.* 2002). Cortés (2000) documentó correlaciones entre patrones del ciclo vital y tamaño máximo, reproducción, y edad y crecimiento en tiburones, y concluyó que estimaciones de estos parámetros, en conjunto con

estimaciones de frecuencia reproductora, permite la parametrización de modelos demográficos.

La correlación y redundancia de atributos observados en el presente estudio y reportados en la literatura brindan apoyo adicional al uso de menos atributos de productividad en los APS semicuantitativos. Han sido reportados índices de productividad que combinan parámetros del ciclo vital, incluyendo estrategias reproductoras, talla de madurez, y talla máxima, en un solo índice de productividad (Kirby 2006, Arrizabalaba *et al.* 2011). Podría ser útil explorar uno de estos índices, el índice de vulnerabilidad intrínseca (Cheung *et al.* 2005), en la elaboración de APS futuros para las pesquerías del OPO. No se observaron cambios importantes en el estatus de riesgo de muchas especies en los varios escenarios evaluados. Esto sugiere que el trabajo futuro debería buscar incluir análisis exploratorios a fin de comprender los estatus de riesgo algo anclados observados en el presente estudio.

Se observaron pocos cambios en las tasas de vulnerabilidad en nuestro análisis de reducción de atributos de productividad. Se asignó a la mantarraya gigante una puntuación de productividad (p) baja de 1 para todos los atributos excepto NT medio (p = 3), y no se dispone de datos de r y M. Por lo tanto, cuando se eliminaron del análisis NT medio, r, edad máxima y M, la vulnerabilidad general aumentó debido a la baja productividad asignada a cada uno de los otros atributos. Creemos que esta vulnerabilidad más alta es más realista, ya que la mantarraya gigante es particularmente vulnerable debido a sus características de ciclo vital seleccionadas por K (es decir, especies cuyas poblaciones fluctúan en, o cerca de, la capacidad de carga K), por ejemplo, reproducción ovípara tardía, fecundidad extremamente baja, y edad de primera reproducción tardía, como en Croll *et al*. (2016). En el caso del tiburón zorro ojón, se fijaron todas las puntuaciones de productividad en 1 excepto M, a la que se asignó una puntuación de 2. Por lo tanto, cuando se eliminaron los atributos de baja puntuación de NT medio, r, y edad máxima, la vulnerabilidad general disminuyó ligeramente comparada con la vulnerabilidad original no ponderada, y trasladó esta especie a la categoría de riesgo moderado. Sin embargo, estas puntuaciones de vulnerabilidad son muy cercanas a riesgo alto, con una disminución de menos de 1.5% de la puntuación de vulnerabilidad no ponderada. Cuando se eliminó el atributo de M, de puntuación más alta, la vulnerabilidad correspondiente aumentó, y la especie volvió a la categoría de alto riesgo. El tiburón zorro ojón ha sido reportado también como de alto riesgo en otras ERE (Cortés *et al.* 2010), ya que tiene el crecimiento más lento de las tres especies de tiburón zorro, fecundidad baja (típicamente dos crías por año), y madurez tardía (Young *et al.* 2016). Dadas las características del ciclo vital de esta especie, y que los cambios en las puntuaciones de vulnerabilidad estaban en el umbral de alto riesgo para tres de los cuatro escenarios de vulnerabilidad (v_1-v_3) aquí evaluados, y en la categoría de alto riesgo en el caso del escenario v_4, creemos que se justifica reducir el número de atributos de productividad en el APS.

El tiburón zorro pelágico también tuvo una puntuación de 1 para todos los atributos excepto edad máxima y M (p = 2). Por lo tanto, cuando se eliminaron estos dos atributos en los escenarios v_3 y v_4, la vulnerabilidad general de esta especie cambió de categoría de moderado a alto. Creemos que este cambio es lógico, ya que la especie posee características de ciclo vital similar a aquellas del tiburón zorro ojón, aunque es de vida ligeramente más corta (Dulvy *et al.* 2008).

Por último, el tiburón marrajo dientuso tuvo puntuaciones bajas de productividad (p = 1) para todos los atributos excepto talla máxima (L_{max}) y fecundidad (p = 2). Fue el tercero en L_{max} (después de los tiburones oceánico punta blanca y sedoso) de todos los tiburones evaluados en este estudio, y de fecundidad moderada, con una camada media de 13 crías (Dulvy *et al.* 2008). Estos atributos de puntuación relativamente alta fueron retenidos en el análisis, y los de puntuación más baja que fueron eliminados causaron un cambio de riesgo alto a moderado en los escenarios v_3 y v_4, que incluyeron solamente seis (dos de puntuación de productividad moderada y cuatro de baja) y cinco (dos de puntuación de productividad moderada y tres de baja) atributos, respectivamente. No obstante, cabe destacar que, en el escenario v_3, la puntuación general de vulnerabilidad fue 1.97, al margen de riesgo alto, mientras que

en el escenario v_4 se observó una disminución de 7%.

5. RECOMENDACIONES

No descubrimos ninguna prueba de que el esquema de ponderación usado en el análisis de APS aquí presentado resulte en una mejora apreciable de la diferenciación de especies con respecto a su puntuación de vulnerabilidad y estatus de riesgo. Los sistemas de ponderación usados en APS previos (Stobutzki *et al.* 2001, Patrick *et al.* 2009) parecen haber sido derivados arbitrariamente para realzar la importancia percibida de un atributo, con poca consideración del potencial de ponderación excesiva de atributos que ya están ponderados implícitamente debido a su correlación con un atributo o atributos relacionados. Recomendamos que APS realizados en el futuro, al menos para las pesquerías del OPO, usen atributos no ponderados, pero que se preste mayor atención a los puntos de corte entre categorías dentro de cada atributo a fin de maximizar la diferenciación entre especies.

La redundancia en los atributos de productividad en los APS usados actualmente en las pesquerías de Estados Unidos sugiere que los APS pueden ser realizados más rápidamente, y con menos insumos de datos, que en implementaciones previas, y que las puntuaciones de productividad resultantes – y por ende las puntuaciones generales de vulnerabilidad y clasificaciones de riesgo – de las especies individuales serán similares. En el caso de los teleósteos y tiburones, los principales grupos de captura incidental en las pesquerías cerqueras del OPO, recomendamos el uso de un máximo de un atributo para describir cada uno de los cinco componentes principales siguientes de las puntuaciones de productividad:

1) La tasa de crecimiento poblacional (por ejemplo, el coeficiente de crecimiento de von Bertalanffy k, o la tasa intrínseca de crecimiento poblacional, r),
2) Grado máximo de crecimiento en términos de talla (L_∞ o L_{max}) o edad (longevidad en años, por ejemplo),
3) Madurez reproductora en términos de la talla ($L_{50\%}$) o edad ($A_{50\%}$) a la que la mitad de la población es madura, relativa a talla o edad de captura en una pesquería particular,
4) Producción reproductora (por ejemplo, fecundidad, número de crías), y
5) Frecuencia de producción reproductora (por ejemplo, estacional, anual).

