



INFORME FINAL

FIPA 2017-52

“EVALUACIÓN DE BIOMASA Y ANÁLISIS DEL ESTADO DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRADERAS NATURALES DE ALGAS PARDAS (HUIRO NEGRO, HUIRO PALO Y HUIRO FLOTADOR) EN LAS ÁREAS DE LIBRE ACCESO DE LA XV REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, I REGIÓN DE TARAPACÁ Y II REGIÓN DE ANTOFAGASTA”.



Septiembre 2018

PROYECTO FIP 2017-52

EVALUACIÓN DE BIOMASA Y ANÁLISIS DEL ESTADO DE EXPLOTACIÓN DE LAS PRADERAS NATURALES DE ALGAS PARDAS (HUIRO NEGRO, HUIRO PALO Y HUIRO FLOTADOR) EN LAS ÁREAS DE LIBRE ACCESO DE LA XV REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, I REGIÓN DE TARAPACÁ Y II REGIÓN DE ANTOFAGASTA.

UNIDAD EJECUTORA: UNIVERSIDAD CATOLICA DEL NORTE

Departamento de Biología Marina

Facultad de Ciencias del Mar

JEFE DE PROYECTO: Julio A. Vásquez

INDICE GENERAL

1. ANTECEDENTES _____	10
1.1 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICO-PESQUERAS DE LAS ESPECIES DE ALGAS PARDAS EN LAS REGIONES DE ESTUDIO. _____	13
1.1. JUSTIFICACIÓN _____	18
2. OBJETIVO GENERAL _____	20
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS _____	20
3. METODOLOGIA _____	21
6. CARTA GANTT _____	140
7. COMPOSICION Y ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO PROFESIONAL Y TECNICO _____	141
8. BIBLIOGRAFIA _____	144
9. ANEXOS _____	144

INDICE DE TABLAS

Tabla 1a. Localidades, ubicación y fechas de muestreos directos de *Lessonia berteroana* y *L. trabeculata* para las distintas localidades en las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en la temporada primavera-verano _____ 22

Tabla 1b. Localidades, ubicación y fechas de muestreos directos de *Lessonia berteroana* y *L. trabeculata* en las localidades de las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en la temporada de muestreo otoño-invierno _____ 23

Tabla 2. Detalle de la estructura del muestreo para la evaluación directa de las poblaciones de *Lessonia berteroa* en las distintas localidades en las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB) en las temporadas de muestreo primavera-verano 2017 y otoño-invierno 2018____26

Tabla 3. Detalle de la estructura del muestreo para la evaluación directa de las poblaciones naturales de *Lessonia trabeculata* en las distintas localidades en las regiones XV Arica y Parinacotas, I Iquique y II Antofagasta en áreas de libre acceso (ALA), en las temporadas de muestreo de primavera-verano 2017 y otoño-invierno 2018_____28

Tabla 4. Localidades de áreas de denudación de sustrato y marcaje de plantas para estimación de tasa de reclutamiento, mortalidad natural y crecimiento para *Lessonia berteroa* en distintas localidades de las regiones XV, I y II en áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB). Localidades de instalación de placas de concreto para estimación de reclutamiento de *Lessonia trabeculata* en distintas localidades en las regiones XV, I y II en áreas de libre acceso (ALA)_____30

Tabla 5. Abundancia total promedio y biomasa disponible promedio de *Lessonia berteroa* en las localidades de evaluación directa en las regiones XV, I y II, agregando áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno_____60

Tabla 6. Abundancia total promedio y biomasa disponible promedio de *Lessonia berteroa* resultado de evaluaciones directas en las regiones XV, I y II, agregando áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno_____60

Tabla 7. Abundancia total promedio y biomasa disponible promedio de *Lessonia trabeculata* en las localidades de evaluación directa en las regiones XV, I y II, en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno._____61

Tabla 8. Abundancia total promedio y biomasa disponible promedio de *Lessonia trabeculata* resultado de evaluaciones directas en las regiones XV, I y II, en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno._____61

Tabla 9. Estimación de biomasa disponible y cosechable de *Lessonia berteroa* en localidades de evaluación directa en las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno._____61

Tabla 10. Estimación de biomasa disponible y cosechable de *Lessonia trabeculata* en localidades de evaluación directa en las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA), en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno._____62

Tabla. 11. Agentes registrados de algas pardas en las regiones XV, I y II. (Fuente www.Sernapesca.cl)_____114

Tabla. 12. Agentes registrados de algas pardas en las regiones XV, I y II. (Fuente www.Sernapesca.cl)_____115

Tabla 13. Zonificación costera de la II Región en función del plan de manejo de algas pardas (Fuente González & Ortiz 2012)._____116

Tabla 14. Registro de desembarque, caletas, sectores y usuarios (extractores) para la II Región desde el año 2012 al 2015 (www.Sernapesca.cl)_____116

Tabla 15. Desembarque (t) y rendimiento medio anual de los recursos “huiros” (www.Sernapesca.cl)_____117

Tabla 16. Aporte al desembarque (%) por zona de operación y años del recurso huiros en la II Región. El total considera el acumulado para el periodo 2012 -2015 (www.Sernapesca.cl)_____117

Tabla 17. Número de usuarios de los recursos huiro por zona de operación y año, registrados de acuerdo a su RPA en la II Región. El año 2015 considera hasta el mes de junio (*) y los totales no consideran repetición de usuarios (www.Sernapesca.cl)____118

Tabla 18. Rendimientos medios (t/usuario) por año y zona de operación. El año 2015 considera sólo hasta el mes de junio (*) (www.Sernapesca.cl)_____118

Tabla 19. Parámetros y variables bio-pesqueros del recurso huiro negro en la I y II Regiones. Valores de entrada y salidas asociados al modelo de producción global.__120

Tabla 20. Biomasa de *Lessonia berteriana* evaluada indirectamente mediante fotogrametría de vuelos a baja altura (Cuadricópteros) y estimaciones de biomasa directa en las tres regiones de estudio._____128

TABLA 21. Regresión de valores de biomasa evaluados directamente en Caleta Urco (kg m⁻²) y de iteración de valores obtenidos mediante imágenes multiespectrales (Método de Existencia)._____130

TABLA 22. Regresión de valores de biomasa evaluados directamente en Caleta Urco (kg m⁻²) y de iteración de valores obtenidos mediante imágenes multiespectrales (Método de Existencia)._____131

TABLA 23. Regresión de valores de biomasa evaluados directamente en Caleta Urco (kg m⁻²) y de iteración de valores obtenidos mediante imágenes multiespectrales (Método de Existencia)._____132

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Evaluación indirecta uso de vuelos no tripulados_____154

Anexo 2: Medición biomasa drones. Comparación regresiones_____241

RESUMEN EJECUTIVO

Entre septiembre 2017 y junio 2018, en dos estaciones contrastantes (primavera-verano 2017, otoño-invierno 2018), se han desarrollado 16 campañas de muestreo, para evaluar la abundancia y distribución de *Lessonia berteroana*, *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis pyrifera* en las regiones de Arica y Parinacotas, Tarapacá y Antofagasta. Además, durante estas campañas se han desarrollado experimentos de marcaje y recaptura, con el fin de evaluar mortalidad, reclutamiento y crecimiento de cada una de las especies objetivo en todas las regiones de estudio.

Durante la ejecución del proyecto entre enero y junio 2018, se realizaron evaluaciones de poblaciones naturales de *Lessonia berteroana* y *Macrocystos pyrifera*, en cada una de las regiones de estudio, usando vuelos no tripulados (drones y cuadricopteros) con el fin de generar propuestas para establecer estrategias de evaluaciones indirectas.

En toda la costa del área de estudio, los ambientes costeros intermareales con poblaciones de *Lessonia berteroana* muestran evidencia de intensa y frecuente cosecha y recolección. Esto a pesar de las restricciones impuestas por la Subsecretaría de Pesca, quien restringe la cosecha por barroteo y limita la recolección de algas varadas (mortalidad natural; 2 y 5 toneladas por recolector/pescador autorizado en Tarapacá y Antofagasta respectivamente). Como consecuencia de lo anterior, las poblaciones están compuestas principalmente por individuos juveniles, carentes de estructuras reproductivas, lo que debiera impactar negativamente el reemplazo de los adultos que son permanentemente barreteados.

Las poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana* evidencian reclutamientos permanentes, en consecuencia con alta densidad de individuos juveniles, que poco contribuyen a la biomasa por unidad de área. Como consecuencia de las cosechas intensas y frecuentes, la población presenta menores tamaños promedios de individuos adultos. Además, estas poblaciones están constituidos frecuentemente por individuos juveniles en procesos de coalecencia, lo que generan individuos con discos de adhesión mayores a 20 cm de diámetro, sin estructuras reproductivas.

Existe un aumento significativo de recolectores de orilla y cosechadores ilegales (sin RPA o sin inscripción de algas pardas entre sus especies autorizadas), que ven en la recolección su única fuente de sustento. Durante los muestreos no se detectaron eventos de fiscalización en ninguna de las regiones y/o localidades de muestreo. La evaluación de recolectores ilegales es riesgosa para los encuestadores e incluso fiscalizadores, y de una transumancia dinámica lo que hace difícil detectarlos.

Una de las consecuencias del aumento de recolectores ilegales, la baja fiscalización y la alta demanda por materia prima para la extracción de alginatos, es la desaparición de los varaderos naturales de algas pardas. Los varaderos históricos en áreas de libre acceso han sido virtualmente invadidos por recolectores de orilla (legal e ilegal), quienes han construido “rucos” para la recolección y venta permanente de algas pardas de las tres especies estudiadas. Para el desarrollo del proyecto, esto ha limitado la evaluación de la mortalidad natural y la evaluación de las tasas de varado de cada una de las especies objetivo, en las tres regiones de estudio.

La intensidad y frecuencia de la cosecha y recolección, y el aumento de extractores y recolectores de orilla han impactado fuertemente a los experimentos asociados a la evaluación de la mortalidad natural, reclutamiento y crecimiento de las tres especies objetivo en las tres regiones de estudio. De los cientos de plantas marcadas, los porcentajes de recuperación han sido extremadamente bajos, debilitando las conclusiones que emanan de estos experimentos de campo.

Aun cuando los TTR del Proyecto FIP 2017-52 se enmarcan exclusivamente en ALAs, se estimó necesario realizar evaluaciones en AMERBs de *Lessonia berteroana*, con el fin de contrastar la abundancia de esta especie en áreas con una estrategia de manejo diferente (Plan de manejo regional vs plan de manejo local-AMERB). En este contexto, considerando la biomasa y la densidad de *Lessonia berteroana*, se evidencia diferencias importantes entre áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB). Las áreas de libre acceso tienen mayor densidad de plantas

(mayoritariamente juveniles) y menor biomasa que las áreas costeras bajo régimen de conservación de AMERB.

Como consecuencia de la alta demanda por biomasa de algas pardas, las praderas intermareales de *Macrocystis pyrifera* y de distribución somera submareal hasta los 6-7 m de profundidad, están desapareciendo por cosecha directa con arañas lanzadas desde la costa. La distribución de *Macrocystis* es fragmentada con poblaciones que se distribuyen entre los 0 y los 12 m de profundidad, en las regiones de Tarapacá y Antofagasta.

Para *Lessonia trabeculata* la distribución y abundancia de su densidad y biomasa, muestra poblaciones submareales con una alta disponibilidad (*Standing stock*) de plantas adultas. La biomasa cosechable de *Lessonia trabeculata* (*Standing crop*) supera el 50% de la biomasa disponible, generando grandes poblaciones con importantes aporte de biomasa cosechable, en las tres regiones estudiadas. A diferencia de la presión de cosecha sobre las poblaciones intermareales, durante los muestreos de evaluación directa no se detectó extracción de las poblaciones submareal de *Lessonia trabeculata*.

Considerando los actuales niveles de abundancia (densidad y biomasa) de *Lessonia berteroa* y de la composición demográfica de sus poblaciones, es relevante considerar medidas de mayor efectividad en el manejo y conservación de esta especie en áreas de libre acceso. Es importante considerar que *L. berteroa* contribuye en 70% de los desembarques de las regiones estudiadas. Los actuales planes de manejo regional para ALAs prohíben la cosecha mediante barroteo y restringen la recolección de algas varadas. Dada la difícil fiscalización de una largísima línea de costa entre Arica y Parinacotas hasta la región de Antofagasta, gran parte de baja accesibilidad, las restricciones de cosecha y recolección no están siendo efectivas. Prueba de lo anterior es el aumento de los desembarques, los cambios demográficos de las poblaciones, disminución de adultos reproductivos, desaparición de varaderos naturales, entre otros.

Considerando los resultados alcanzados en este proyecto, cuyo principal objetivo es la evaluación de la distribución y abundancia de algas pardas de importancia económica (*standing stock* y *standing crop*; lo disponible y lo cosechable), el ejecutor se reunió con el Comité de Recursos Bentónicos de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Valparaíso 2 agosto 2018) y la Dirección Zonal de la Subsecretaría de Pesca de las Regiones XV, I y II (Iquique 25 de octubre 2018). En ambas reuniones el Director del proyecto FIPA 2017-52 informó de los resultados del proyecto.

Los resultados sugieren urgentes medidas de conservación y regulación de la extracción y recolección de los recursos objetivos. Entre las medidas regulatorias se contemplan: (1) vedas extractivas, (2) vedas biológicas, (3) fiscalización de plantas más que fiscalización de extractores, (5) regulación de exportaciones.

1. ANTECEDENTES

La pesquería de algas pardas entre la XV y II Regiones, constituye una actividad de alta importancia económica y social dentro del subsector pesquero artesanal, que en los últimos años ha presentado un aumento significativo en sus desembarques (Vásquez 2016), por el deterioro que han experimentado otras pesquerías emblemáticas como el jurel y la anchoveta (Anuarios Estadísticos SERNAPESCA). Producto de lo anterior, pescadores artesanales han diversificado su actividad hacia la explotación del recurso algas, lo que ha dado cuenta de un aumento del esfuerzo pesquero y en consecuencia, de los desembarques. Es necesario señalar que producto de las escasas barreras de acceso a la actividad y la falta de control costero, existe la operación de muchas personas que no teniendo registro de pescador artesanal o no teniendo el recurso inscrito acrecientan el impacto sobre las poblaciones naturales.

Para generar estrategias de manejo y conservación, es necesario contar con estudios permanentes que permitan conocer el real estado de las poblaciones naturales de estos recursos, lo que servirá de insumo para el establecimiento de medidas regulatorias que

se ajusten al principio de conservación y enfoque ecosistémico establecido en la LGPA. Es necesario mencionar que las praderas de algas son especies estructuradoras de ecosistemas costeros (Ortiz 2003, Graham *et al.* 2007, Vásquez *et al.* 2008, 2012, Vásquez 2016), y en tal sentido, su extracción necesariamente impacta a otras especies asociadas (Thiel *et al.* 2007). Es por esta razón, y bajo el espíritu que la propia Ley establece, que se hace necesario determinar periódicamente (escala anual) los niveles de abundancia y biomasa de estos recursos, definir su estado de conservación, y establecer estrategias de explotación adecuadas para propender hacia un manejo sustentable (Vásquez *et al.* 2012, Vega *et al.* 2014).