En el caso de algunos grupos de especies, tales como mamíferos marinos o aves marinas, podrían ser necesarios atributos de productividad adicionales, y posiblemente APS separados que usen atributos específicos al ciclo vital de esos grupos. Trabajos futuros evaluarán el uso de índices de productividad que combinan atributos en un solo índice de productividad (Cheung *et al.* 2005, Kirby 2006, Arrizabalaba *et al.* 2011). Se recomienda firmemente que se emprendan análisis preliminares antes de finalizar las evaluaciones de APS para asegurar que los valores de los atributos no estén correlacionados y causen ponderación críptica de atributos correlacionados.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a Cleridy Lennert-Cody su ayuda con el análisis estadístico y su revisión y mejoras del informe. Gracias también a Christine Patnode por mejorar las gráficas. Agradecemos a Nick Webb y Alexandre Aires-da-Silva sus revisiones consideradas del documento.

REFERENCIAS

Arrizabalaba, H., P. de Bruyn, G.A. Diaz, H. Murua, P. Chavance, A. Delgado de Molina, D. Gaertner, J. Ariz, J. Ruiz, and L.T. Kell. 2011. Productivity and susceptibility analysis for species caught in Atlantic tuna fisheries. Aquatic Living Resources 24: 1-12.

Cheung, W.W.L., T.J. Pitcher, and D. Pauly. 2005. A fuzzy logic expert system to estimate intrinsic extinction vulnerabilities of marine fishes to fishing. Biological Conservation 124: 97-111.

Christensen, V., and D. Pauly. 1992. ECOPATH II - a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. Ecological Modelling 61: 169-185.

Cortés, E. 2000. Life history patterns and correlations in sharks. Reviews in Fisheries Science 8(4): 299-344.

Cortés, E., F. Arocha, L.R. Beerkircher, F. Carvalho, A. Domingo, M. Heupel, H. Holtzhausen, M.N. Santos, M. Ribera, and C. Simpfendorfer. 2010. Ecological risk assessment of pelagic sharks caught in Atlantic pelagic longline fisheries. Aquatic Living Resources 23: 25-34.

Croll, D.A., H. Dewar, N.D. Dulvy, D. Fernando, M.P. Francis, F. Galván-Magaña, M. Hall, S. Heinrichs, A. Marshall, D. McCauley, K.M. Newton, G. Notarbartolo-di-Sciara, M.O. O'Malley, J. O'Sullivan, M. Poortvliet, M. Roman, G. Stevens, B.R. Tershy, and W.T. White. 2016. Vulnerabilities and fisheries impacts: the uncertain future of manta and devil rays. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 26: 562-575.

Denney, N.H., S. Jennings, and J.D. Reynolds. 2002. Life–history correlates of maximum population growth rates in marine fishes. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences 269: 2229-2237.

Dillingham, P.W., J.E. Moore, D. Fletcher, E. Cortés, K.A. Curtis, K.C. James, and R.L. Lewison. 2016. Improved estimation of intrinsic growth r_{max} for long-l ived species: integrating matrix models and allometry. Ecological Applications 26(1): 322-333.

Dulvy, N.K., J.K. Baum, S. Clarke, L.J.V. Compagno, E. Cortés, A. Domingo, S. Fordham, S. Fowler, M.P. Francis, C. Gibson, J. Martínez, J.A. Musick, A. Soldo, J.D. Stevens, and S. Valenti. 2008. You can swim but you can't hide: the global status and conservation of oceanic pelagic sharks and rays. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 18(5): 459-482.

Fletcher, W.J. 2005. The application of qualitative risk assessment methodology to prioritise issues for fisheries management. ICES Journal of Marine Science 62: 1576-1587.

Froese, R., and C. Binohlan. 2000. Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. Journal of Fish Biology 56: 758-773.

Goodwin, N.B., A. Grant, A.L. Perry, N.K. Dulvy, and J.D. Reynolds. 2006. Life history correlates of density-dependent recruitment in marine fishes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 63: 494-509.

Hoenig, J.M. 1983. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. Fishery Bulletin 82: 898-902.

Jennings, S., J.D. Reynolds, and S.C. Mills. 1998. Life history correlates of responses to fisheries exploitation. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences 265: 333-339.

Kirby, D.S. 2006. Ecological risk assessment for species caught in WCPO tuna fisheries: inherent risk as determined by productivity-susceptibility analysis. WCPFC-SC-2006/EB WP-1, 24 p.

Pardo, S.A., H.K. Kindsvater, J.D. Reynolds, and N.D. Dulvy. 2016. Maximum intrinsic rate of population increase in sharks, rays, and chimaeras: the importance of survival to maturity. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 73: 1159-1163.

Pascual, M.A., and O.O. Iribarne. 1993. How good are empirical predictions of natural mortality? Fisheries Research 16: 17-24.

Patrick, W.S., P. Spencer, J. Link, J. Cope, J. Field, D. Kobayashi, P. Lawson, T. Gedamke, E. Cortés, O. Ormseth, K. Bigelow, and W. Overholtz. 2010. Using productivity and susceptibility indices to assess the vulnerability of United States fish stocks to overfishing. U.S. National Marine Fisheries Service, Fishery Bulletin 108: 305-322.

Patrick, W.S., P. Spencer, O. Ormseth, J. Cope, J. Field, D. Kobayashi, T. Gedamke, E. Cortés, K. Bigelow, W. Overholtz, J. Link, and P. Lawson. 2009. Use of Productivity and Susceptibility Indices to Determine Stock Vulnerability, with Example Applications to Six U.S. Fisheries. 90 pp.

Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer 39: 175-192.

R Development Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, URL http://www.R-project.org/.

Stobutzki, I.C., M. Miller, and D. Brewer. 2001. Sustainability of fishery bycatch: a process for assessing highly diverse and numerous bycatch. Environmental Conservation 28: 167-181.

Wood, S.N. 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC, New York. 391 pp.

Young, C.N., J.K. Carlson, M. Hutchinson, D. Kobayashi, C. McCandless, M.H. Miller, S.L.H. Teo, and T. Warren. 2016. Status review report: common thresher shark (*Alopias vulpinus*) and bigeye thresher shark (*Alopias superciliosus*). . Final Report to National Marine Fisheries Service, Office of Protected Resources, March 2016. 199 pp

Zhou, S., and S.P. Griffiths. 2006. Sustainability Assessment for Fishing Effects (SAFE): an application to diverse elasmobranch bycatch in a tropical Australian prawn trawl fishery. *In* D. Brewer, S. P. Griffiths, D. S. Heales, S. Zhou, M. Tonks, Q. Dell, P. M. Kuhnert, S. Keys, W. Whitelaw, A. M. Burke, and E. Raudzens (eds.), Design, trial and implementation of an integrated, long-term bycatch monitoring program, road tested in the NPF, Final Report on FRDC Project 2004/024 p. 179-207. CSIRO Marine and Atmospheric Research, Cleveland.

Zhou, S., S. Yin, J.T. Thorson, A.D.M. Smith, and M. Fuller. 2012. Linking fishing mortality reference points to life history traits: an empirical study. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 69: 1292-1301.

TABLE 1. Productivity attributes and scoring thresholds used in the PSA of the purse-seine fishery in the eastern Pacific Ocean. Includes only Class-6 vessels (carrying capacity > 363 t).
TABLA 1. Atributos de productividad y umbrales de puntuación usados en el APS de la pesquería de cerco en el Océano Pacífico oriental (OPO). Incluye solamente buques de clase 6 (capacidad de acarreo > 363 t).

	Ranking - Clasificación		
Productivity attribute **Atributo de productividad**	**Low - Bajo** **(1)**	**Moderate-Moderado** **(2)**	**High-Alto** **(3)**
Intrinsic rate of population growth (*r*) Tasa intrínseca de crecimiento de la población (*r*)	≤ 0.1	> 0.1, ≤ 1.3	>1.3
Maximum age (years) Edad máxima (años)	≥ 20	> 11, < 20	≤ 11
Maximum size (cm) (L_{max}) Talla máxima (cm) (L_{max})	> 350	> 200, ≤ 350	≤ 200
von Bertalanffy growth coefficient (*k*) Coeficiente de crecimiento de von Bertalanffy (*k*)	< 0.095	0.095 – 0.21	> 0.21
Natural mortality (*M*) Mortalidad natural (*M*)	< 0.25	0.25 – 0.48	> 0.48
Fecundity (measured) Fecundidad (medida)	< 10	10 – 200,000	> 200,000
Breeding strategy Estrategia reproductora	≥ 4	1 to-a 3	0
Age at maturity (years) Edad de madurez (años)	≥ 7.0	≥ 2.7, < 7.0	< 2.7
Mean trophic level Nivel trófico medio	> 5.1	4.5 – 5.1	< 4.5

TABLA 2. Atributos de susceptibilidad y umbrales de puntuación usados en el APS de la pesquería de cerco en el Océano Pacífico oriental (OPO). Incluye solamente buques de clase 6 (capacidad de acarreo > 363 t).

Atributo de susceptibilidad	Clasificación		
	Bajo (1)	**Moderado (2)**	**Alto (3)**
Estrategia de ordenación	Ordenación y medidas proactivas en vigor	Poblaciones mencionadas específicamente en resoluciones de conservación; seguimiento cercano	Sin medidas de ordenación; seguimiento cercano de poblaciones
Superposición por área-índice de concentración geográfica	Capturas incidentales máximas fuera de áreas con mayoría de lances **y** población no concentrada (o no infrecuente)	Capturas incidentales máximas fuera de áreas con mayoría de lances y población concentrada (o infrecuente), **o** capturas incidentales máximas en áreas con mayoría de lances **y** población no concentrada (o no infrecuente)	Capturas incidentales máximas en áreas con mayoría de lances **y** población concentrada (o infrecuente)
Superposición vertical con el arte	< 25% de la población ocurre en las profundidades pescadas		> 50% de la población ocurre en las profundidades pescadas
Migraciones estacionales	Migraciones estacionales reducen superposición con la pesquería	Migraciones estacionales no afectan sustancialmente la superposición con la pesquería	Migraciones estacionales aumentan la superposición con la pesquería
Agrupamiento /concentración y otras reacciones conductuales al arte	Respuestas conductuales reducen la capturabilidad del arte	Respuestas conductuales no reducen sustancialmente la capturabilidad del arte	Respuestas conductuales aumentan la capturabilidad del arte
Supervivencia potencial después de captura de liberación bajo prácticas de pesca actuales	Probabilidad de supervivencia > 67%	33% < probabilidad de supervivencia ≤ 67%	Probabilidad de supervivencia < 33%
Deseabilidad/valor de captura (porcentaje de retención)	Población no altamente valorada o deseada por la pesquería (retención < 33%)	Población moderadamente valorada o deseada por la pesquería (retención 33-66%)	Población altamente valorada o deseada por la pesquería (retención > 66%)

TABLE 3. Expected relationships between pairs of productivity attributes based on expert opinion. Cells marked with an 'x' indicate attribute pairs that are expected to be correlated.
TABLA 3. Relaciones esperadas entre parejas de atributos de productividad basadas en opinión experta. Las casillas marcadas con 'x' indican parejas de atributos que se espera estén correlacionadas.

	Productivity attribute **Atributo de productividad**	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Intrinsic rate of population growth (*r*) Tasa intrínseca de crecimiento de la población (*r*)									
2	Maximum age Edad máxima									
3	Maximum size (L_{max}) Talla máxima (L_{max})	x	x							
4	von Bertalanffy growth coefficient (*k*) Coeficiente de crecimiento de von Bertalanffy (*k*)	x								
5	Natural mortality (*M*) Mortalidad natural (*M*)	x	x		x					
6	Fecundity Fecundidad									
7	Breeding strategy Estrategia de reproducción						x			
8	Age at maturity Edad de madurez		x			x		x		
9	Mean trophic level (TL) Nivel trófico (NT) medio	x			x	x				

TABLE 4. Productivity (p) and susceptibility (s) scores used to compute the overall vulnerability measure (v). Susceptibility scores are computed as a weighted combination of the individual fishery values, s_j^1; see text for details. Original productivity (p_{orig}), susceptibility (s_{orig}), and vulnerability (v_{orig}), scores using all 9 weighted productivity attributes are provided. Revised productivity (p_1-p_4), susceptibility (s_{rev}), and vulnerability (v_1-v_4) scores are also shown; p_1 = without mean trophic level, p_2 = attributes in p_1 and without intrinsic rate of population growth r, p_3 = attributes in p_2 and without maximum age, p_4 = attributes in p_3 and without natural mortality; v_1, - v_4 scores computed using the unweighted susceptibility (s_{rev}) and corresponding productivity scores (p_{orig}, p_1- p_4). Risk: green = low, yellow = moderate, red = high.

TABLA 4. Puntuaciones de productividad (p) y susceptibilidad (s) usadas para calcular la medida general de vulnerabilidad (v). Se calculan las puntuaciones y susceptibilidad como combinación ponderada de los valores de las pesquerías individuales, s_j^1; ver detalles en el texto. Se presentan las puntuaciones originales de productividad (p_{orig}), susceptibilidad (s_{orig}), y vulnerabilidad (v_{orig}), que usan todos los 9 atributos ponderados de productividad. Se incluyen también las puntuaciones de productividad (p_1-p_4), susceptibilidad (s_{rev}), y vulnerabilidad (v_1-v_4); p_1 = sin nivel trófico medio, p_2 = atributos en p_1 sin la tasa intrínseca de crecimiento de población r, p_3 = atributos en p_2 sin edad máxima, p_4 = atributos en p_3 sin mortalidad natural; v_1, - v_4 puntuaciones calculadas usando la susceptibilidad no ponderada (s_{rev}) y las puntuaciones de productividad correspondientes (p_{orig}, p_1- p_4). Riesgo: verde = bajo, amarillo = moderado, rojo = alto.