Las regiones donde se focaliza el presente estudio, el recurso algas pardas, se encuentran en régimen de plan de manejo (Ortiz *et al.* 2016, Informe Final FIPA 2014-16), cuyo objetivo es propender a la sustentabilidad a largo plazo, mediante una explotación ordenada y con énfasis en los aspectos biológico, económico y social. Es por ello, que se hace relevante conocer el comportamiento de la biomasa/abundancia en el tiempo. En este contexto, se justifica la actualización constante del conocimiento sobre la dinámica de las praderas naturales sometidas a cosecha, los niveles de biomasa/abundancia y los parámetros biológicos pesqueros que permitan realizar proyecciones sobre el estado de las mismas en el corto, mediano y largo plazo (Vásquez *et al.* 2012, Vega *et al.* 2014). Los resultados de este estudio deberán ser considerados en el plan de manejo de las tres regiones en estudio.

Por lo anterior, es necesario un insumo constante de periodicidad anual de información respecto al real estado de la pesquería. Entre otros, la biomasa total y explotable, y el efecto de la extracción sobre otras comunidades, información necesaria para la toma de decisiones y la posible adecuación de actuales planes de manejo en función de la mejor información disponible.

Es de suma importancia contar con información sobre la distribución y abundancia de las especies de algas pardas de importancia comercial en el área de estudio establecida, estado de explotación de los recursos, tasa de deshidratación (control del

desembarque), tasa de mortalidad y varamiento. Como parte de los compromisos, y una forma de mejorar las evaluaciones, se requiere una propuesta de evaluación indirecta de estimación de la biomasa. Estos insumos permitirán el adecuado funcionamiento y posible modificación del plan en caso de ser necesario.

La pesquería de algas pardas (“huiros”), se ha constituido en la pesquería de mayor importancia económica y social en el norte de Chile (Vásquez *et al* 2014, Vásquez 2016). Esta pesquería es de fácil acceso, atípica (recolección manual/activa), de bajos costos de operación, y que no requiere de habilidades específicas para cosecha y recolección de las especies objetivo. Además, dada la longitud y el difícil acceso de la costa del norte de Chile, hacen que su fiscalización por la autoridad competente sea tremendamente difícil de realizar.

Las algas pardas son organismos estructuradores de comunidades costeras, generando focos de biodiversidad, así, la cosecha indiscriminada de estos recursos, afecta significativamente la biodiversidad de ambientes marinos litorales. En este contexto, este proyecto generará información relevante de la biomasa disponible y cosechable en las áreas de estudio, de tres especies objetivo. Esto, constituye el insumo fundamental para establecer medidas precautorias y remediales, especialmente en áreas de libre acceso.

Este proyecto, mediante la recopilación y análisis de la información histórica disponible, permitirá, además, caracterizar y evaluar el estado de explotación actual de los recursos huiro negro, huiro palo y huiro flotador en la zona de estudio. Evaluar la tasa de mortalidad natural en los varaderos naturales y determinar la tasa de varamiento (biomasa varada/unidad de tiempo) del recurso huiro negro y huiro palo.

Evaluar las tasas de deshidratación de los recursos objetivos huiro flotador y huiro palo, permitirá contar con un grado de control del desembarque en plantas de transformación, estableciendo un control en distintos puntos de la cadena productiva.

El desarrollo de este proyecto, para las áreas de estudio establecidas en las tres regiones más ecuatoriales del país, generará información relevante para la toma de decisiones (veda extractiva, criterios de extracción, límite de extracción, cierre de acceso, otros) y la propuesta de planes de manejo sustentable para las áreas de estudio. Para lo anterior y como producto del estudio propuesto, se desarrollará un modelo indirecto de estimación de biomasa que permita realizar proyecciones en el corto y mediano plazo, bajo distintas estrategias de explotación para las especies de “huiros”.

1.1 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICO-PESQUERAS DE LAS ESPECIES DE ALGAS PARDAS EN LAS REGIONES DE ESTUDIO.

Lessonia berteroana

Conocida como huiro negro o chascón, puede alcanzar hasta los 6 metros de longitud. Su disco adhesivo puede alcanzar los 50 o más cm de diámetro. Habita la zona intermareal en sectores rocosos expuestos, donde forma cinturones de ancho variable entre 2 y 10 metros en plataformas con baja pendiente. Las tallas máximas se alcanzan a los 5 y 6 años (González et al. 2002), con crecimiento durante todo el año.

El crecimiento de *L. berteroana* es influenciado por la fusión de discos y la presión de explotación. Las plantas fusionadas (coalecencia sensu Rodríguez *et al* 2014) alcanzan el tamaño mínimo de cosecha antes que aquellas que se mantienen individualizadas (Vásquez 2008, Rodríguez *et al* 2014), disminuyendo su potencial de reproducción. El reclutamiento de plantas de *L. berteroana* varía en función del espaciamiento en la extracción de plantas enteras, de la presión de cosecha y de la localidad. El reclutamiento de esta especie ocurre principalmente en primavera-verano (Vásquez *et al* 2008). Estudios experimentales demuestran que la talla de primera madurez sexual de las plantas varía con la presión de cosecha y de la estacionalidad durante un ciclo anual.

Esta especie se distribuye desde el sur del Perú hasta los 30° S (Tellier *et al* 2010, 2011, González *et al* 2012). El ciclo de vida es heteromórfico y los gametofitos son dioicos.

Como es característico en Laminariales, la fase macroscópica corresponde al esporofito.

Los esporangios uniloculares están agrupados en soros de forma irregular, los que comienzan a desarrollarse en la base de las láminas y avanzan a medida que éstas crecen. Después de la liberación de esporas, la zona de los soros se necrosa lo que contribuye a que el extremo distal de las frondas tienda a desgarrarse. Una vez que las meiosporas se asientan, germinan, dan origen a gametofitos microscópicos masculinos y femeninos, los cuales eventualmente se diferencian morfológicamente. Después de la fertilización, se inicia el desarrollo del esporofito (Santelices, 1989).

Los esporofitos de Huiro negro están reproductivos durante todo el año, con máximos reproductivos durante primavera verano. En general, la fertilización del gameto femenino (oogonia) por el gameto masculino (anterozoide), genera un cigoto que se desarrolla y forma el esporofito. Por lo tanto la presencia de plantas esporofíticas en el intermareal rocoso va a ser consecuencia de lo exitoso del proceso sexuado que ocurre en la fase gametofítica.

Lessonia trabeculata

Conocida como huiro palo, alcanza hasta 3-4 metros longitud en estado adulto, en poblaciones hasta los 30 m de profundidad. Habita la zona submareal formando bosques sobre el sustrato rocoso. Se distribuye desde el sur del Perú hasta los 42° S (Hoffman & Santelices, 1997). Las características más notorias que distinguen a esta especie, de las otras del género, son la presencia de trabéculas en las cavidades corticales de la lámina y estipes, y la morfología externa del disco. La presencia de cavidades corticales es una característica constante de la especie.

L. trabeculata presenta un ciclo de vida heteromórfico. El esporofito constituye la fase macroscópica, los gametofitos, microscópicos, son dioicos. Los soros esporangiales se disponen en bandas longitudinales medianas, en ambas caras de la lámina. Los esporangios miden entre 30 y 40µm de alto y 15µm de diámetro; las paráfisis miden entre 40 y 60µm de alto y 5-8µm de diámetro. Esporas mantenidas en cultivo germinan

a las 24 horas, y forman gametofitos de tres o más células al cabo de 15 días (Hoffman & Santelices, 1997).

Estudios realizados por Vásquez (1991, 1992), sugieren que existen correlaciones positivas entre el número de frondas reproductivas y el diámetro basal del disco, evidenciando que la planta a medida que aumenta de peso y tamaño, su potencial reproductivo también aumenta. Estudios realizados en este recurso por (Camus, (1994) y Camus *et al.* (1991), reportan reclutamiento y una expansión hacia el intermareal de la población de *L. trabeculata*. Camus & Ojeda (1992), también realizaron estudios en la fracción submareal acerca de relaciones morfométricas de este recurso y la densidad poblacional.

La fase esporofítica de huiro negro y huiro palo, produce sus estructuras reproductivas, generalmente, en la parte media y basal de la fronda, estas estructuras reproductivas están agrupadas en soros que se pueden distinguir a simple vista, como bandas longitudinales en ambas superficies de la fronda. La literatura ha reportado la presencia de soros esporangiales en la superficie de los estipes de huiro negro (Venegas *et al.*, 1992).

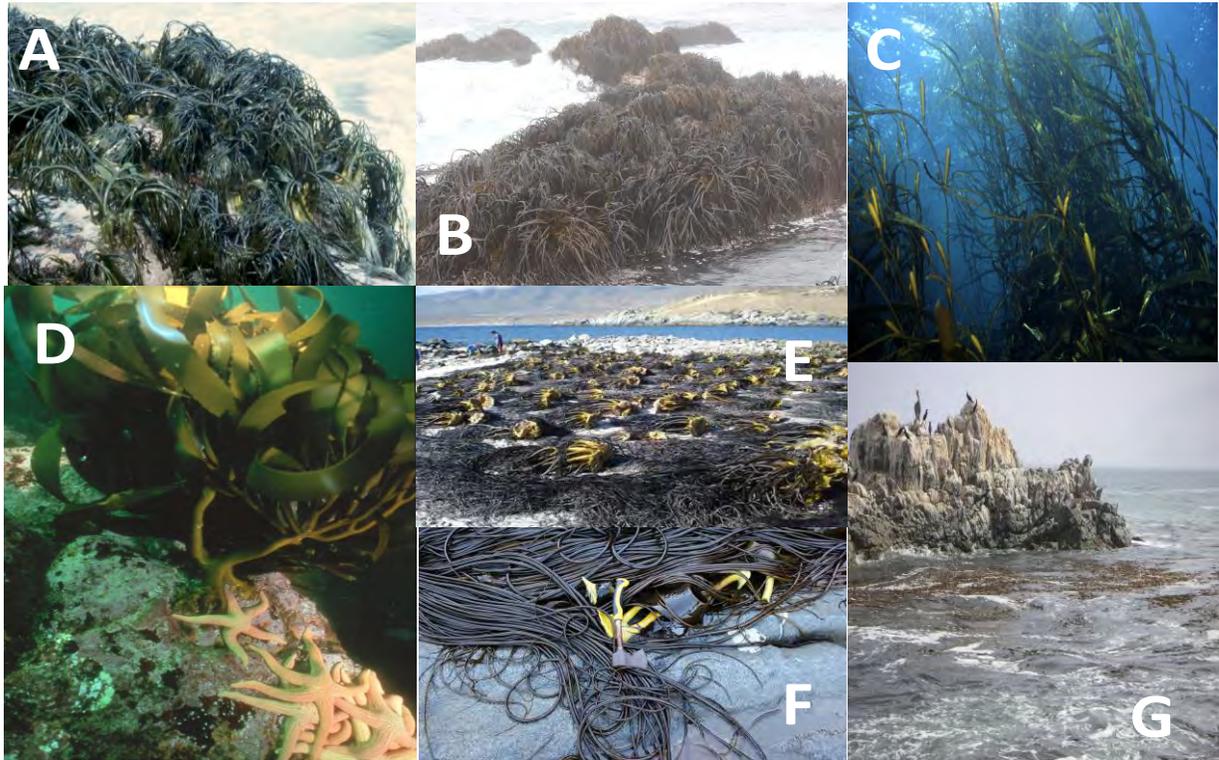
Estudios de madurez reproductiva realizados en frondas de Huiro palo recolectados en 5 praderas distribuidas en el litoral de la región de Los Lagos, mostraron presencia de soros esporangiales maduros durante todo un ciclo anual, observándose un mayor porcentaje de frondas maduras en los meses de invierno y primavera, con una mayor frecuencia de frondas reproductivas en plantas en el rango de tallas de 100 a 200 cm de longitud máxima (Ávila, 2012).

Existen registros de experiencias de cultivo y crecimiento de ejemplares de esta especie en el norte de Chile (Edding & Tala, 2003). Tala y Edding (2007) describen un patrón estacional del ritmo de crecimiento de frondas de huiro palo, este se incrementa a fines de invierno y primavera, y disminuye a fines de verano, observando además “erosión” de la parte distal de las frondas. Se ha estimado una productividad neta en primavera de $11 \text{ g/m}^2/\text{día}$.

Macrocystis pyrifera.

De acuerdo con Demes *et al* (2009) y Macaya y Zucarello (2010) *Macrocystis* es un género monoespecífico de amplia distribución en ambos Hemisferios. Su nombre común es “huiró canutilo” o “huiró pato”. Las plantas son erectas y de gran tamaño y se encuentran en hábitats submareales rocosos someros, protegidos de las olas hasta 30 m de profundidad. En Chile se distribuye entre Arica y el Cabo de Hornos. Esta especie renueva continuamente las frondas desprendidas desde el disco de fijación, la tasa de crecimiento de frondas presenta una estacionalidad marcada con máximos en primavera-verano. El reclutamiento de esta especie varía estacionalmente, con máximos en primavera y verano (Buschmann *et al* 2005, 2008), lo que sugiere estrechas ventanas reproductivas, a pesar de mantener estructuras reproductivas durante todo el ciclo anual. En *Macrocystis* como en otras algas pardas, la sobrevivencia de las esporas es de corta vida, y el rango de dispersión reducido. Sin embargo, plantas flotantes fértiles pueden actuar como agentes de distribución, aumentando significativamente el rango de dispersión de la especie, lo que es particularmente importante en esta especie por la presencia de aereocistos que le otorga alta flotabilidad (Thiel *et al.* 2007).

Los niveles de extracción (recolección y cosecha) en toda la costa norte de Chile, sugieren fuertemente actividades de cultivo. Durante los últimos 10 años, numerosos grupos han resultado los “cuellos de botella” para el cultivo de algas pardas en condiciones controladas de laboratorio (Ver trabajos de Buschmann, Westermeier, Tala, Vásquez y sus respectivos colaboradores). No obstante, con excepción de *Macrocystis*, mediante cultivos en cuerdas (“long-line”), los cultivos de *Lessonia* no han podido ser masivamente exitosos cuando plántulas juveniles son transplantadas al mar. En este contexto deberán realizarse nuevos y permanentes esfuerzos para generar restauraciones exitosas de las poblaciones naturales.



Algas pardas de importancia comercial en Chile. (A) *Lessonia berteroana*, (B) *Lessonia spicata*, (C) *Macrocystis pyrifera*, (D) *Lessonia trabeculata*, (E) Algas del complejo *Lessonia* secándose en playa, (F) *Durvillaea antártica*, (G) *Macrocystis pyrifera* praderas submareales someras. De Vásquez (2016) The Brown Seaweed Fishery in Chile in "Fisheries and aquaculture in the modern world" <http://dx.doi.org/10.5772/62876>.