Group Grupo	Species Especie	Common name Nombre común	Species code Código especie	p_{orig}	s_{orig}	v_{orig}	s_{rev}	v_{rev}	p_1	p_2	p_3	p_4	v_1	v_2	v_3	v_4
Tunas Atunes	*Thunnus albacares*	Yellowfin tuna Atún aleta amarilla	YFT	2.78	2.38	1.40	2.29	1.30	2.88	2.86	2.83	2.80	1.29	1.29	1.30	1.30
	Thunnus obesus	Bigeye tuna Atún patudo	BET	2.33	1.70	0.97	1.66	0.94	2.38	2.43	2.50	2.40	0.91	0.87	0.82	0.89
	Katsuwonus pelamis	Skipjack tuna Atún barrilete	SKJ	2.78	1.73	0.76	1.68	0.72	2.88	2.86	2.83	2.80	0.69	0.70	0.70	0.71
Billfishes Peces picudos	*Istiompax indica*	Black marlin Marlín negro	BLM	2.00	2.39	1.71	1.34	1.70	2.13	2.29	2.17	2.00	1.78	1.75	1.86	1.83
	Makaira nigricans	Blue marlin Marlín azul	BUM	2.00	2.39	1.71	1.34	1.81	2.13	2.29	2.33	2.40	1.90	1.89	1.86	1.83
	Kajikia audax	Striped marlin Marlín rayado	MLS	2.33	2.54	1.68	1.27	1.69	2.50	2.71	2.67	2.60	1.77	1.74	1.69	1.62
	Istiophorus platypterus	Indo-Pacific sailfish Pez vela del Indo-Pacífico	SFA	2.44	2.54	1.64	2.34	1.67	2.50	2.71	2.67	2.60	1.60	1.52	1.58	1.67
Dolphins Delfines	*Stenella attenuata*	Spotted dolphin Delfín manchado	DPN	1.33	1.36	1.71	2.34	1.67	1.25	1.29	1.17	1.20	1.60	1.52	1.50	1.47
	Stenella longirostris	Spinner dolphin Delfín tornillo	DSI	1.22	1.36	1.81	2.57	1.71	1.13	1.14	1.17	1.20	1.65	1.60	1.61	1.62
	Delphinus delphis	Common dolphin Delfín común	DCO	1.33	1.29	1.69	2.57	1.67	1.25	1.29	1.33	1.40	1.65	1.60	1.61	1.62
Sharks Tiburones	*Carcharhinus longimanus*	Oceanic whitetip shark Oceánico punta blanca	OCS	1.67	1.70	1.51	1.74	1.52	1.75	1.71	1.67	1.60	1.45	1.48	1.52	1.58

Group Grupo	Species Especie	Common name Nombre común	Species code Código especie	p_{orig}	s_{orig}	v_{orig}	s_{rev}	v_{rev}	p_1	p_2	p_3	p_4	v_1	v_2	v_3	v_4
	Carcharhinus falciformis	Silky shark Tiburón sedoso	FAL	1.44	2.10	1.91	2.14	1.93	1.50	1.57	1.67	1.60	1.89	1.83	1.76	1.81
	Sphyrna lewini	Scalloped hammerhead Cornuda común	SPL	1.33	1.91	1.90	1.89	1.89	1.38	1.29	1.33	1.40	1.85	1.93	1.89	1.83
	Sphyrna zygaena	Smooth hammerhead Cornuda cruz	SPZ	1.33	1.91	1.90	1.89	1.89	1.38	1.29	1.33	1.40	1.85	1.93	1.89	1.83
	Sphyrna mokarran	Great hammerhead Cornuda gigante	SPK	1.33	1.97	1.93	1.90	1.89	1.38	1.29	1.33	1.40	1.86	1.94	1.89	1.84
	Alopias superciliosus	Bigeye thresher shark Tiburón marrajo ojón	BTH	1.11	1.72	2.02	1.67	2.00	1.13	1.14	1.17	1.00	1.99	1.97	1.95	2.11
	Alopias pelagicus	Pelagic thresher shark Tiburón marrajo pelágico	PTH	1.22	1.87	1.98	1.81	1.95	1.25	1.29	1.17	1.00	1.93	1.89	2.00	2.16
	Alopias vulpinus	Common thresher shark Tiburón marrajo común	ALV	1.67	1.87	1.59	1.81	1.56	1.75	1.71	1.67	1.40	1.49	1.52	1.56	1.79
	Isurus oxyrinchus	Shortfin mako shark Tiburón marrajo dientuso	SMA	1.22	2.12	2.10	2.04	2.06	1.25	1.29	1.33	1.40	2.04	2.01	1.97	1.91
Rays Mantarrayas	*Manta birostris*	Giant manta ray Manta gigante	RMB	1.22	1.90	1.99	1.83	1.96	1.00	1.00	1.00	1.00	2.17	2.17	2.17	2.17
	Mobula japanica	Spinetail manta	RMJ	1.78	1.90	1.52	1.83	1.48	1.63	1.71	1.67	1.80	1.61	1.53	1.57	1.46
	Mobula thurstoni	Smoothtail manta	RMO	1.67	1.90	1.61	1.83	1.57	1.50	1.57	1.50	1.60	1.72	1.65	1.72	1.63
Large fishes Peces grandes	*Coryphaena hippurus*	Common dolphinfish Dorado común	DOL	2.78	1.64	0.68	1.63	0.67	2.88	2.86	2.83	2.80	0.64	0.65	0.65	0.66
	Coryphaena equiselis	Pompano dolphinfish Dorado pompano	CFW	2.89	1.48	0.50	1.45	0.46	3.00	3.00	3.00	3.00	0.45	0.45	0.45	0.45
	Acanthocybium solandri	Wahoo Peto	WAH	2.67	1.57	0.66	1.55	0.64	2.75	2.71	2.67	2.80	0.60	0.62	0.64	0.59
	Elagatis bipinnulata	Rainbow runner Salmón	RRU	2.78	1.46	0.51	1.45	0.50	2.75	2.71	2.67	2.60	0.51	0.53	0.56	0.60
	Mola mola	Ocean sunfish Pez luna	MOX	1.78	1.49	1.32	1.50	1.32	1.63	1.71	1.83	2.00	1.46	1.38	1.27	1.12
	Caranx sexfasciatus	Bigeye trevally Jurel voraz	CXS	2.56	1.25	0.51	1.23	0.50	2.50	2.43	2.50	2.60	0.55	0.62	0.55	0.46
	Seriola lalandi	Yellowtail amberjack Medregal rabo amarillo	YTC	2.44	1.49	0.74	1.48	0.73	2.38	2.57	2.50	2.80	0.79	0.64	0.69	0.52
Small fishes Peces pequeños	*Canthidermis maculata*	Rough triggerfish Pez ballesta	CNT	2.33	1.35	0.75	1.35	0.75	2.25	2.14	2.17	2.20	0.83	0.93	0.90	0.87
	Sectator ocyurus	Bluestriped chub Chopa	ECO	2.22	1.38	0.86	1.35	0.85	2.13	2.14	2.17	2.20	0.94	0.93	0.90	0.87
Turtles Tortugas	*Lepidochelys olivacea*	Olive Ridley turtle Tortuga golfina	LKV	1.89	1.73	1.33	1.82	1.38	1.75	1.86	2.00	1.80	1.49	1.40	1.29	1.45

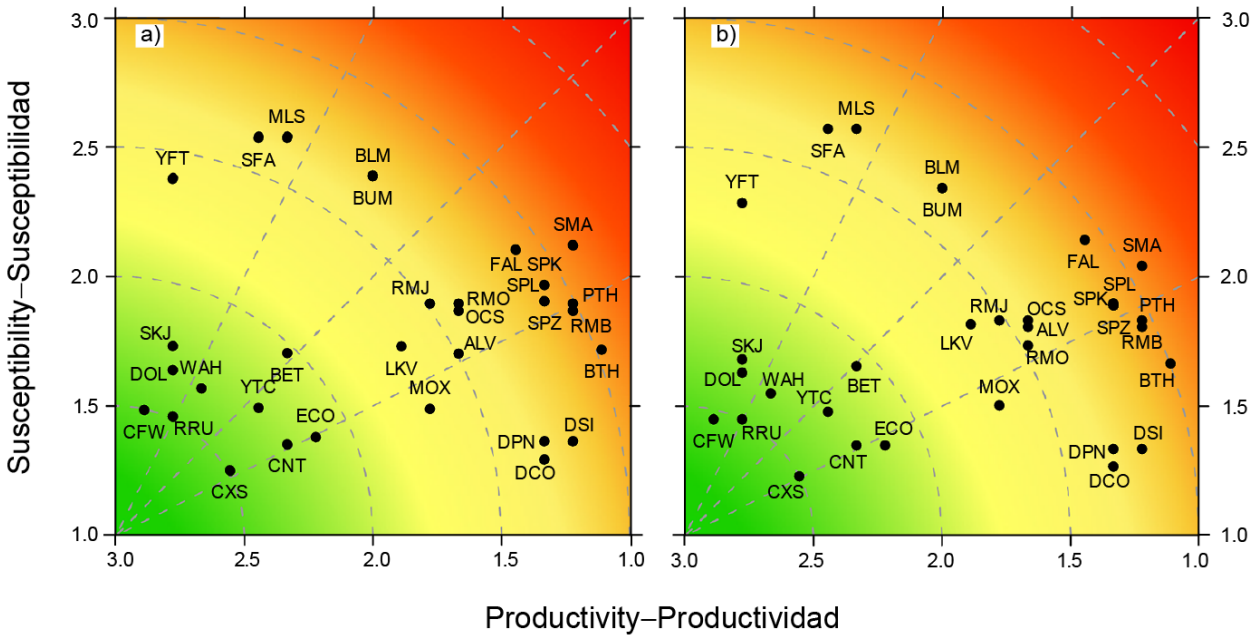

FIGURE 1. Productivity and susceptibility x-y plot for target and bycatch species caught by the purse-seine fishery of the EPO during 2005-2013, based on: (a) the original unweighted PSA productivity scores and a down-weighted susceptibility score for the areal overlap/geographical concentration attribute; and (b) unweighted susceptibility scores. See Table 4 for species codes. Risk: green = low, yellow = moderate, red = high

FIGURA 1. Gráfica x-y de productividad y susceptibilidad para especies objetivo y de captura incidental capturadas por la pesquería cerquera del OPO durante 2005-2013, basada en (a) las puntuaciones de productividad no ponderadas del APS original y una puntuación de susceptibilidad con ponderación reducida para el atributo de solape zonal/concentración geográfica y (b) puntuaciones de susceptibilidad no ponderadas. Ver la Tabla 4 para los códigos de especies. Riesgo: verde = bajo, amarillo = moderado, rojo = alto.

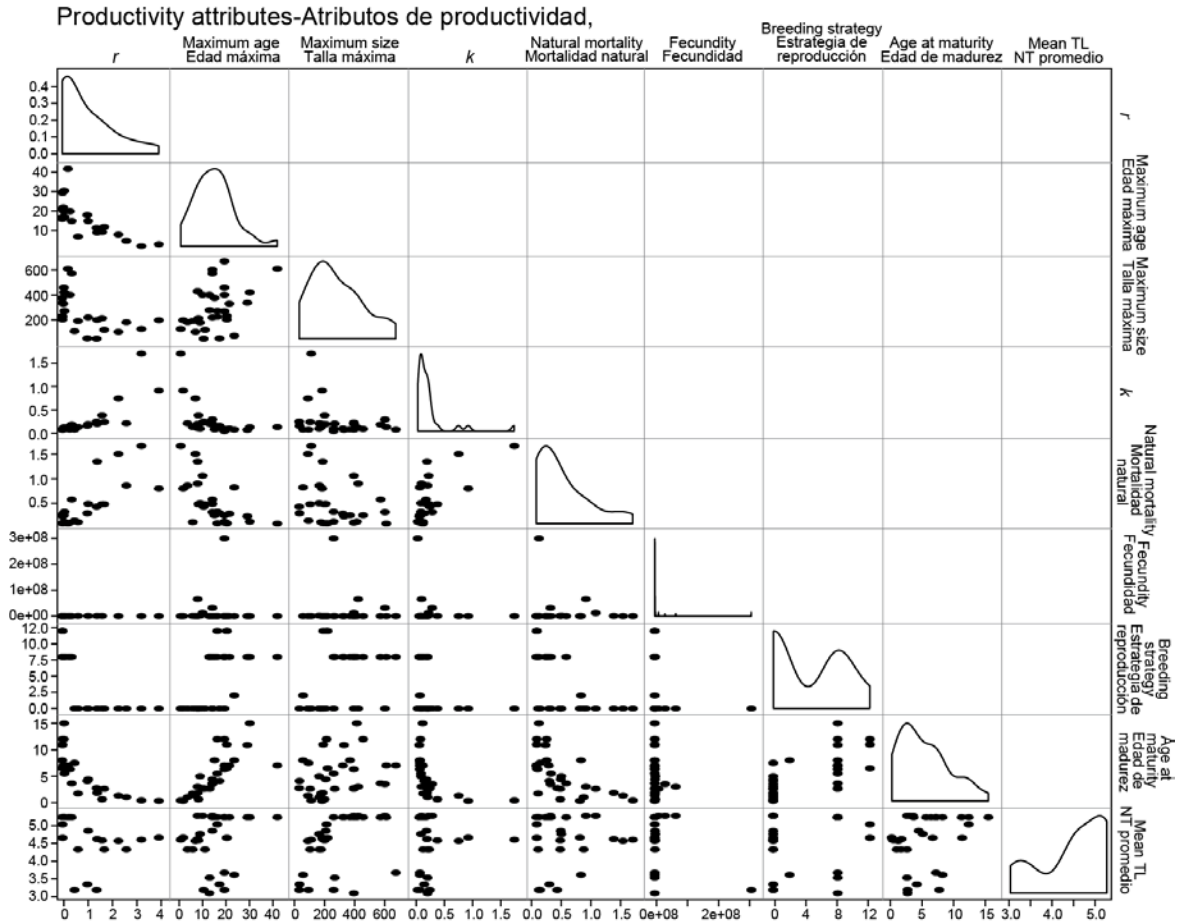

FIGURE 2. Scatterplot matrix of relationships between pairs of productivity attributes: intrinsic rate of population growth (*r*), maximum age (years), maximum size (L_{max}; cm), von Bertalanffy growth coefficient (*k*), natural mortality (*M*), fecundity, breeding strategy, age at maturity (years), mean trophic level (mean TL). Information on productivity attributes for each species was compiled from published and unpublished sources and EPO fisheries data used in the IATTC staff's previous PSAs.