1.1.1 JUSTIFICACIÓN

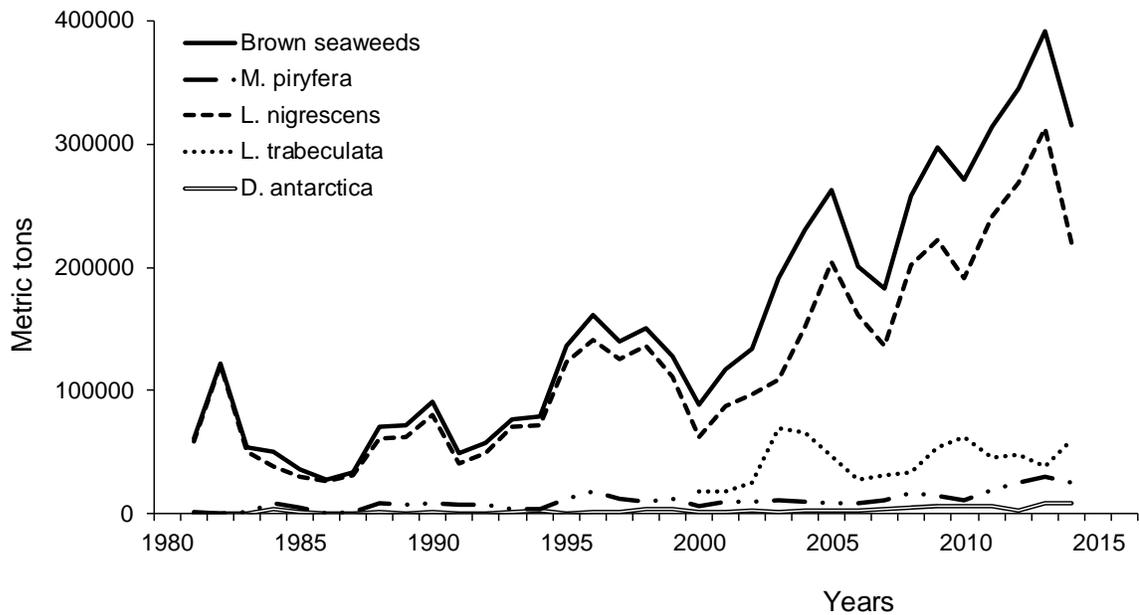
Las poblaciones naturales, a nivel mundial, están sometidas a alta variabilidad espacio-temporal. Un revisión reciente de la variabilidad global de huirales durante los últimos 50 años, muestra que las cosechas comerciales son el principal factor de disminución de poblaciones naturales de Laminariales en el Pacífico sureste (Krumhansl *et al* 2016).

Las macroalgas marinas en Chile son principalmente utilizadas como materia prima para la extracción de biomoléculas (alginatos, carragenanos y agar), y en menor grado, consumida internamente como alimento humano o de invertebrados bajo cultivo. Durante los últimos años (Vásquez 2016), la creciente demanda internacional y la significativa disminución de otros recursos bentónicos, ha focalizado la recolección y la cosecha del sector pesquero artesanal en las algas pardas, con desembarques sobre los 300.000 ton secas (Anuario SERNAPESCA, Vásquez *et al* 2012, 2014). En este contexto, las algas pardas no son solo de relevante importancia en lo comercial, sino que además tiene un componente social de significativo. En el norte de Chile, al menos 15.000 personas dependen directa o indirectamente de la recolección, cosecha y transformación de las algas pardas (Vásquez *et al* 2014).

Por ser estructuradoras o especies ingenieras de ecosistemas costeros, las algas pardas tienen una enorme importancia ecológica, no sólo por ser la base de cadenas tróficas bentónicas, sino además, porque constituyen hábitat, zonas de asentamiento larval o lugares de refugio para invertebrados marinos, algunos de los cuales también poseen gran importancia económica (Graham *et al* 2007, Thiel *et al* 2007, Vásquez *et al* 2014).

Los estudios poblacionales que permitan identificar, caracterizar y dimensionar las poblaciones naturales de algas pardas de importancia económica en las regiones del norte de Chile, son insumo indispensable para establecer una pesquería sustentable. Con la información recabada en la presenta propuesta se podrá complementar con antecedentes actualizados los planes de manejo sectorial que permitan la sustentabilidad de estos importantes recursos algales como también del ecosistema

costero, específicamente en materia de abundancia y biomasa, georreferenciación, estado de explotación, reclutamiento, mortalidad, varamiento natural e indicadores indirectos de estimación de la biomasa.



Variación temporal de los desembarques de algas pardas en Chile (1980 – 2016). De Vásquez (2016), The Brown Seaweed Fishery in Chile in “Fisheries and aquaculture in the modern world” <http://dx.doi.org/10.5772/62876>.

2. OBJETIVO GENERAL

Determinar los niveles de abundancia y biomasa de los recursos *Lessonia berteroana* (huiro negro), *Lessonia trabeculata* (Huiro palo) y *Macrocystis pyrifera* (Huiro flotador), en las zonas de distribución de las especies antes indicadas, ubicadas en las áreas de libre acceso, de la XV Región de Arica y Parinacota, I Región de Tarapacá y II Región de Antofagasta.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1.1. Evaluar y analizar la distribución espacial y los niveles de abundancia, biomasa total (*standing stock*) y biomasa explotable (*standing crop*), de las especies huiro negro, huiro palo y huiro flotados, en toda el área de estudio.
- 2.1.2. Evaluar la tasa de mortalidad natural en los varaderos naturales y determinar la tasa de varamiento (biomasa varada/unidad de tiempo del recurso huiro negro, huiro palo y huiro flotador).
- 2.1.3. Recopilar y analizar la información disponible que permita caracterizar y evaluar el estado de explotación actual de los recursos huiro negro, huiro palo y huiro flotador en la zona de estudio.
- 2.1.4. Proponer y validar un procedimiento para determinar la tasa de deshidratación de los recursos huiro negro y huiro palo en las distintas áreas de estudio.
- 2.1.5. Desarrollar un modelo indirecto de estimación de biomasa que permita realizar proyecciones en el corto y mediano plazo bajo distintas estrategias de explotación para las 3 especies.
- 2.1.6. Revisar los planes de manejo regional (Regiones XV, I y II) de las especies objetivo, en función de los resultados del estudio.

3. METODOLOGIA

3.1. *Objetivo específico 1: Evaluar y analizar la distribución espacial y los niveles de abundancia, biomasa total (standing stock) y biomasa explotable (standing crop), de las especies huiro negro, huiro palo y huiro flotados, en toda el área de estudio.*

3.1.1. Muestreos latitudinales no-destructivos para evaluar la distribución de la biomasa de algas pardas.

La evaluación directa se centró en la evaluación de la densidad y biomasa total (disponible) y cosechable (fracción de la biomasa disponible que corresponde a la biomasa de plantas adultas, con tamaños del disco adhesivo mayores a 20 cm) de tres especies de algas pardas: *Lessonia trabeculata*, *Lessonia berteroana* y *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyceae, Laminariales) en ambientes intermareales y submareales de las regiones XV (Arica y Parinacotas), I (Iquique) y II (Antofagasta), concentrándose en localidades que históricamente presentan la mayor intensidad de extracción. Los muestreos en cada localidad están dirigidos a determinar la distribución y la abundancia de *Lessonia* y *Macrocystis*, mediante cuadrantes dentro de transectos paralelos (*L. berteroana*) y perpendiculares (*L. trabeculata* y *Macrocystis*) a la línea de costa, principalmente en áreas de libre acceso.

Adicionalmente, utilizando como modelo a la especie *Lessonia berteroana*, dentro de las regiones de Iquique y Antofagasta, se realizaron muestreos no destructivos en áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB) con fines comparativos, mediante indicadores de salud comunitaria (Vega, Broitman y Vásquez 2014). Los indicadores poblacionales cuantificados para determinar el estado de salud de las poblaciones de *L. berteroana*, sometidas a intensa explotación (ALA) y poblaciones en áreas con algún régimen de manejo (AMERB), corresponden a densidad, biomasa, tamaño de disco adhesivo, presencia de estructuras reproductivas (soros) en las frondas de las plantas y fauna asociada, en particular la presencia del patelogastrópodo *Scurria scurra* en discos y

estipes (número de individuos de *S. scurra* por planta y número de plantas que presentaron el patogastrópodo).

El muestreo cubrió una extensión aproximada de 1000 km lineales de costa entre la XV Región y II Región del país. En el muestreo de primavera-verano 2017, se muestrearon en total 14 localidades (ALAs y AMERBs). Para *Lessonia berteroa* se muestrearon 10 localidades en ALAs en dos campañas de muestreo (septiembre y noviembre 2017), mientras que para *Lessonia trabeculata* el número de localidades muestreadas es de ocho, en dos campañas en los meses de octubre y noviembre 2017 (Tabla 1a).

Durante las campañas de otoño-invierno, realizadas entre marzo y junio 2018 se muestrearon 14 localidades, incluyendo además las evaluaciones de *Macrocystis*, que por las marejadas de primavera-verano 2017 no se habían ejecutado. Durante las campañas de muestreo 2017 y 2018 se han monitoreado las localidades costeras entre Camarones (Arica y parinacotas) y Cifuncho (Región de Antofagasta), en busca de praderas de *Macrocystis*, lo que evidencia pequeñas poblaciones costeras de distribución fragmentada en la región de Antofagasta (Urco, Isla Santa María y Lagarto en AMERB), en la región de Iquique (San Marcos AMERB) y total ausencia de *Macrocystis* en la región de Arica y Parinacota. Las localidades, ubicación y fechas de muestreo se detallan en las Tablas 1a y 1b.

Región	Sitios Muestreo	Medida de Administración	<i>Lessonia trabeculata</i>	Latitud	Longitud	Fecha Muestreo	<i>Lessonia berteroa</i>	Latitud	Longitud	Fecha Muestreo
Arica	Camarones	ALA	X	S 19° 12' 11,6"	W 070° 16' 08,0"	22-10-2017	X	S 19°12'43,6"	W 70°16'35,3"	06-09-2017
Iquique	Pisagua	ALA	X	S 19° 35' 54,7"	W 070° 14' 06,1"	23-10-2017	X	S 19°35'53,1"	W 70°13'15,1"	07-09-2017
	Pisagua	AMERB					X	S 19°34'28,7"	W 70°12'17,4"	07-09-2017
	Los Verdes	ALA	X	S 20° 22' 02,6"	W 070° 09' 43,1"	26-10-2017	X	S 20°28'26,7"	W 70°10'08,5"	05-11-2017
	Yape	ALA					X	S 20°40'18,6"	W 70°11'16,8"	06-11-2017
	San Marcos	ALA	X	S 21° 11' 02,4"	W 070° 06' 10,4"	24-10-2017				
	La Curva	ALA					X	S 21°02'08,9"	W 70°09'55,6"	05-09-2017
Antofagasta	Urco	ALA					X	S 21°43'59,7"	W 70°08'59,4"	07-11-2017
	Cobija	ALA	X	S 22° 32' 33,1"	W 070° 15' 24,5"	14-11-2017	X	S 22°23'36,0"	W 70°14'56,6"	08-11-2017
	Lagarto	ALA	X	S 23° 21' 29,7"	W 070° 36' 15,6"	13-11-2017	X	S 23°21'31,2"	W 70°36'18,1"	04-09-2017
	Finao_Loreto	ALA					X	S 24°49'58,3"	W 70°32'30,5"	03-09-2017
	Paposo	ALA	X	S 25° 03' 16,20"	W 070° 29' 01,5"	12-11-2017				
	Cifuncho	ALA	X	S 25° 37' 15,1"	W 070° 38' 28,2"	28-10-2017	X	S 25°37'50,8"	W 70°38'02,4"	02-09-2017
	Cifuncho	AMERB					X	S 25°39'50,5"	W 70°40'39,3"	02-09-2017

Tabla 1a. Localidades, ubicación y fechas de muestreos directos de *Lessonia berteroa* y *L. trabeculata* para las distintas localidades en las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en la temporada primavera-verano.

Muestreo Otoño-Invierno										
Región	Sitios Muestreo	Medida de Administración	<i>Lessonia trabeculata</i>	Latitud	Longitud	Fecha Muestreo	<i>Lessonia berteroa</i>	Latitud	Longitud	Fecha Muestreo
Arica	Camarones	ALA	X	S 19°12'35.6"	W 70°16'33.2"	26-05-2018	X	S 19°14'40.6"	W 70°16'51.2"	30-03-2018
Iquique	Pisagua	ALA	X	S 19°35'49.9"	W 70°14'09.1"	27-05-2018	X	S 19°34'49.3"	W 70°12'23.9"	03-04-2018
	Pisagua	AMERB					X	S 19°35'53.4"	W 70°13'14.4"	03-04-2018
	Los Verdes	ALA	X	S 20°27'19.8"	W 70°09'41.4"	28-05-2018	X	S 20°40'18.7"	W 70°11'16.6"	02-04-2018
	Yape	ALA					X	S 20°40'18.7"	W 70°11'16.6"	04-04-2018
	San Marcos	ALA	X	S 21°21'30.9"	W 70°36'15.8"	25-05-2018				
Antofagasta	La Curva	ALA					X	S 21°02'08.1"	W 70°09'56.0"	28-04-2018
	Urco	ALA					X	S 21°44'01.9"	W 70°08'59.6"	29-03-2018
	Cobija	ALA	X	S 22°32'33.5"	W 70°15'32.3"	30-05-2018	X	S 22°23'36.7"	W 70°14'56.9"	29-04-2018
	Lagarto	ALA	X	S 21°21'30.9"	W 70°36'15.8"	24-05-2018	X	S 23°21'30.2"	W 70°36'19.9"	27-04-2018
	Finao_Loreto	ALA					X	S 24°49'58.2"	W 70°32'30.5"	30-04-2018
	Paposo	ALA	X	S 25°03'12.9"	W 70°29'08.5"	31-05-2018				
	Cifuncho	ALA	X	S 25°37'51.7"	W 70°38'14.0"	01-06-2018	X	S 25°37'55.6"	W 70°38'07.3"	01-05-2018
	Cifuncho	AMERB					X	S 25°39'48.9"	W 70°40'41.6"	01-05-2018

Tabla 1b. Localidades, ubicación y fechas de muestreos directos de *Lessonia berteroa* y *L. trabeculata* en las localidades de las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en la temporada de muestreo otoño-invierno.

Las localidades de muestreo, tanto el número de ellas como su distribución en cada una de las localidades de estudio, fueron acordadas en la reunión de coordinación con el FIPA y la SUBPESCA antes de iniciar la ejecución del presente proyecto.

Para el cálculo de la biomasa total disponible (*Staning stock*) y la biomasa total cosechable (*Standing crop*) por cada Región de estudio, las playas de arena y las localidades dominadas por fondos blandos fueron excluidas del muestreo. En primera instancia, dichas áreas fueron identificadas en las cartas IGM y georreferenciadas durante la prospección aérea del FIP 2008-38. Adicionalmente, éstas fueron verificadas en el software Google Earth®, obteniéndose una estimación de la distancia lineal que cubre el contorno de la costa en las regiones prospectadas. Esta estimación de sustrato apto para el reclutamiento de especies de algas pardas de importancia comercial, junto a la evaluación de la densidad y la biomasa en forma directa, se utilizó para la extrapolación del cálculo de biomasa total disponible y cosechable por Región de estudio.

Para estimar la biomasa de plantas a partir del muestreo no destructivo directo, se empleó la relación existente entre el diámetro del disco basal de las plantas y el peso de

las especies de *Lessonia* (Vásquez & Santelices 1984; Villouta & Santelices 1984; Vásquez 2008, Vásquez *et al* 2012, 2014). Estos indicadores morfológicos de peso y tamaño, para calcular biomasa han sido extensamente usados en todos los proyectos FIP sobre evaluación de algas pardas de importancia comercial (FIPAs 2005-22, 2006-25, 2008-38, 2013-14, 2014-14, 2014-15, 2014-16, 20014-17, 2015-24, entre otros). Para fines del estudio y de las evaluaciones, se definió como individuo de alga parda a una planta (esporofito) formada por un grupo de estipes que se levantan desde una misma estructura de fijación (disco basal o adhesivo).

Las estimaciones de la biomasa disponible y cosechable fueron obtenidas indirectamente usando un modelo de regresión exponencial ($y = a \cdot x^b$), ampliamente documentado para algas pardas (Santelices *et al.* 1980, Vásquez 1991, Vásquez 2008). Esta función ocupa el diámetro del disco basal (como variable independiente) para predecir el peso de la planta (variable dependiente), según la ecuación:

$$\text{Peso} = a \cdot \text{Diámetro disco}^b \quad (1)$$

Donde, “*a*” corresponde al intercepto y “*b*” a la pendiente de la ecuación exponencial.

La información obtenida durante la Pesca de Investigación 2004-2009 (junto con los proyectos FIP 2005-22, 2006-25 y 2008-38), han validado los descriptores morfológicos de peso y tamaño para las especies de algas pardas consideradas en este estudio, a través de curvas de regresión entre variables morfológicas y gravimétricas. Razón por la cual se utilizaron los valores de pendiente e intercepto como parámetros en la relación anteriormente descrita.

La extrapolación de biomasa disponible y cosechable (proporción de adultos según el criterio de Vásquez (2008) para *Lessonia spp.*, donde plantas adultas son aquellas iguales o superiores a 20 cm de diámetro basal del disco de adhesión) para las regiones, se calculó considerando la biomasa por 1 m² para *Lessonia berteroa* y 10 m² para *Lessonia trabeculata* multiplicado por el ancho de cinturón o pradera respectivamente y por la distancia medida del contorno de la costa, descontado aquellos hábitat que no

son apropiados para el asentamiento de algas pardas. Para ello, en los muestreos directos se midió el ancho del cinturón en distintos puntos del área total muestreada para *L. berteroana* y el ancho de la pradera de *L. trabeculata* en cada transecto realizado, obteniéndose anchos promedios dentro de localidades y luego para la Región.

El diseño de muestreo (transectos vs estaciones) para cada una de las especies considera su distribución espacial vertical y batimétrica.

Lessonia berteroana ----- INTERMAREAL (Cuadrantes y transectos paralelos)

Lessonia trabeculata ----- SUBMAREAL (0 m a 20 m profundidad)

Macrocystis spp ----- INTERMAREAL-SUBMAREAL (hasta 12 m de profundidad)

Lessonia berteroana: Para evaluar la abundancia del “huir negro” se utilizaron dos tipos de diseño de muestreo en áreas intermareales: (1) se evaluó el porcentaje de cobertura de plantas en cuadrantes rectangulares de 10 m² (10 m largo x 1 m de ancho). Cada cuadrante es ubicado paralelo a la costa, en el rango mareal de distribución de *L. berteroana*, en cada localidad de estudio. Entre cada uno de estos cuadrantes de 10 m², (2) se muestrearon unidades al azar de 1 m² (cuadrantes de 1 m x 1 m). Los cuadrantes de 1 m² son utilizados para evaluar tanto los atributos morfológicos de las plantas, como la abundancia (densidad) en unidades de muestreo más restringidas. Este diseño, permite detectar y comparar la variabilidad temporal de los patrones de distribución y abundancia de *Lessonia berteroana* a distintas escalas espaciales, por ejemplo: cuadrante, localidad (con o sin intervención) y región. El número de cuadrantes muestreado por localidad varió en función de la disponibilidad de sustrato y de la abundancia local de las poblaciones de *Lessonia*. En general, en las localidades en que la estructura de la costa y la abundancia del recurso lo permitieron, se realizaron 12 cuadrantes de 1 m² intercalados por 11 cuadrantes de 10 m², cubriéndose un área total muestreada de aproximadamente 120 m². En cada localidad se registró mediante georreferenciación con GPS la localización del inicio y final del área cubierta. La Tabla

2 detalla la estructura del muestreo (individuos, cuadrantes, áreas, localidades) a través del cual se efectuó la evaluación directa de las praderas de *Lessonia berteriana*.

Las variables registradas en cada cuadrante de 1m² son: número total de plantas, diámetro del disco de adhesión, proporción de individuos adultos y juveniles, longitud de plantas, presencia o ausencia de estructuras reproductivas (soros) por planta y presencia/ausencia y número de *Scurria scurra* por planta.

<i>Lessonia berteriana</i>								
			Temporada Muestreo Primavera-Verano			Temporada Muestreo Otoño-Invierno		
Región	Sitio	Medida de Administración	Número Cuadrantes	Área muestreada (m ²)	Número Plantas muestreadas	Número Cuadrantes	Área muestreada (m ²)	Número Plantas muestreadas
Arica	Camarones	ALA	10	100	135	8	80	213
		Total	10	100	135	10	80	213
Iquique	Pisagua	ALA	10	100	111	8	80	244
		AMERB	8	80	134	8	80	100
	Los Verdes	ALA	12	120	95	8	80	62
	Yape	ALA	12	120	231	10	100	157
	La Curva	ALA	12	120	105	12	120	214
	Total	54	540	676	46	460	777	
Antofagasta	Urco	ALA	12	120	132	14	140	232
	Cobija	ALA	13	130	248	12	120	182
	Lagarto	ALA	12	120	73	12	120	123
	Finao Loreto	ALA	12	120	65	12	120	68
		ALA	12	120	80	12	120	123
	Cifuncho	AMERB	20	200	82	12	120	119
		Total	81	810	680	74	740	847
TOTAL TEMPORADA			145	1450	1491	130	1280	1837
TOTAL MUESTREO			275	2730	3328			

Tabla 2. Detalle de la estructura del muestreo para la evaluación directa de las poblaciones de *Lessonia berteriana* en las distintas localidades en las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB) en las temporadas de muestreo primavera-verano 2017 y otoño-invierno 2018.

***Lessonia trabeculata*:** Para la evaluación del “huiralo”, se utilizaron transectos perpendiculares a la línea de costa entre la zona más baja del intermareal y los 20 m de profundidad. Dependiendo de la pendiente promedio en los ambientes submareales en las regiones de estudio, se utilizaron transectos estandarizados de 200 m de longitud, atravesando el ancho del huiralo (Vásquez & González 1995). El transecto fue subdividido cada 10 m, y recorrido por dos buzos (autónomos y/o semi-autónomos), evaluando las plantas 1 m a cada lado del transecto y registrando el veril de profundidad (Vega *et al.* 2005). El número de unidades de muestreo de 10 m² anidados

por cada transecto varió en función de la profundidad y de la disponibilidad de sustrato rocoso apto para el asentamiento de *Lessonia*. Esta metodología es comúnmente utilizada para evaluaciones y monitoreos de praderas de algas pardas submareales (Foster & Schiel 1985), porque permite cubrir horizontalmente el área evaluada. Incluye, además, la variabilidad intrínseca producida por la distribución de *L. trabeculata* en el gradiente batimétrico (Vega *et al.* 2005).

En cada localidad se registró mediante georreferenciación con GPS, la localización de cada uno de los transectos de muestreo (Tabla 1). Para cada una de las regiones de estudio, la Tabla 3 muestra la localidad, el número de cuadrantes, área total muestreada en ambientes submareales, número de plantas contadas, número de plantas medidas y rangos de profundidad de la evaluación.

Para *Lessonia trabeculata*, las variables registradas en cada cuadrante de 10 m² son: número total de plantas, diámetro del disco de adhesión y proporción de individuos adultos y juveniles.

Macrocystis pyrifera: La evaluación de las poblaciones de *Macrocystis* se realizó durante mayo-junio 2018. Se empleó un diseño de muestreo aleatorio estratificado, usando como unidades de muestreo cuadrantes de 0,25 m² lanzados al azar, en función de la distribución de las plantas en cada sitio de estudio (Buschmann *et al.* 2004). En cada oportunidad se registró la profundidad a la que se encuentra cada cuadrante, cubriendo la pradera completa desde donde se inicia en el intermareal (menor profundidad) y hasta donde se extiende en el submareal hasta los 20 m de profundidad (mayor profundidad). Se estimó el tamaño total de la pradera georreferenciando sus vértices. La biomasa total por huital es extrapolada de las evaluaciones *in situ*, en función de los cuadrantes evaluados al azar como ha sido anteriormente descrito.

Lessonia trabeculata									
Temporada Muestreo Primavera-Verano									
Región	Sitio	Medida de Administración	Número Cuadrantes	Número Transectos (Lados A y B)	Área muestreada (m ²)	Número Plantas Contadas	Número Plantas Medidas	Profundidad Mínima Promedio	Profundidad Máxima Promedio
Arica	Camarones	ALA	42	2	420	754	392	3,50	14,00
		Total	42	2	420	754	392		
Iquique	Pisagua	ALA	30	2	300	604	280	4,00	18,50
		ALA	68	2	680	1341	649	4,00	14,00
		ALA	66	2	660	1219	597	4,00	15,00
		Total	164	6	1640	3164	1526		
Antofagasta	Cobija	ALA	62	2	620	1457	597	5,00	17,50
		ALA	63	2	630	2060	596	3,50	12,25
		ALA	74	2	740	1931	723	3,50	14,00
		ALA	79	2	790	1308	783	4,00	19,00
		Total	278	8	2780	6756	2699		
TOTAL TEMPORADA			484	16	4840	10674	4617		
Temporada Muestreo Otoño-Invierno									
Región	Sitio	Medida de Administración	Número Cuadrantes	Número Transectos (Lados A y B)	Área muestreada (m ²)	Número Plantas Contadas	Número Plantas Medidas	Profundidad Mínima Promedio	Profundidad Máxima Promedio
Arica	Camarones	ALA	37	2	370	769	437	5,5	10,0
		Total	37	2	370	769	437		
Iquique	Pisagua	ALA	58	2	580	1850	594	4,5	20,5
		ALA	48	2	480	877	511	7,8	12,5
		ALA	58	2	580	1968	1217	6,5	12,0
		Total	164	6	1640	4695	2322		
Antofagasta	Cobija	ALA	61	2	610	864	455	8,0	17,5
		ALA	48	2	480	940	432	11,5	18,0
		ALA	76	2	760	743	649	7,0	16,5
		ALA	65	2	650	885	544	5,5	19,5
		Total	250	8	2500	3432	2080		
TOTAL TEMPORADA			451	16	4510	8896	4839		
TOTAL MUESTREO			935	32	9350	19570	9456		

Tabla 3. Detalle de la estructura del muestreo para la evaluación directa de las poblaciones naturales de *Lessonia trabeculata* en las distintas localidades en las regiones XV Arica y Parinacotas, I Iquique y II Antofagasta en áreas de libre acceso (ALA), en las temporadas de muestreo de primavera-verano 2017 y otoño-invierno 2018.

En cada unidad de muestreo (cuadrante de 1 m² para *L. nigrescens*; transecto dividido en 32 sub-unidades de 1 m² para *L. trabeculata*; cuadrante de 0,25 m² para *Macrocystis spp*) se evaluará:

- (1) Número total de plantas,
- (2) Diámetro basal del disco de adhesión,
- (3) Presencia o ausencia de estructuras reproductivas por planta.

3.2. Objetivo específico 2: Evaluar la tasa de mortalidad natural en los varaderos naturales y determinar la tasa de varamiento (biomasa varada/unidad de tiempo) del recurso huairo negro, huairo palo y huairo flotador.

3.2.1. Evaluación de reclutamiento, crecimiento y mortalidad natural.

En cada región de estudio, en una de las localidades escogidas para muestreo de la dinámica de las poblaciones, se marcaron plantas y se delimitaron áreas de sustrato denudado para evaluar las variaciones estacionales de crecimiento, mortalidad natural y reclutamiento para la especie *Lessonia berteroana* (Tabla 4).

Dentro de cada región se escogió una localidad ALA en la que se marcaron plantas adultas de *L. berteroana*, para evaluar por el método de marcaje y recaptura, la mortalidad natural de la población (ver FIPA 2008-38, Vásquez & González 1995, Vásquez *et al* 2006, Vásquez 2008). Adicionalmente, se marcaron en las mismas áreas, dentro de las localidades escogidas, plantas juveniles para evaluar el crecimiento diario en un ciclo anual. Dado que en *Lessonia* ocurren procesos de fusión de plantas en estadios juveniles (ver González *et al* 2012, Segovia *et al* 2014), se evaluarán los procesos de coalescencia en plantas juveniles marcadas contiguas (ver Rodríguez *et al* 2014). Con fines comparativos, en la Región de Iquique se marcaron plantas adultas y juveniles en la localidad de Pisagua en un área AMERB.

En total para las tres regiones de estudios, se marcaron 320 plantas de *Lessonia berteroana*: 57 plantas en Arica y Parinacotas, 166 en Iquique y 97 plantas en Antofagasta (Tabla 4).

Para evaluar reclutamiento se denudaron áreas entre 1 y 1,5 m², distribuidas al azar (exclusión experimental) de la especie en evaluación, en el centro de las poblaciones naturales, en las mismas localidades en donde se marcaron plantas para crecimiento y reclutamiento (Tabla 4). El reclutamiento será expresado como tasa de reclutamiento (N° de juveniles asentados en los cuadrantes experimentales) por periodo de tiempo.

En el caso de *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis pyrifera*, para estimar la tasa de reclutamiento (N° de juveniles asentados en los cuadrantes experimentales) se instalaron en tres áreas de libre acceso (ALA), una por cada Región de estudio, tres placas de concreto (50 x 50 cm) simulando sustrato disponible para asentamiento dentro de las praderas prospectadas.

La Tabla 4 detalla las localidades, el número de plantas marcadas, las áreas denudadas y las áreas de instalación y número de placas instaladas para cuantificar crecimiento, mortalidad y reclutamiento en *L. berteroa* y reclutamiento de *Macrocystis pyrifera* y *L. trabeculata*, respectivamente.

La evaluación de crecimiento, mortalidad natural (de plantas marcadas) y reclutamiento se efectuó durante el segundo muestreo durante la campaña de otoño-invierno 2018.

Región	Sitio	Medida de Administración	Latitud	Longitud	<i>Lessonia berteroa</i>		<i>Lessonia trabeculata</i>		<i>Macrocystis pyrifera</i>
					Número de plantas marcadas (crecimiento y mortalidad)	Número de áreas denudadas (reclutamiento)	Número de plantas marcadas (crecimiento y mortalidad)	Número de placas instaladas (reclutamiento)	Número de plantas marcadas (crecimiento y mortalidad)
Arica	Camarones	ALA	S 19°12'43.6"	W 70°16'35.3"	57	3		3	
Iquique	Pisagua	ALA	S 19°35'53.1"	W 70°13'15.1"	39	-	50		
		AMERB	S 19°34'28.9"	W 70°12'17.3"	23	-			
	San Marcos	ALA	S 21° 06'47,4"	W 70°07'32.7"	-	-	50	3	50
	La Curva	ALA	S 21°02'08,6"	W 70°09'55,6"	47	3			
Antofagasta	Lagarto	ALA	S 24°49'58,3"	W 70°32'30,5"	-	3			
	Finao Loreto	ALA	S 24°49'59,2"	W 70°32'29,0"	40	3			
	Cifuncho	ALA	S 25°37'50,9"	W 70°38'04,0"	57	-	50	3	

Tabla 4. Localidades de áreas de denudación de sustrato y marcaje de plantas para estimación de tasa de reclutamiento, mortalidad natural y crecimiento para *Lessonia berteroa* en distintas localidades de las regiones XV, I y II en áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB). Localidades de instalación de placas de concreto para estimación de reclutamiento de *Lessonia trabeculata* en distintas localidades en las regiones XV, I y II en áreas de libre acceso (ALA).