FIGURA 2. Matriz de relaciones entre parejas de atributos de productividad: tasa intrínseca de crecimiento de población (*r*), edad máxima (años), talla máxima (L_{max}; cm), coeficiente de crecimiento de von Bertalanffy (*k*), mortalidad natural (*M*), fecundidad, estrategia reproductora, edad de madurez (años), nivel trófico medio (NT medio). Se compiló la información sobre los atributos de productividad de cada especie de fuentes publicadas e inéditas y de datos de la pesca del OPO usados en los ASP previos del personal de la CIAT.

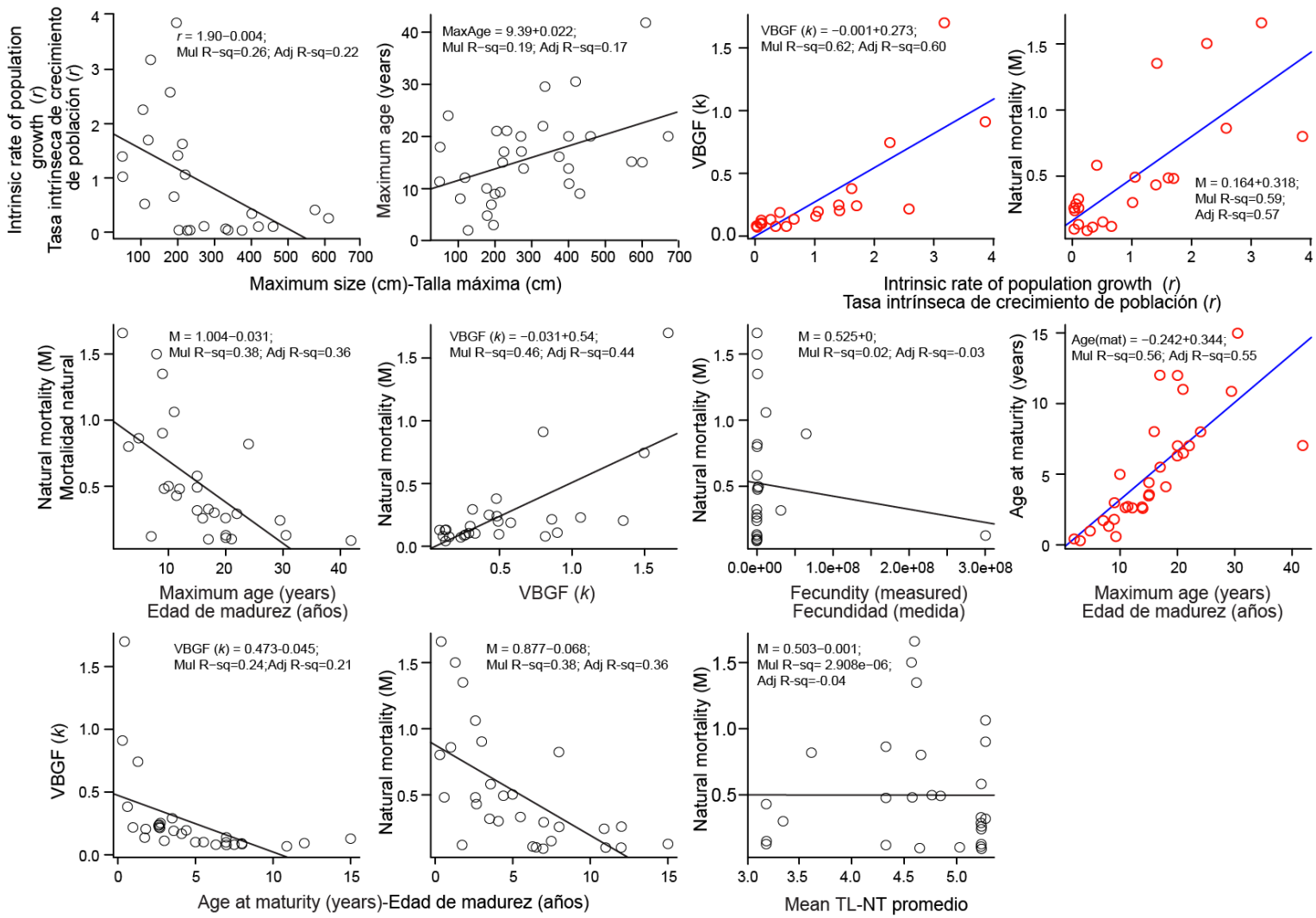

FIGURE 3. Simple linear regressions (and equations) for pairs of productivity attributes expected to be correlated based on expert opinion outlined in Table 3. Red represents relationships with an adjusted $R^2 > 0.5$. VBGF (*k*) = von Bertalanffy growth factor (*k*).

FIGURA 3. Regresiones lineales simples (y ecuaciones) para parejas de atributos de productividad que se espera estén correlacionadas con base en la opinión experta resumida en la Tabla 3. Rojo representa relaciones con un R^2 ajustado > 0.5. VBGF (*k*) = factor de crecimiento de von Bertalanffy (*k*).