3.2.2. Marcaje de plantas de *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis pyrifera*

En las localidades de Camarones (Arica y Parinacotas), Pisagua (Tarapacá) y Cifuncho (Antofagasta), se marcaron 50 plantas de *Lessonia trabeculata* con el objeto de evaluar

mortalidad natural, tanto por evaluación directa (marcaje y recaptura en la próxima evaluación en verano-otoño), como su eventual registro en varaderos históricos aledaños.

La reducción y fragmentación de las poblaciones de *Macrocystis* en la costa del área de estudio, solo permitió un marcaje de 50 plantas en la localidad de San Marco en la Región de Tarapacá. Las plantas fueron marcadas con fichas plásticas numeradas, adosadas a estipes centrales de la planta mediante amarracables.

3.2.3. Evaluación de la mortalidad natural en varaderos naturales de las regiones en estudio.

Las varazones de algas pardas ocurren durante todo el año a lo largo de la costa del norte de Chile. Sin embargo, la magnitud y frecuencia del arribo de algas pardas a la costa puede aumentar significativamente durante otoño-invierno (Vásquez 1989, 2010, 2016). Estas varazones afectan diferencialmente a las poblaciones de *Lessonia* y *Macrocystis* (Vásquez 1992, 1995; Edding & Tala 1998, Vega 2005, Vásquez 2010), dando cuenta de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de la biomasa total disponible (Vásquez 1999).

Para evaluar la mortalidad natural de las poblaciones de algas pardas se buscó varaderos históricos en ALAs en cada una de las regiones de estudio. Un varadero es un sitio geográfico en el litoral, que se caracteriza por la constancia y la frecuencia del arribo de algas pardas a la costa, y en consecuencia produce el acopio de biomasa. La biomasa disponible en los varaderos es recolectada por los algueros, acumulada fuera de la zona de mareas y transportada unos metros tierra adentro hacia las canchas de secado. Un varadero histórico es entonces un lugar establecido por el tiempo de permanencia de los usuarios que recolectan algas pardas varadas.

La prospección de un varadero consistió en:



- 1) georeferenciar los límites geográficos del varadero con un GPS, identificando el área cubierta por las algas varadas. Posteriormente, se pueden volver a determinar los límites del varadero con el mismo método para detectar expansiones o compresiones del alga arribada a la costa en el tiempo (diario, estacional o anual).
- 2) trazar transectos perpendiculares a la costa (n: 3-5) de 1 m de ancho, con una extensión que depende de la distribución de la varazón de algas en la costa. La distribución de los transecto en el varadero es sistemática, ubicándolos de manera equidistantes uno del otro.
- 3) Recolectar toda la biomasa varada dentro de cada transecto. Separando plantas completas por especie; y fragmentos, trozos o frondas, también por especie.

No obstante lo anterior, los varaderos históricos en áreas de libre acceso han desaparecido en las tres regiones de estudio, producto de las restricciones de cosecha y las limitaciones de recolección de lagas vardas. Cabe recordar qu los planes de manejo sectorial prohíben la recoección y cosecha en la Region XV, permiten solo la recolección hasta 2 ton/pescador/mes en Arica y Parinacotas y hasta 5 ton/pescador mes en Antofagasta.

Aun cuando no se encontraron vararderos naturales en áreas históricas (ALA), se efectuaron mediciones en tendaderos cercanos a la costa, teniendo en consideración que esas plantas provienen tanto de varazones como de cosecha mediante barreteo. Se pesaron los volúmenes de algas varadas por especie (*Lessonia berteroa*, *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis pyrifera*) recolectadas en cada transecto y se estandarizaron a m².

Puesto que no se pudo asumir que la biomasa de los tendaderos proviene de praderas cercanas, la estimación de la tasa de mortalidad por especie (número de plantas, morfología de plantas, biomasa) no pudo ser calculada a través de estos estimadores.

3.3. Objetivo específico 3: Recopilar y analizar la información disponible que permita caracterizar y evaluar el estado de explotación actual de los recursos huiro negro, huiro palo y huiro flotador en la zona de estudio.

Considerando la enorme evidencia acumulada en numerosas evaluaciones directas de algas pardas de importancia comercial, en todo el norte y centro de Chile, obtenida principalmente de proyectos FIPA (2005-22, 2006-25, 2008-38, 2013-14, 2014-14, 2014-15, 2014-16, 2014-17, 2015-24, entre otros), se revisaron sus bases de datos para establecer la variación temporal de la pesquería en las regiones de estudio.

De los proyectos antes mencionados, en especial los proyectos: FIP 2008-38 (“Evaluación de la biomasa de praderas naturales y prospección de potenciales lugares de repoblamiento de algas pardas en la costa de la XV, I y II regiones”), FIP 2014-14 (“Evaluación directa de macroalgas/impacto de la extracción sobre comunidades bentónicas, XV Región”), FIP 2014-15 (Evaluación directa de macroalgas/impacto de la extracción sobre la comunidad bentónica, I Región”) y FIP 2014-16 (“Evaluación directa de macroalgas / impacto de la extracción sobre la comunidad bentónica, II Región”) son referente, puesto que sus objetivos son similares, pudiendo generar comparaciones de distribución y abundancia de los recursos objetivo, luego de casi 10 años de actividad extractiva y de recolección en las tres regiones de estudio.

Al igual que el FIP 2008-38 y otros con recursos FIC, FONDEF y FNDR han sido ejecutados por el grupo de la Universidad Católica del Norte que lidera el Dr. Julio A. Vásquez. Mucha de esta información constituyen los insumos de políticas públicas para la regulación de la pesquería, y está publicada en revistas de amplia circulación (ver Graham *et al* 2007, Vásquez 2008, Vásquez *et al* 2012, Vásquez *et al* 2014, Vega *et al* 2014, Rodríguez *et al* 2014, Vásquez 2016).

Para la recopilación de la información disponible sobre distribución y abundancia de praderas de algas pardas en el norte de Chile, así como para obtener información sobre la evolución de la extracción, desembarques, aumento de la presión de extracción, entre otros que complemente los logros de los otros objetivos del proyecto, se realizó una

revisión de proyectos institucionales (e.g. Universidades, IFOP, Subsecretaría de Pesca, SERNAPesca) y sistemas de base de datos electrónicos (e.g. ASFA, Current Content, Web of Science, Scielo) que reúne la información publicada en revistas científicas nacionales e internacionales. Los aspectos considerados en la búsqueda incluyen aspectos de: biología, ecología, pesqueros y económicos de *Lessonia* y *Macrocystis*. Parte importante de la información científica y tecnológica ha sido generada por el equipo consultor.

Para determinar el estado de salud de las poblaciones de algas pardas bajo intensa explotación, se realizaron muestreos no destructivos en AMERBs y en áreas con algún régimen de conservación o localidades aisladas sin cosecha. Indicadores poblacionales como densidad, biomasa, tamaño de individuos y fauna asociada son comparados entre áreas de ALAs y localidades con distintas estrategias de conservación. En este contexto se utilizarán los indicadores sugeridos por Vega, Broitman & Vásquez (2014). En consecuencia, esto última permitirá una ajustada aproximación del estado actual de explotación de las praderas de macroalgas pardas en áreas de libre acceso, en comparación con localidades con distintas estrategias de conservación en el norte de Chile.

3.3.1. Análisis de producción global de la pesquería de algas pardas; estimaciones de biomasa, esfuerzo efectivo, y grado de explotación.

La actividad extractiva de la pesquería de algas pardas presenta una fuerte componente de informalidad, la cual se explica por factores exógenos, además de bajas barreras de entrada a la actividad. Sobre ésta pesquería, sólo pueden operar pescadores con su RPA y con el recurso alga inscrito. Sin embargo, en la práctica participa un alto número de usuarios informales (sin RPA, o con RPA pero sin el recurso inscrito), los cuales presentan frecuencias, intensidad extractiva, y usos de artes (varado-barreteo) difícil de fiscalizar y cuantificar. En las regiones XV, I y II, esta situación se ha intensificado, en especial en esta últimos 5 años, lo que ha generado conflictos de uso entre pescadores, y ha sido motivo de números reportes en diarios regionales y nacionales.

A la alta informalidad extractiva, se suma la cadena de compra y transporte hacia las plantas de procesos, dificultando establecer controles de salida para esta pesquería. En consecuencia, los niveles de desembarques presentan una alta incertidumbre, tanto en volumen y origen (varado-removido), así como al número efectivo de usuarios operando sobre la pesquería. Esto limita dar operatividad a los planes de manejo establecidos para esta pesquería.

Con la finalidad de aproximarse a los niveles efectivos de esfuerzo extractivo, en términos del número de usuarios operando en la actividad e estimar el grado de explotación sobre el recurso huiro, se presenta un enfoque de modelación que integra la información de desembarques, usuarios nominales, y rendimientos extractivos presentados en los antecedentes descritos en los puntos anteriores. Si bien, este tipo de modelos presentan reconocidos problemas en función de los supuestos subyacentes, éste se presenta como una herramienta de integración de información que permita entender los procesos bio-pesqueros y económicos asociados a la pesquería de algas pardas en las regiones en estudio.

3.3.1.1. Modelo de producción de la pesquería de algas pardas.

Como primera aproximación, el análisis se realizó para el recurso huiro negro a escala regional para la I y II Regiones, bajo la consideración que la pesquería aún funciona sin cuotas extractivas. Como periodo de análisis se consideró los años 2010 a 2016, bajo el supuesto de una actividad consolidada después de las pescas de investigación realizadas antes de este periodo.

Se utilizó un modelo logístico de crecimiento en biomasa de poblacional a través del tiempo (Hilborn & Walters 1992, Seijo *et al.* 1997), simulando la biomasa, los desembarques (observados - estimados), rendimientos extractivos (CPUE), y el número medio de algueros operando. El uso de este tipo de modelo para algas pardas ha sido recientemente propuesto por Thomas *et al.* (2016).

La biomasa en el tiempo $t+1$ (B_{t+1}) se estima según:

$$B_{t+1} = B_t + r \cdot B_t \cdot \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - C_t$$

Donde B_t = biomasa en el tiempo t ; r = tasa intrínseca de crecimiento poblacional (año-1); K = capacidad de carga (ton); C_t = captura (desembarque) en el tiempo t . Como una primera aproximación, la biomasa inicial por región se asumió igual a la estimada por González *et al.* (2002).

La capturabilidad q fue estimada según:

$$q_t = \frac{CPUE_t}{B_t}$$

Los valores de la captura por unidad de esfuerzo ($CPUE$ = captura/alguero-año), se obtuvieron a partir de los registros de desembarque por alguero (a nivel individual) registrados por las oficinas provinciales de Sernapesca de la I y II Regiones.

La captura se estimó según;

$$C_t = B_t \cdot f \cdot q$$

Dónde f = esfuerzo de pesca (en número de algueros), y q = coeficiente de capturabilidad (fracción recolectada/extraída por unidad de alguero).

Los parámetros r y K se estimaron a través de la minimización de la suma de cuadrados medios entre las capturas observadas (C_{obs}) y las predichas por el modelo (C_{esp});

$$\min = \sum (C_{obs} - C_{est})^2$$

Las capturas (desembarques) observadas se obtuvieron de los Anuarios de estadística de Sernapesca (www.sernapesca.cl).

La mortalidad por pesca (F) se estimó de acuerdo a;

$$F_t = \frac{C_{obs_t}}{B_{est_t}}$$

Para valores de F considérese que la mortalidad natural anual de huiro negro sería de alrededor de un 25% de población.

El análisis está principalmente orientado a establecer los niveles de esfuerzo efectivo (f efectivo) ejercido sobre la pesquería de algas pardas, y su grado de explotación. Los resultados obtenidos con el modelo - en términos de estimación de biomasa - serán posteriormente contrastando con las estimaciones obtenidas en las evaluaciones directas del recurso generadas por el presente proyecto.

3.4. Objetivo específico 4: Proponer procedimiento para determinar la tasa de deshidratación de los recursos huiro negro y huiro palo.

La actividad comercial asociada a las algas pardas posee una estructura fraccionada, en tres niveles productivos o comerciales: 1) recolectores de orilla y buzos mariscadores, 2) intermediarios o comercializadores (pueden reconocerse varios de distinto nivel de transformación y comercialización) y 3) empresas exportadoras con plantas de proceso y molienda de algas. Los recolectores de orilla y buzos conforman el estrato basal de esta cadena y son quienes recolectan y/o cosechan las algas, las secan y enfardan para su comercialización. Valores porcentuales de humedad retenidas al término de esta etapa de transformación, fluctúan entre un 70-60 % de humedad. En el caso particular de los buzos, estos comercializan el alga recién extraída desde el submareal (*Lessonia trabeculata*), con un porcentaje de humedad cercana al 90%. En plantas de transformación, la humedad es reducida a un 30% antes del picado, transformaciones que consideran secados hasta un 10% de su humedad total.

Dada la importancia de estandarizar el porcentaje de humedad en cada etapa del proceso productivo, durante el 2014, el Laboratorio de Biodiversidad y Ecología Costera del Depto. Biología Marina, Universidad Católica del Norte (Jefe Proyecto Julio A. Vásquez), mandatado por la Dirección Regional del SERNAPESCA Coquimbo, desarrolló el proyecto "Selección y validación de un instrumento, con su respectivo

protocolo de utilización, para la adecuada medición de la humedad en algas pardas (*Lessonia nigrescens*, *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis* spp.), en sus distintas presentaciones en la cadena comercial y/o productiva”

En el contexto anterior, y repitiendo experiencias del proyecto antes mencionado, se analizó el contenido de humedad en algas pardas, utilizando deshidratadores a peso constante, Para estimar la tasa de deshidratación diaria, se hicieron observaciones periódicas de pérdida de peso en las distintas etapas de la cadena productiva, para cada una de las especie objetivo, en cada una de las regiones de estudio.

Para determinar el porcentaje de humedad retenida por algas pardas en cada etapa del proceso productivo, desde su extracción hasta el acopio en plantas de picado, se utilizó un analizador de humedad ACU.

El Analizador de humedad permite determinar la humedad de un producto, organismo o sustrato inorgánico mediante su secado, con un calefactor de 500 Watts dentro de un rango de temperatura entre 60 + 200 °C por un periodo de tiempo entre 1 y 180 minutos. La humedad de la muestras se obtiene al comparar la diferencia de peso inicial y final, y el cálculo del contenido de agua en términos porcentuales. Normalmente el analizador es aplicado en tabaco, papel, alimentos, té, granos, textiles, materiales químicos, farmacéuticos, entre otros. Formalmente este analizador de humedad corresponde a una mufla que quema a peso constante con una balanza analítica incorporada.



Las especificaciones técnicas del analizador de humedad son:

Fuente de calor	Calefactor 500W
Alimentación	220 V/ 50 Hez
Peso	7.5 kg
Rango peso	0.1 -100 gramos
Rango tiempo de secado	1-180 min
Rango humedad	0.01 – 100 %
Rango de temperatura	60 – 200°C

Instrucciones de operación:

1. Encender el analizador de humedad y la balanza electrónica
2. Configurar el analizador de humedad según los criterios predefinidos por la investigación, para este caso:
 - a. Modo de operación: automático (la medida se detendrá automáticamente y los resultados son mostrados).
 - b. Tiempo: 40 min.
 - c. Temperatura: 200 °C.
 - d. Exactitud: Media
 - e. Valor límite: 0.05%
3. Poner platillo metálico sobre la balanza y tarar.
4. Calibrar la balanza con un peso conocido o blanco.
5. Poner muestras a medir sobre el platillo, las características de la muestra dependerán de la sección de la planta que se quiere analizar
 - a. Estipe: cortar el estipe transversalmente en secciones circulares de 2 cm de ancho



- b. Fronda: cortar fronda en pedazos de 4 cm de largo)
- c. Disco: cortar el disco en secciones transversales de bajo grosor y de máximo 5 cm de largo y ancho
- d. De ser necesario se debe poner más de una pieza sobre el platillo ya que la muestra debe pesar entre 5 y 12 gramos para que sea medible y su funcionamiento confiable.
- e. Apretar el botón de inicio y esperar que el analizador se detenga automáticamente, esto ocurrirá una vez que la muestra no tenga más pérdida de peso y por lo tanto no habrá más cambios en el contenido de humedad.
- f. En el visor aparecerá el porcentaje de humedad que perdió la muestra, por lo tanto la humedad que ésta contenía.

El tamaño muestral para cada etapa de la cadena productiva: recién colectadas en playa (Fresco), en canchas de tendido de recolectores de orilla (Tendidos) y plantas de transformación (Picadoras), será de al menos 10 observaciones por especie/Región.

3.4.1. Evaluación de cambios morfológicos de discos cosechados y expuesto al secado ambiental.

Considerando que uno de los indicadores para estimar biomasa cosechable es el diámetro basal del disco de adhesión (plantas > 20 cm) de *Lessonia berteriana* y *Lessonia trabeculata*, se recolectaron discos de ambas especies para estimar la tasa de reducción diaria de tamaño del disco basal a temperatura ambiente. Este indicador permitirá fiscalizar con mayor precisión las cosechas y recolecciones en cada una de las regiones de estudio.

3.5. Objetivo específico 5: Desarrollar un modelo indirecto de estimación de biomasa que permita realizar proyecciones en el corto y mediano plazo bajo distintas estrategias de explotación para las 3 especies.

Dada la enorme extracción de algas pardas desde poblaciones naturales, es necesario establecer estrategias de conservación que permitan una pesquería sustentable. Las estrategias de sustentabilidad se centran en planes de manejo, vedas biológicas, vedas extractivas y consideraciones biológicas y ecológicas propias de las especies explotadas. Para poder generar estas estrategias es necesario contar con una metodología de evaluación rápida y eficiente que permita establecer estrategias de conservación.

Dado la dificultad para acceder a los ambientes rocosos expuestos, donde naturalmente ocurren, las evaluaciones directas son de difícil ejecución, de alto riesgo para los evaluadores, restringidas a la disponibilidad de mareas bajas y tremendamente costosas. Esto hace que las evaluaciones sean demorosas y los resultados lleguen siempre a destiempo, cuando el estado de las poblaciones ha cambiado significativamente.

Para evaluar indirectamente las poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana* y el dosel flotante de *Macrocystis pyrifera*, se usaron imágenes multiespectrales de alta resolución obtenidas mediante drones (cuadricopteros). Estas imágenes obtenidas por cámaras montadas en aparatos en vuelos no tripulados, fueron analizadas espacialmente empleando sistemas de información geográfica SIG.

Un muestreo directo, simultáneo o posterior, permite validar las estimaciones indirectas arrojadas por los algoritmos y modelos que serán propuestos para evaluar la biomasa de poblaciones naturales: biomasa disponible (*standing stock*), y biomasa cosechable (*standing crop*). El uso de GPS diferenciales, con una precisión de centímetros es indispensable para el posicionamiento de las evaluaciones directas y las imágenes del mismo punto, obtenidas por los drones en muestreos simultáneos.

Las variables poblacionales que se evalúan para alimentar el modelo son: Densidad, largo total de plantas, altura del “huiral” y cobertura. Estas variables permiten calcular un volumen (dimensión cúbica) de *Lessonia* y *Macrocystis* en condiciones naturales. La evaluación indirecta es realizada mediante vuelos no tripulados a baja altura, que capturan imágenes multiespectrales de alta resolución (y cuadricopteros).

Con las imágenes y mediante programas computacionales se generan las ortofotos, que permiten dimensionar las poblaciones de macroalgas de importancia comercial y generar estimaciones ajustadas de la biomasa total y cosechable.

Con la metodología descrita, se buscarán los mejores ajustes entre evaluaciones directas y evaluaciones indirectas con vuelos no tripulados (drones y cuadricópteros). Estas evaluaciones (directa e indirecta) se realizan en forma simultanea con GPS de precisión, de manera de comparar las evaluaciones de biomasa y densidad in situ, con las estimaciones indirectas a través de el uso de imágenes multiespectrales.

3.5.1. Drones utilizados para vuelos no tripulados.

Considerando las características geomorfológicas y climáticas (altura, intensidad y dirección del viento) de los sitios de estudio se utilizaron cuadricópteros, así las imágenes tomadas a baja altura resultan con menor interferencia en vibración y son menos sensibles a condiciones de viento ascendente. También, se estimó relevante emplear tecnología utilizada en agricultura de alta precisión y de estimaciones de biomasa forestal.

PHANTOM 4 PRO



Peso (batería y hélices incluidas)	1 388 g
Tamaño diagonal (sin hélices)	350 mm
Velocidad de ascenso máx.	Modo-S: 6 m/s (19.7 ft/s)
Modo-P: 5 m/s (16.4 ft/s)	
Velocidad de descenso máx.	Modo-S: 4 m/s (13.1 ft/s)
modo-P: 3 m/s (9.8 ft/s)	
Velocidad máx.	72 km/h (45 mph) (modo-S)
	58 km/h (36 mph) (modo-A)
	50 km/h (31 mph) (modo-P)
Ángulo de inclinación máx.	42° (Modo-S)
	35° (Modo-A)
	25° (Modo-P)
Velocidad angular máx.	250°/s (Modo-S)
	150°/s (Modo-A)
Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar	6 000 m (19 685 pies)
Resistencia al viento máx.	10 m/s



Inspire 1 Pro/Raw



AIRCRAFT

Model T600
Weight 2870 g (Battery and propellers included, Zenmuse X5 excluded)
3400 g (Battery, propellers and Zenmuse X5 included)
Max Takeoff Weight 3500 g
Hovering Accuracy (P Mode) Vertical: 0.5 m
Horizontal: 2.5 m
Max Angular Velocity Pitch: 300°/s
Yaw: 150°/s
Max Tilt Angle 35°
Max Ascent Speed 5 m/s
Max Descent Speed 4 m/s
Max Speed 18 m/s (ATTI mode, no wind)
Max Service Ceiling Above Sea Level 4,500 m
Max Wind Speed Resistance 10 m/s

Los UAV fueron equipados con dos tipos de cámara: una RGB (Rojo, Verde, Azul) y una cámara NDVI, para obtener imágenes para fotogrametría de cada sitio, contrastando parámetros y valores de ambas cámaras. Las imágenes son obtenidas con ambas cámaras (sensores), lo que permite la construcción de orto imágenes.

La cámara NDVI utilizada, se ocupa para la detección de vegetación en forma remota Green-Red-NIR 800-900nm, graba video 4K a 30FPS o video 1080P a 60FPS, es capaz de producir imágenes fijas de 12 megapíxeles con un lente: 9 elementos en 9 grupos, incluyendo un elemento esférico. Está dotada de un Sensor CMOS de 1 / 2.3 pulgadas, FOV de gran angular 94°, Rango completo de 360°, brindando libertad ilimitada. Esta

cámara provee imágenes para fotogrametría con los espectros de banda NDVI vegetativo. Para contrastar información y realizar cuadratura, se utiliza una cámara RGB, rediseñada para usar con un sensor Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) de 1 pulgada y 20 megapíxeles. Este sensor es una lente diseñada a medida compuesta por ocho elementos, organizada en siete grupos, y corresponde a una DJI que utiliza obturador mecánico, eliminando la distorsión que cuando se toman imágenes de objetos en movimiento o se vuela a alta velocidad.

Las características fundamentales de ambas cámaras (sensores) radican en que son aerotransportadas y configuradas en forma remota para la fotogrametría, permitiendo pre-programar las variables de vuelo y de toma de imágenes. Las localidades evaluadas

3.5.2. Localidades de evaluación remota

Las localidades para evaluación con vuelos no-tripulados fueron:

Caleta Camarones

Pisagua Norte

Pisagua Sur

Caleta Urco

Una población de *Macrocystis pyrifera*

Las dimensiones de los vuelos fueron los siguientes

Caleta Camarones: Vuelo en 136º norte, programada en las aeronaves, para su ejecución automática, vuelo en coordenadas 19°11'48.82"S, 70°16'4.37"O, 19°12'52.38"S, 70°16'47.21"O, cubriendo un área de 404.505 metros cuadrados, a 70 metros de altura.

Caleta Camarones	
Fecha vuelo	30/03/2018
Área cubierta	0,40 km ²
Altura vuelo	75 metros
Duración vuelo	47 minutos
Cantidad de vuelos	14
Cantidad de cámaras	2



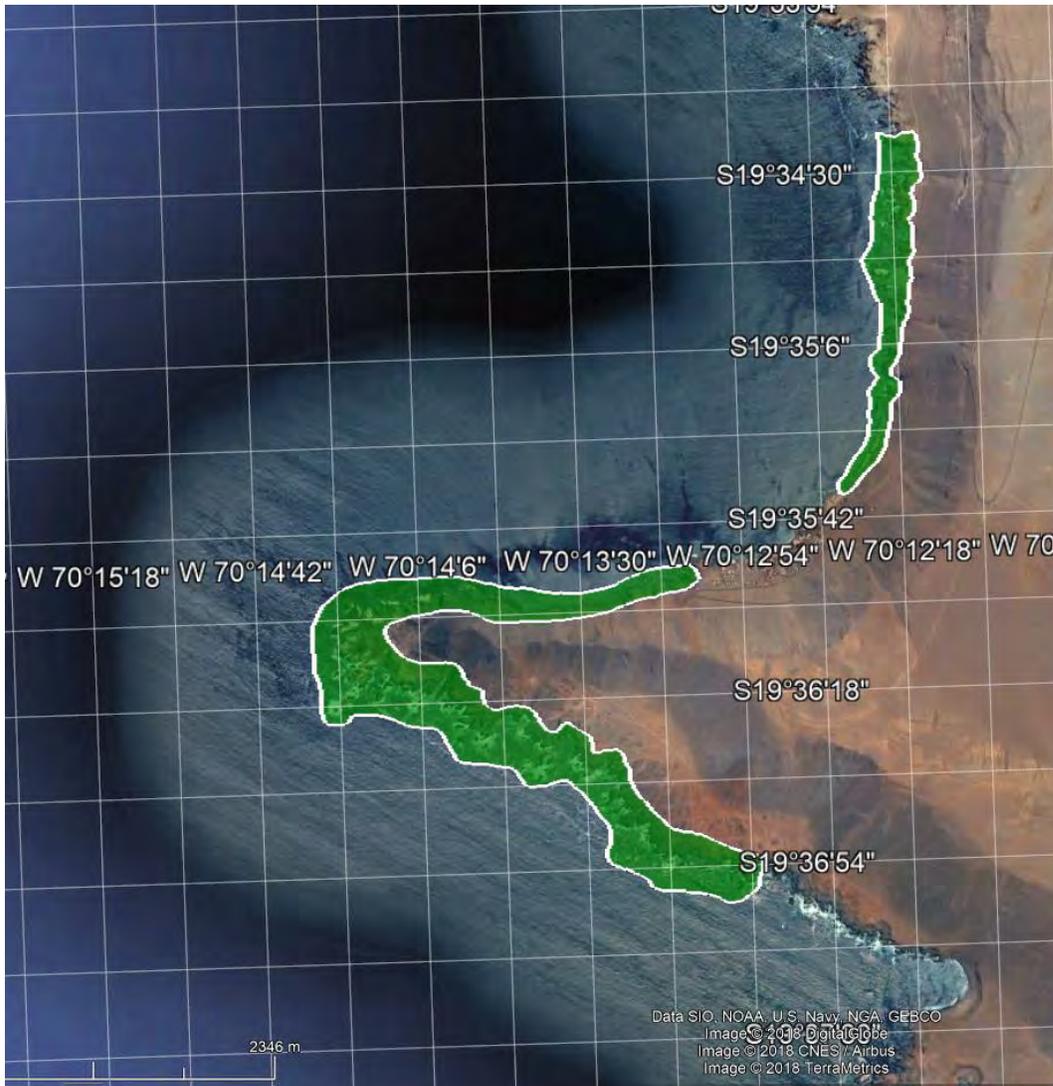
Relación espacial configuración aerofotogramétrica Caleta Camarones.

Pisagua: Los vuelos se planificaron dos sectores: zona norte y zona sur, permitiendo reducir el uso restrictivo de baterías para los UAV. El ángulo de inclinación a 50° norte permitió ajustar intensidad y dirección de vientos predominantes, logrando imágenes sin vibración con menor resolución, pero la necesaria para realizar los cálculos. Las

coordenadas de vuelos son 19°33'50.83"S, 70°12'50.54"O, 19°35'28.06"S, 70°12'24.09"O, y en cordenadas 19°35'52.01"S, 70°13'5.33"O, 19°38'6.35"S, 70°11'48.46"O cubriendo un area de 2640000 (zona norte) m2 y de 6780000 m2, ambos a 120 m de altura.

Pisagua Norte	
Fecha vuelo	30/02/2018
Área cubierta	2,64 km ²
Altura vuelo	100 metros
Duración vuelo	40 minutos
Cantidad de vuelos	6
Cantidad de cámaras	2

Pisagua Sur	
Fecha vuelo	30/02/2018
Área cubierta	6,78 km ²
Altura vuelo	100 metros
Duración vuelo	40 minutos
Cantidad de vuelos	6
Cantidad de cámaras	2



Relacion espacial configuracion fotogrametria de Pisagua norte y Pisagua sur.

Caleta Urco: Las condiciones de programación fueron similares a las de Pisagua con vuelo en coordenadas $21^{\circ}43'27.16''S$, $70^{\circ} 8'54.33''O$, $21^{\circ}44'56.58''S$, $70^{\circ} 9'2.09''O$, cubriendo un area de 737.347 m², a 70 metros de altura.

Caleta Urco	
Fecha vuelo	29/03/2018
Área cubierta	0,74 km ²
Altura vuelo	75 metros
Duración vuelo	50 minutos
Cantidad de vuelos	6
Cantidad de cámaras	2



Relacion espacial configuracion fotogrametria de Caleta Urco.

3.5.3. Ecuaciones para estimación de biomasa indirecta.

El calculo de biomasa indirecta, utilizando imágenes multiexpectrales, emisión de CO2 y consideraciones geoespaciales, utilizando ecuaciones tipo para agronomía de precisión y estimaciones forestales.