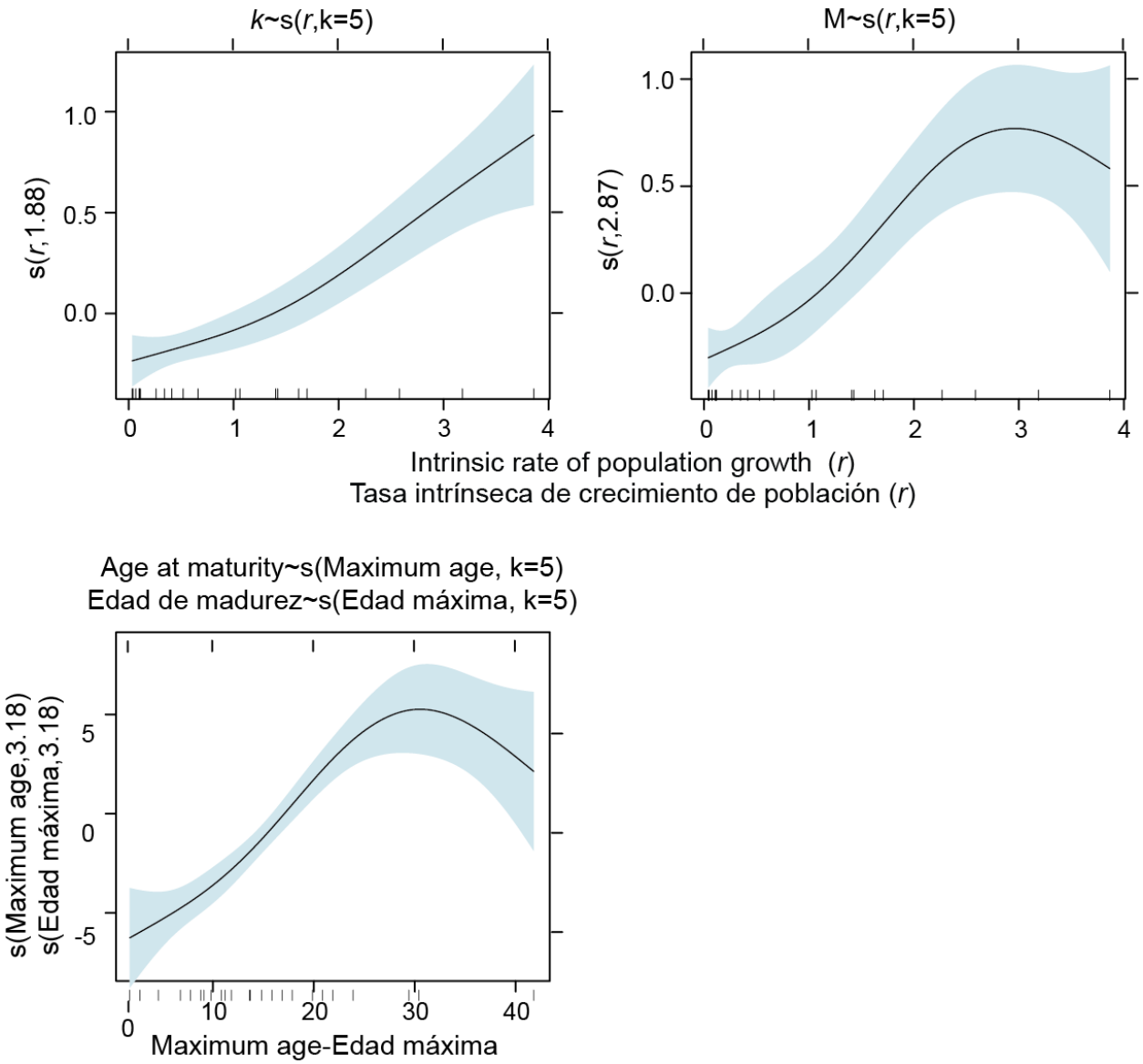

FIGURE 4. Smooth terms obtained from the GAMs fitted to the three pairwise relationships with an adjusted $R^2 > 0.5$ (Figure 3); (a) von Bertalanffy growth coefficient *k* modeled as a smooth term of the intrinsic rate of population growth (*r*); (b) natural mortality (*M*) modeled as a smooth term of *r*; and (c) age at maturity modeled as a smooth term of maximum age.

FIGURA 4. Términos suavizados obtenidos de los MAG ajustados a las tres relaciones emparejadas con un R^2 ajustado > 0.5 (Figura 3); (a) coeficiente de crecimiento de von Bertalanffy *k* modelado como término suavizado de la tasa intrínseca de crecimiento de la población (*r*), (b) mortalidad natural (*M*) modelada como término suavizado de *r*, y (c) edad de madurez modelada como término suavizado de la edad máxima.