Descripción de ecuación:

X = punto geo espacial en orto imagen

Y = punto geo espacial en orto imagen

N = cantidad de puntos en orto imagen

Área obtenida de los polígonos de imágenes orto rectificadas con volumen

$$A = \int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n + 2} + C \quad \text{Metros Cuadrados}$$

Altura con respecto a la orientación de la imagen y su volumen

$$H = H = (D \times \operatorname{tg} \alpha) + A \quad \text{Centímetros}$$

Perímetro de polígono en imagen orto rectificada, valor obtenido de imagen 2d

$$P = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Volumen del polígono en imagen orto rectificada

$$\text{Volumen} = \int (x^2 + y^3) dxy$$

Factores de cálculo para determinar valores constantes de la ecuación

Selección de	a (semieje mayor)	b (semieje menor)
WGS84	6378137	6356752,314

Excentricidad	2ª Excentric. (e')
0,081819191	0,082094438

e' ²	c (radio polar de curvatura)
0,006739497	6399593,626

$$\ln(M) = \ln(a) \pm B \ln(D) \pm e_i = aD^b + e_i \quad [3]$$

1,6129 =

Desarrollo de la ecuación.

$$\text{Biomasa M1} = \int (x^2 + y^3) dxy - 1,6129 * \left(\frac{\int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n+2} + C}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2}} * \right)$$

9,8) * $\int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n+2} + C$ Kilogramos por metro cuadrado

Ecuación calculo biomasa Winrock (MacDicken K. 1997)

Descripción de ecuación:

X = punto geo espacial en orto imagen

Y = punto geo espacial en orto imagen

N = cantidad de puntos geo espacial en orto imagen

Área obtenida de los polígonos de imágenes orto rectificadas con volumen

$$A = \int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n + 2} + C \quad \text{Metros Cuadrados}$$

Altura con respecto a la orientación de la imagen y su volumen

$$H = H = (D \times \text{tg}(\alpha)) + A \quad \text{Centímetros}$$

Factores de cálculo para determinar valores constantes de la ecuación

Tipo de bosque	Modelo seleccionado	R ² _{aj} (%)	SEE	IF	n	FC
Bosque secundario	Bra = exp(-3,98702 + 2,48739*ln(d))	91,25	0,5053	–	122	1,14
	Bf = exp(-2,03527 + 2,1305*ln(d))	92,98	0,3655	–	152	1,07
	Bh = exp(-4,63349 + 2,26866*ln(d))	83,04	0,6537	–	146	1,24
	Log(Br) = -4,28411 + 2,59073*ln(d)	88,25	0,6038	2,5	139	1,20
	Log(Bt) = -1,80246 + 2,28927*ln(d)	95,68	0,3056	7,7	147	1,05

Desarrollo ecuación:

$$\text{Winrok} = \int (x^2 + y^3) dxy * 0,22582367 * \frac{H = (D \times \text{tg}(\alpha)) + A}{3,6} \quad \text{Kilogramos}$$

por metro cuadrado

Ecuación calculo biomasa Método Existencias (IPCC 1996).

Descripción de ecuación:

X = punto geo espacial en orto imagen

Y = punto geo espacial en orto imagen

N = cantidad de puntos geo espacial en orto imagen

Área obtenida de los polígonos de imágenes orto rectificadas con volumen

$$A = \int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n + 2} + C \quad \text{Metros Cuadrados}$$

Altura con respecto a la orientación de la imagen y su volumen

$$H = (D \times \text{tg}(\alpha)) + A \quad \text{Centímetros}$$

Perímetro de polígono en imagen orto rectificadas, valor obtenido de imagen 2d

$$P = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Volumen del polígono en imagen orto rectificadas

$$\text{Volumen} = \int (x^2 + y^3) dx dy$$

Factores de cálculo para determinar valores constantes de la ecuación

Selección	de	a (semieje mayor)	b (semieje menor)
WGS84		6378137	6356752,314

Excentricidad	2ª Excentric. (e')
0,081819191	0,082094438

e' ²	c (radio polar de curvatura)
0,006739497	6399593,626

$$\ln(M) = \ln(a) \pm B \ln(D) \pm e_i = aD^B + e_i \quad [3]$$

1,6129 =

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad (a)$$

donde:

$$0,5 = C = \sum_{i,j} \{A_{i,j} \cdot V_{i,j} \cdot BCEF_{S_{i,j}} \cdot (1 + R_{i,j}) \cdot CF_{i,j}\} \quad (b)$$

Desarrollo ecuación:

$$\text{biomasa Método Existencias} = \left(\int (x^2 + y^3) dxy - 1,6129 * \left(\frac{\int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n + 2} + C}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2}} * 9,8 \right) * \int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n + 2} + C \right) *$$

0,5 Kilogramos por metro cuadrado

3.6. Objetivo específico 6: En función de los resultados del proyecto, revisar los planes de manejo regional (Regiones XV, I y II) de las especies objetivo.

Los ejecutores, a la luz de la información histórica y los datos de abundancia y distribución de algas pardas de importancia comercial evaluadas en el presente estudio, en las regiones de Arica y Parinacotas, Iquique y Antofagasta, revisaron las actuales recomendaciones de conservación y manejo emanadas por las mesas de algas y los planes de manejo.

Los resultados y recomendaciones se han comunicado al Comité de Recursos Bentónicos de la Subsecretaría de Pesca (Valparaíso 2 de agosto 2018).

De acuerdo con los TTR, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura citó a reunión en la ciudad de Iquique a las autoridades pesqueras que involucran el presente proyecto. Así el 25 de octubre 2018, en la ciudad de Iquique, en las dependencias de la Dirección Zonal de Pesca (XV, I y II), el Director del Proyecto informó a las direcciones regionales del Servicio Nacional de Pesca, a la Dirección Zonal Subsecretaría de Pesca, a las Organizaciones de Pescadores Artesanales y a la Mesa de Algas Regional de los resultados y recomendaciones de manejo y conservación de algas pardas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. *Objetivo específico 1: Distribución espacial y niveles de abundancia, biomasa total (standing stock) y biomasa explotable (standing crop), de las especies huiro negro, huiro palo y huiro flotados, en toda el área de estudio.*

Las localidades o rangos de ubicación geográfica donde se ha evaluado la distribución y abundancia de algas pardas de importancia económica, fueron establecidas en la reunión de coordinación efectuada en las dependencias del FIPA y se mencionan en la TABLA 1. Para efectos comparativos, los resultados para cada Región de estudio, se integran en Figuras y Tablas que reúnen las evaluaciones de parámetros poblacionales para cada una de las regiones estudiadas, para el muestreo correspondiente a invierno-primavera 2017, y para la campaña de otoño-invierno 2018 y que corresponde a la estación de contraste comprometida.

Aun cuando no es parte de los compromisos de la propuesta, se incorporan evaluaciones de la abundancia y distribución de algas pardas de importancia económica en Áreas de Manejo de Recursos Bentónicos (AMERB), con el objeto de establecer comparaciones entre áreas de libre acceso y sectores de la costa del norte de Chile con una herramienta de conservación y manejo de poblaciones naturales.

LESSONIA BERTEROANA

En la Región de Arica y Parinacotas se evaluó la distribución y abundancia de *Lessonia berteriana* en la localidad de Camarones de acuerdo con el diseño de muestreo y distribución de cuadrantes y transectos indicados en las Tablas 1, 2 y 3. Esta localidad se sitúa en el límite sur de la Región y es la única localidad con farellones rocosos expuestos, ecosistemas costeros aptos para el reclutamiento y crecimiento de algas pardas intermareales y submareales someras.

Región de Arica y Parinacotas (Región XV).

Evaluación primavera-verano 2017

Las poblaciones de *Lessonia berteroa* se caracterizan por presentar una densidad promedio de $13,5 \pm 1,85$ plantas m^2 (Fig. 1, Tabla 5), con diámetros promedios de disco basal de 14 cm (Fig. 2) y una longitud máxima promedio 146 cm (Fig. 3). La distribución de tamaños muestran poblaciones constituidas principalmente por individuos juveniles, menores de 20 cm de diámetro basal (Fig. 4), lo que se corresponde con las estimaciones de densidad y tamaño individual de plantas. Consecuente con las estimaciones de parámetros poblacionales, solo 2 de cada 10 plantas de la localidad de Camarones muestran estipes con estructuras reproductivas (Fig. 5), lo que representa un 23 % de plantas reproductivas en el sector, (Fig. 6). Estos parámetros poblacionales evidencian poblaciones con altos porcentajes de plantas juveniles (< 20 cm diámetro basal del disco), lo que pone en evidencia los efectos de la cosecha intensa, y frecuentes eventos de reclutamiento. Esto mismo se refleja en la distribución de tamaño de plantas, donde se muestra que los reclutas y juveniles son las plantas de mayor abundancia, en contraste a la carencia de individuos adultos mayores de 20 cm de diámetro de disco basal (Fig. 8 A). No obstante lo anterior, las estimaciones de cobertura de *Lessonia berteroa* sobre sustrato rocoso en ambientes expuestos de la localidad de Camarones es de 85% (Fig. 9).

A nivel de la Región, (con una localidad muestreada), los promedios de abundancia corresponden a $13,50 \pm 1,85$ plantas m^2 y $31,89 \pm 4,61$ kg m^2 (Fig. 10, Tabla 6).

Aun cuando la localidad de Camarones representa la única localidad evaluada en la Región de Arica y Parinacota, esta es representativa de la costa expuesta rocosa regional. En este contexto la abundancia promedio a nivel regional corresponde a 13,50 individuos m^2 (Fig. 10).

La abundancia promedio de plantas adultas (> 20 cm diámetro basal del disco) de *Lessonia berteroana* en Camarones es de 2,15 plantas m² (Fig. 11), con un promedio regional similar por ser localidad única de muestreo (Fig. 12).

En la localidad de Camarones, la biomasa disponible (*Standing stock*), muestra una distribución promedio de $31,89 \pm 4,61$ kg m² (Fig. 13, 14, Tabla 5 y 6). En función de la distribución y abundancia de plantas adultas (> 20 cm diámetro basal del disco), la biomasa cosechable corresponde al 56 % de la biomasa disponible. En este contexto, la biomasa promedio de plantas cosechables es menor a 20 kg m² (Fig. 16, 17).

La información recolectada durante invierno 2017 en la localidad de Camarones, sugiere que las poblaciones de *Lessonia berteroana* están fuertemente estructuradas en función de altas presiones de cosecha y frecuentes y significativos reclutamientos, lo que se traduce en poblaciones formadas por plantas pequeñas, sin estructuras reproductivas. Como resultado de lo anterior, el registro de *Scurria scurra* un patelogastrópodo de asociación obligada a *Lessonia* es cero, ausente de las poblaciones de plantas evaluadas en Camarones (Fig. 18). Como ha sido sugerido por Vega *et al.* (2014), la ausencia de *Scurria* en discos y estipes de *Lessonia* es un indicador de la alta frecuencia de extracción y la prevalencia de poblaciones juveniles.

Evaluación otoño-invierno 2018

En un análisis comparativo primavera-verano 2017 y otoño-invierno 2017, las poblaciones de *Lessonia berteroana* se caracterizan por presentar una densidad promedio de $13,5 \pm 1,85$ plantas m² (primavera-verano 2017) y $26,23 \pm 5,23$ plantas m² (otoño-invierno 2018) (Fig. 1, Tabla 5), con diámetros promedios de disco basal de 14 cm y 7 cm (Fig. 2) y una longitud máxima promedio 146 cm y 65 cm para primavera-verano y otoño-invierno respectivamente (Fig. 3). La distribución de tamaños muestran poblaciones constituidas principalmente por individuos juveniles, menores de 20 cm de diámetro basal (Fig. 4), lo que se corresponde con las estimaciones de densidad y

tamaño individual de plantas. Consecuente con las estimaciones de parámetros poblacionales, solo 2 de cada 10 plantas de la localidad de Camarones muestran estipes con estructuras reproductivas (Fig. 5), lo que representa un 23 % de plantas reproductivas en el sector, (Fig. 6). Estos parámetros poblacionales evidencian poblaciones con altos porcentajes de plantas juveniles (< 20 cm diámetro basal del disco), lo que pone en evidencia los efectos de la cosecha intensa, y frecuentes eventos de reclutamiento. Esto mismo se refleja en la distribución de tamaño de plantas, donde se muestra que los reclutas y juveniles son las plantas de mayor abundancia, en contraste a la carencia de individuos adultos mayores de 20 cm de diámetro de disco basal (Fig. 7a, 7b). No obstante lo anterior, las estimaciones de cobertura de *Lessonia berteroa* sobre sustrato rocoso en ambientes expuestos de la localidad de Camarones es de 85% (Fig. 8).

Entre los muestreos de primavera-verano 2017 y otoño invierno 2018, la dinámica de poblacional de *Lessonia berteroa* en Camarones evidencia un escenario de intensificación de las cosechas y recolecciones. Esto se refleja en las condiciones de otoño-invierno 2018, en el aumento del número de juveniles, la disminución de los tamaños promedios de las plantas y la disminución del porcentaje de plantas adultas con estructuras reproductivas.

A nivel de la Región, (solo Camarones como muestra), los promedios de abundancia corresponden a $13,50 \pm 1,85$ plantas m^2 y $31,89 \pm 4,61$ kg m^2 , y $26,23 \pm 5,24$ plantas m^2 y $22,91 \pm 5,77$ kg m^2 para primavera-verano 2017 y otoño-invierno 2018 respectivamente (Fig. 9, Tabla 6). Esto evidencia la intensidad de las cosechas en la localidad de Camarones, en época donde las condiciones oceanográficas permiten un mejor y más frecuente acceso a ambientes intermareales para su cosecha y recolección. Considerando la prohibición de recolectar y cosechar, este aumento permanente, principalmente de la cosecha por barroteo, evidencia la falta de fiscalización en esta pesquería.

<i>Lessonia berteroana</i>									
		Temporada Muestreo Primavera-Verano				Temporada Muestreo Otoño-Invierno			
Región	Sitio	Abundancia Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa	Abundancia Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa
Arica	Camarones	13,50	1,85	31,89	4,61	26,63	5,24	22,91	5,77
Iquique	Pisagua	13,61	1,92	25,22	2,81	21,50	5,10	34,51	4,32
	Los Verdes	7,92	1,10	47,39	9,29	7,75	1,63	19,05	3,71
	Yape	19,25	4,71	10,37	1,65	15,70	1,77	11,82	1,95
	La Curva	8,75	1,44	8,38	1,02	17,83	3,66	12,09	1,40
Antofagasta	Urco	11,00	2,32	6,13	1,24	16,57	3,25	6,22	1,01
	Cobija	19,08	6,14	6,58	1,55	15,17	2,97	9,20	1,11
	Lagarto	6,08	1,77	28,52	4,48	10,25	1,87	26,29	3,82
	Finao Loreto	5,42	0,48	47,44	6,47	5,67	0,59	70,10	15,08
	Cifuncho	5,06	0,47	31,13	3,21	10,08	1,87	27,70	3,45

Tabla 5. Abundancia total promedio y biomasa disponible promedio de *Lessonia berteroana* en las localidades de evaluación directa en las regiones XV, I y II, agregando áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno.

<i>Lessonia berteroana</i>								
		Temporada Muestreo Primavera-Verano			Temporada Muestreo Otoño-Invierno			
Región	Abundancia Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa	Abundancia Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa
Arica	13,50	1,85	31,89	4,61	26,63	5,24	22,91	5,77
Iquique	12,52	1,38	23,10	3,02	16,89	2,14	21,04	2,26
Antofagasta	8,40	1,20	25,52	2,33	11,45	1,10	27,28	3,63

Tabla 6. Abundancia total promedio y biomasa disponible promedio de *Lessonia berteroana* resultado de evaluaciones directas en las regiones XV, I y II, agregando áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno.