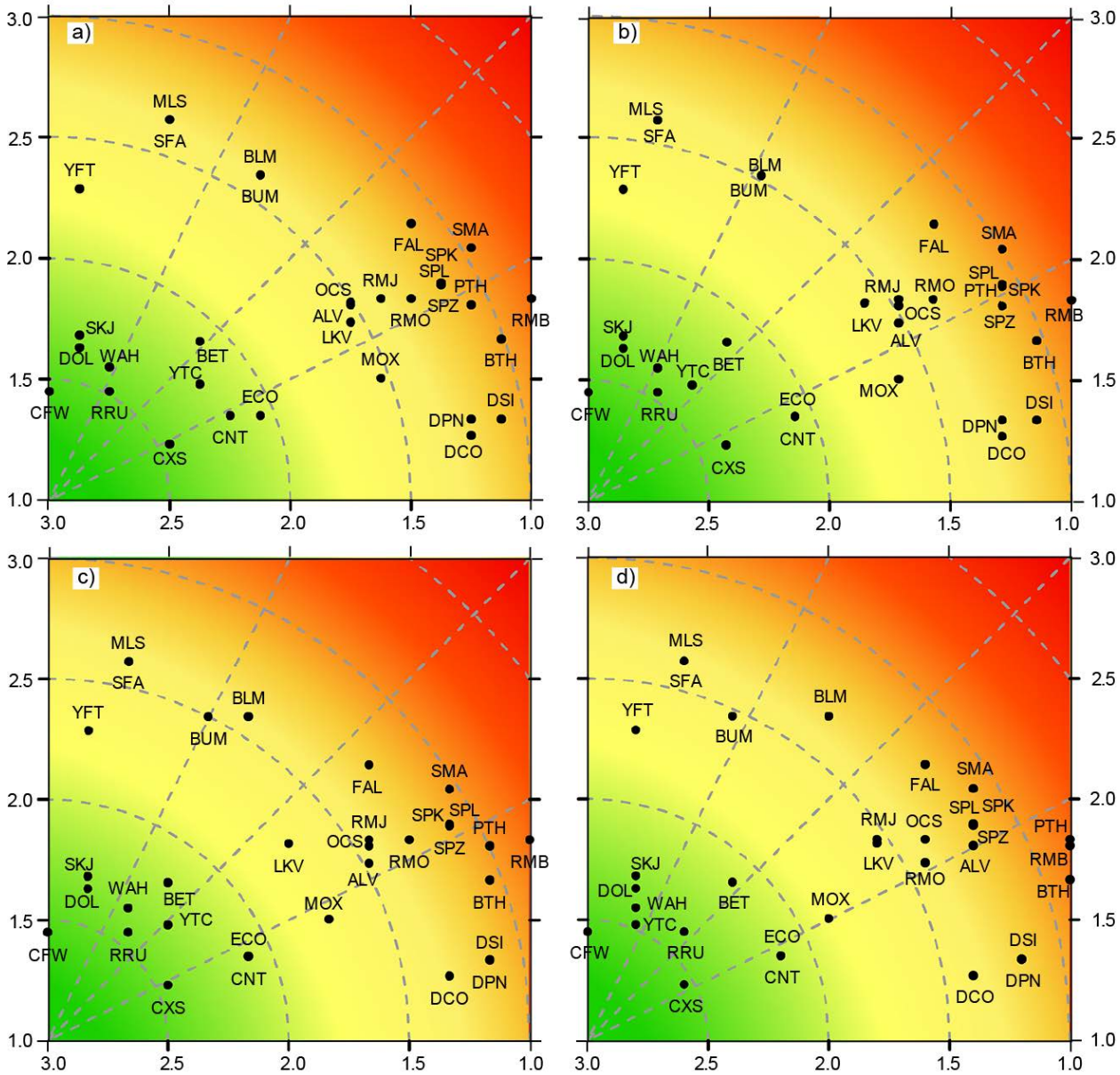

FIGURE 5. PSA plots after productivity parameter reduction: (a) one attribute removed: mean trophic level (TL), (b) two attributes removed: mean TL and the intrinsic rate of population growth (*r*), (c) three attributes removed: mean TL , *r*, and maximum age, and (d) four attributes removed: mean TL, *r*, maximum age, and natural mortality (*M*). The susceptibility scores are based on the unweighted s_j^1 (s_{rev} in Table 4). The 3-alpha species codes are defined in Table 4. Risk: green = low, yellow = moderate, red = high

FIGURA 5. Gráficas de ASP después de reducción de parámetros de productividad: (a) un atributo eliminado: nivel trófico (NT) medio; (b) dos atributos eliminados: NT medio y la tasa intrínseca de crecimiento de población (*r*); (c) tres atributos eliminados: NT medio, *r*, y edad máxima; y (d) cuatro atributos eliminados: NT medio, *r*, edad máxima, y mortalidad natural (*M*). Las puntuaciones de susceptibilidad se basan en s_j^1 no ponderado (s_{rev} en la Tabla 4). En la Tabla 4 se definen los códigos de especies 3-alfa. Riesgo: verde = bajo, amarillo = moderado, rojo = alto.

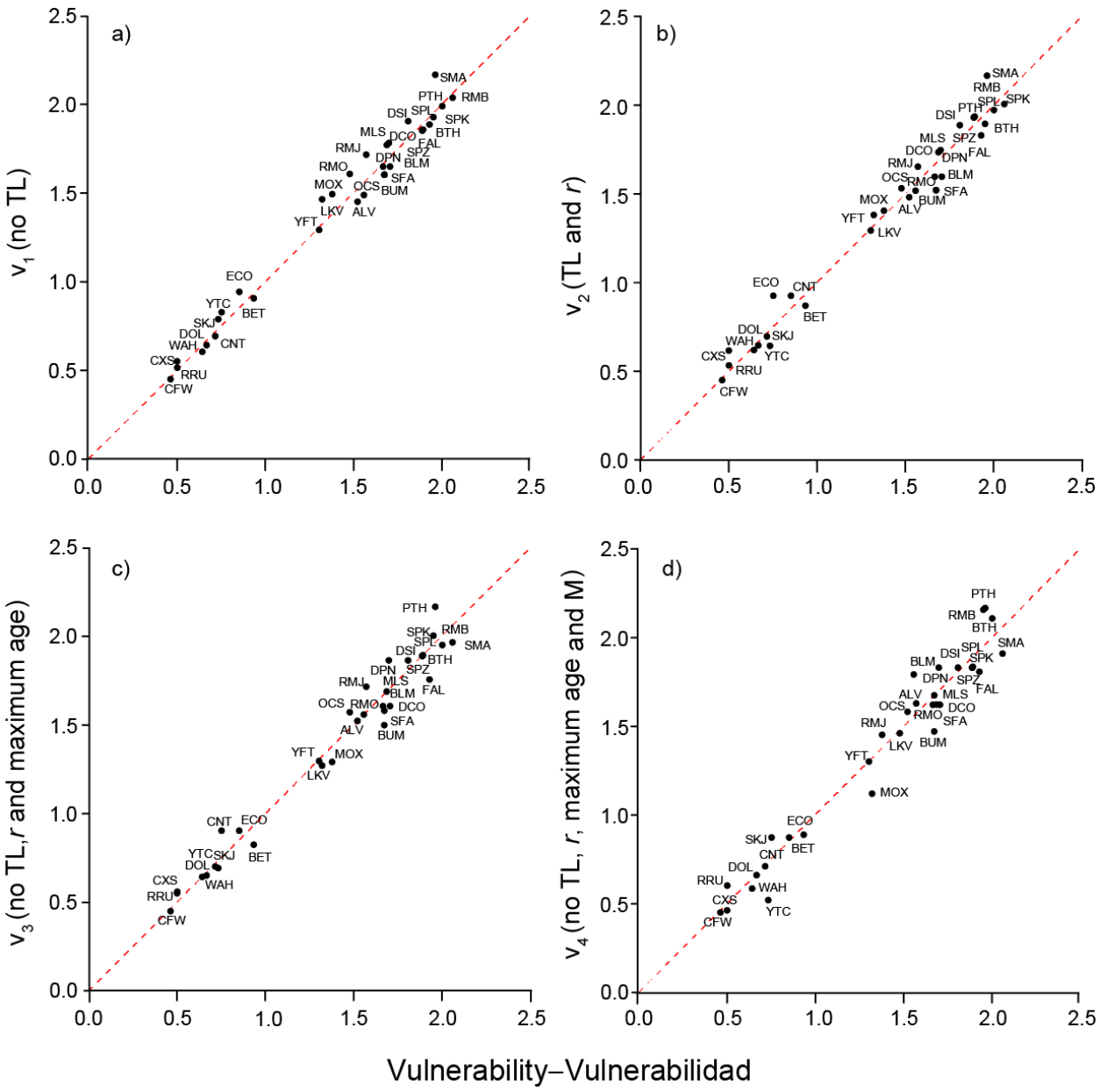

FIGURE 6. Comparison of overall unweighted vulnerability (*v*) scores using all 9 productivity attributes (*v* unweighted) and (a) 8 attributes, with mean trophic level (TL) removed; (b) 7 attributes, with mean TL and the intrinsic rate of population growth (*r*) removed; (c) 6 attributes, with mean TL, *r*, and maximum age removed; and (d) 5 attributes, with mean TL, *r*, maximum age, and natural mortality (*M*) removed. The 3-alpha species codes are defined in Table 4. The dashed lines show the 1-to-1 line.

FIGURA 6. Comparación de puntuaciones de vulnerabilidad (*v*) general no ponderada, usando todos los 9 atributos de productividad (*v* no ponderada) y (a) 8 atributos, con nivel trófico (NT) medio eliminado; (b) 7 atributos, con NT medio y la tasa intrínseca de crecimiento de población (*r*) eliminados; (c) 6 atributos, con NT medio, *r*, y edad máxima eliminados; y (d) 5 atributos, con NT medio, *r*, edad máxima, y mortalidad natural (*M*) eliminados. En la Tabla 4 se definen los códigos de especies 3-alfa. Las líneas de trazos representan la correspondencia 1:1.