<i>Lessonia berteroana</i>								
	Temporada Muestreo Primavera-Verano				Temporada Muestreo Otoño-Invierno			
Región	Abundancia Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa	Abundancia Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa
Arica	13,50	1,85	31,89	4,61	26,63	5,24	22,91	5,77
Iquique	12,52	1,38	23,10	3,02	16,89	2,14	21,04	2,26
Antofagasta	8,40	1,20	25,52	2,33	11,45	1,10	27,28	3,63

Tabla 7. Abundancia total promedio y biomasa disponible promedio de *Lessonia trabeculata* en las localidades de evaluación directa en las regiones XV, I y II, en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno.

<i>Lessonia trabeculata</i>									
		Temporada Muestreo Primavera-Verano				Temporada Muestreo Otoño-Invierno			
Región	Sitio	Abundancia Total Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa	Abundancia Total Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa
Arica	Camarones	0,94	0,46	11,57	2,14	1,53	0,40	4,92	1,36
Iquique	Pisagua	1,37	0,16	9,04	2,56	3,05	0,16	7,97	1,72
	Verdes	1,77	0,09	13,57	0,78	1,44	0,64	7,02	3,12
	San Marcos	1,59	0,26	8,57	3,39	3,00	0,36	4,70	1,09
Antofagasta	Cobija	1,82	1,14	9,91	4,20	1,08	0,94	5,24	3,29
	Lagarto	2,83	1,65	17,36	10,06	1,66	0,46	9,64	7,79
	Paposo	2,41	0,33	13,85	2,37	0,97	0,02	5,31	0,81
	Cifuncho	1,64	0,05	12,52	0,49	1,22	0,47	5,43	1,86

Tabla 8. Abundancia total promedio y biomasa disponible promedio de *Lessonia trabeculata* resultado de evaluaciones directas en las regiones XV, I y II, en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno.

<i>Lessonia trabeculata</i>								
	Temporada Muestreo Primavera-Verano				Temporada Muestreo Otoño-Invierno			
Región	Abundancia Total Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa	Abundancia Total Promedio (indiv/m ²)	Error Estándar Abundancia	Biomasa Disponible Promedio (kg/m ²)	Error Estándar Biomasa
Arica	0,94	0,46	11,57	2,14	1,53	0,40	4,92	1,36
Iquique	1,58	0,11	10,39	1,50	2,50	0,39	6,57	1,14
Antofagasta	2,17	0,43	13,41	2,34	1,23	0,24	6,41	1,79

Crecimiento de los sectores en función del estado del mar.

Tabla 9. Estimación de biomasa disponible y cosechable de *Lessonia berteroana* en localidades de evaluación directa en las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB), en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno.

Lessonia berteriana												
Región	Sitio	Medida de Administración	Temporada Muestreo Primavera-Verano					Temporada Muestreo Otoño-Invierno				
			Ancho Promedio Cinturon (m)	Distancia Total (m)	Biomasa Disponible (ton)	Proporción Cosechable (%)	Biomasa Cosechable (ton)	Ancho Promedio Cinturon (m)	Distancia Total (m)	Biomasa Disponible (ton)	Proporción Cosechable (%)	Biomasa Cosechable (ton)
Arica	Camarones	ALA	3,08	19230	1.891	13,33	252	3	19230	1.432	5,16	74
Iquique	Pisagua	ALA	2,37	355370	19.436	11,14	2.165	2	355370	14.874	8,27	1.231
	Pisagua	AMERB										
	Los Verdes	ALA										
	Yape	ALA										
	La Curva	ALA										
Antofagasta	Urco	ALA	3,09	401670	31.634	27,05	8.557	2	401670	23.256	17,78	4.135
	Cobija	ALA										
	Lagarto	ALA										
	Finao_Loreto	ALA										
	Cifuncho	ALA										
	Cifuncho	ALA										
	Cifuncho	AMERB										

Tabla 10. Estimación de biomasa disponible y cosechable de *Lessonia trabeculata* en localidades de evaluación directa en las regiones XV, I y II para áreas de libre acceso (ALA), en las temporadas de muestreo Primavera-Verano y Otoño-Invierno.

Aun cuando la localidad de Camarones representa la única localidad evaluada en la Región de Arica y Parinacota, esta es representativa de la costa expuesta rocosa regional. En este contexto la abundancia promedio a nivel regional corresponde a 13,50 y 26,63 individuos m² para ambos muestreos contrastantes, primavera-verano y otoño-invierno (Fig. 9).

La abundancia promedio de plantas adultas (> 20 cm diámetro basal del disco) de *Lessonia berteriana* en Camarones es de 2,15 y 2,10 plantas m² 2017 y 2018 respectivamente (Fig. 10), con un promedio regional similar por ser localidad única de muestreo (Fig. 11). Comparativamente entre muestreos contrastantes, el número de plantas adultas no varía entre un muestreo y otro, no obstante los reclutamientos que se evidencian en otoño-invierno 2018 se reflejan en los registros de altos valores de número de plantas por área evaluada.

En la localidad de Camarones durante el muestreo de primavera-verano, la biomasa disponible (*Standing stock*), muestra una distribución promedio de 31,89 ± 4,61 kg m² (Fig. 12, 13, 14 Tabla 5 y 6). En función de la distribución y abundancia de plantas adultas (> 20 cm diámetro basal del disco), la biomasa cosechable corresponde al 13,33 % de la biomasa disponible. En este contexto, la biomasa promedio de plantas

cosechables es menor a 20 kg m² (Fig. 15). La condición de otoño-invierno 2018 en relación a la abundancia de *L. berteroana* sugiere nuevamente fuertes presiones de cosecha, donde la biomasa disponible representa solo el 5,16% de la biomasa disponible (Tabla 9).

La información recolectada, tanto en las campañas de otoño-invierno como orimavera-verano en la localidad de Camarones, sugieren que las poblaciones de *Lessonia berteroana* están fuertemente estructuradas en función de altas presiones de cosecha y frecuentes y significativos reclutamientos, lo que se traduce en poblaciones formadas por plantas pequeñas, sin estructuras reproductivas. Como resultado de lo anterior, el registro de *Scurria scurra* un pateleogastrópodo de asociación obligada a *Lessonia* es cero, ausente de las poblaciones de plantas evaluadas en Camarones (Fig. 16). Como ha sido sugerido por Vega *et al.* (2014), la ausencia de *Scurra* en discos y estipes de *Lessonia* es un indicador de la alta frecuencia de extracción y la prevalencia de poblaciones juveniles.

Región de Tarapacá (Región I)

Evaluación Primavera-Verano 2017

En la Primera Región de Tarapacá se evaluó la abundancia y distribución de *Lessonia berteroana* en 4 localidades de libre acceso (ALA) y una localidad bajo el régimen de AMERB en: Pisagua, Los Verdes, Yape y La Curva (Tablas 1, 2 y 3). Estas localidades muestran una diversidad de ambientes y de intensidades de extracción y recolección por recolectores e orilla y pescadores artesanales. Aun cuando la normativa vigente solo autoriza la recolección de dos toneladas de algas varadas, a recolectores de orilla y pescadores inscritos y autorizados para el recurso, durante las campañas de terreno de primavera-verano 2017, otoño-invierno 2018, se registró una cosecha intensa y frecuente mediante barroteo, especialmente en las localidades de Pisagua y La Curva.



Las localidades Los Verdes y La Curva muestran una densidad entre 7,9 y 8,6 plantas m^2 (Fig. 1, Tablas 5 y 6). En contraste, Pisagua y Yape tienen densidades en 13,6 y 19,2 plantas m^2 respectivamente (Fig. 1, Tabla 5, 6). Comparativamente, las menores densidades se registran en Los Verdes con valores promedios de $7,92 \pm 1,10$ plantas m^2 (Fig. 1, Tabla 5). Las densidades registradas en el sitio Pisagua AMERB, son significativamente mayores a las áreas de libre acceso en la misma localidad, validando

al área de manejo como una adecuada herramienta de conservación (Fig. 1). No obstante lo anterior, la localidad de Yape, correspondiente a un área de libre acceso, muestra densidades similares a la de Pisagua AMERB (Fig. 1).

El análisis de los tamaños promedios muestra una imagen especular en relación a la distribución de la densidad. Así en las localidades con mayor densidad, el tamaño promedio de los individuos es menor (Fig. 2). Las plantas más pequeñas ocurren en Pisagua AMERB y en Yape, en contraste a lo que se observa en Los Verdes. No obstante lo anterior, todas las poblaciones evaluadas muestran una alta conformación de plantas juveniles, bajo los 20 cm de diámetro basal de disco de adhesión (Fig. 2). El tamaño promedio en relación a los valores de longitud máxima de estipes, refleja también la condición de plantas jóvenes, donde los promedios no superan 145 cm de longitud máxima de estipe (Fig. 3).

La predominancia de individuos juveniles de *Lessonia berteroana* en la Región de Iquique se observa en la Fig. 4, donde con excepción de Los Verdes (40 % plantas adultas), las poblaciones de Pisagua, Yape y La Curva están casi enteramente conformadas por plantas inmaduras o juveniles. Así, las poblaciones evaluadas en la Región de Tarapacá muestran bajos porcentajes de plantas con estructuras reproductivas (Fig. 5). En este contexto, Los Verdes y Yape presentan los mayores porcentajes de plantas adultas con soros reproductivos (Fig. 6).

Al considerar las densidades de plantas evaluadas en la Región de Tarapacá, las mayores abundancia de individuos de *Lessonia berteroana* ocurren en Pisagua y Yapes, como se ha mencionado estas plantas son individuos juveniles, denotando continuos y frecuentes eventos de reclutamiento. Esto se evidencia al análisis del dendrograma de tamaños, donde unas pocas plantas en Pisagua (7a B-C), Los Verdes (7a D) y La Curva (Fig. 7a F), sobrepasan el tamaño sugerido para plantas adultas (> 20 cm de diámetro de disco de adhesión).

Aun cuando las poblaciones de *Lessonia berteriana* en la Región de Tarapacá están principalmente formadas por plantas juveniles, la cobertura sobre sustrato rocoso es entre 70 y 85 % en Pisagua y Los Verdes, y cercano al 60 % en Yape y La Curva (Fig. 8).

La abundancia promedio de plantas de *Lessonia berteriana* en la Región de Iquique es de $11,78 \pm 1,46$ plantas por m^2 en áreas de libre acceso (Tabla 6), y 17 plantas m^2 en áreas de manejo (Fig. 9), reforzando el valor de esta estrategia de conservación de la misma forma como la observada en la localidad de Camarones Región Arica). Como ya se ha mencionado, la proporción de plantas adultas es comparativamente baja, con ausencia de plantas sobre 20 cm de diámetro en la localidad de La Curva. En Pisagua la densidad promedio de plantas adultas es de 1,6 indiv m^2 , Los Verdes 3 individuos m^2 y en Yape el promedio de plantas adultas es de 1 indiv m^2 (Fig. 10). En la Primera Región de Tarapacá la densidad promedio de *Lessonia berteriana* en las localidades evaluadas fluctúa entre 1,7 (ALA) y 2,3 (AMERB) de plantas adultas por m^2 (Fig. 11).

La biomasa promedio disponible en Pisagua es $27 \text{ kg } m^2 \pm 3,45$ a diferencia de Pisagua AMERB con $38 \text{ kg } m^2$. Esto contrasta con la biomasa promedio disponible en las localidades de Yape ($10,37 \pm 1,65 \text{ kg } m^2$) y La Curva ($8,38 \pm 1,02 \text{ kg } m^2$), donde la biomasa promedio no supera los $10 \text{ kg } m^2$ en ambos sectores (Fig. 12, Tabla 5). Los valores de biomasa promedio disponible junto a los altos porcentajes de plantas juveniles y carencia de plantas adultos, sugiere intensa y frecuente cosecha por barroteo. La Región de Tarapacá presenta una biomasa promedio disponible de $23,12 \pm 3,46 \text{ kg } m^2$, indistintamente para ALA y AMERB (Fig. 13).

La biomasa promedio disponible (*standing stock*) de plantas adultas, sugiere una biomasa cosechable variable entre las localidades evaluadas: Pisagua muestra valores entre 14 y $18 \text{ kg } m^2$, Los Verdes más de $40 \text{ kg } m^2$ y Yape $8,5 \text{ kg } m^2$. En contraste a lo anterior, La Curva, si bien dispone de biomasa, todas sus plantas están bajo la medida legal para ser cosechadas (Fig. 14). Así, la biomasa promedio cosechable en la Región fluctúa entre $10 \text{ kg } m^2$ y $30 \text{ kg } m^2$, con una menor disponibilidad en AMERB (Fig. 15).

Esto podría ser reflejo de cosechas programadas cercanas al momento de la evaluación de este proyecto.

Los indicadores poblacionales de *Lessonia berteroana* en la Región de Tarapacá sugieren una situación de permanente y fuerte cosecha: alto número de juveniles, bajas biomásas, continuos reclutamientos. Al igual que en la Región de Arica y Parinacotas, las plantas de Iquique no presentan el simbionte *Scurria scurra*, lo que refuerza la visión de sobre explotación de las poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana* en el norte de Chile (Fig. 16).

Evaluación Otoño-Invierno 2018.

Durante los muestreos de otoño-invierno 2018, se evaluó la abundancia y distribución de *Lessonia berteroana* en las localidades de Pisagua, Los Verdes, Yape y La Curva (Tablas 1, 2 y 3), al igual que en el muestreo previo del 2017 (ALA y AMERB). Estas evaluaciones evidencian un recrudescimiento de las actividades de recolección y cosecha, reflejándose fuertemente en los indicadores poblacionales y en la desaparición de varaderos históricos en áreas de libre acceso.

Las localidades Los Verdes y la Curva muestran una densidad entre 7,75 y 17,83 plantas m² (Fig. 1, Tablas 5 y 6). En contraste, Pisagua y Yape tienen densidades en 21,5 y 15,7 plantas m² respectivamente (Fig. 1, Tabla 5, 6). Comparativamente, con la abundancia registrada en 2017, estos valores sugieren mayor barroteo, generando mayor espacio libre para el asentamiento de plantas juveniles, reflejándose en un aumento del número de plantas por unidad de área (Fig. 1, Tabla 5).

Las densidades registradas en el sitio Pisagua AMERB, son significativamente mayores a las áreas de libre acceso en la misma localidad, validando nuevamente al área de manejo como una adecuada herramienta de conservación (Fig. 1).

Al igual que en el muestreo 2017, los tamaños promedios de las plantas muestran una relación directa a la distribución de la densidad. Así en las localidades con mayor densidad, el tamaño promedio de los individuos es menor (Fig. 2). Las plantas más pequeñas ocurren en Pisagua AMERB y en Yape, en contraste a lo que se observa en Los Verdes. No obstante lo anterior, todas las poblaciones evaluadas muestran una alta conformación de plantas juveniles, bajo los 20 cm de diámetro basal de disco de adhesión (Fig. 2). Durante este muestreo de otoño-invierno, el tamaño promedio en relación a los valores de longitud máxima de estipes, disminuye en comparación al muestreo 2017 reforzando la condición de poblaciones cada vez más conformada por plantas jóvenes, donde los promedios no superan 80 cm de longitud máxima de estipe (Fig. 3).

La predominancia de individuos juveniles de *Lessonia berteriana* en la Región de Tarapaca se observa en la Fig. 4, donde con excepción de Pisagua AMERB, las poblaciones de las otras localidades muestreadas registran menos de 15 % de plantas adultas. Así, las poblaciones evaluadas en Pisagua AMERB registra la mayor densidad de plantas reproductivas (Fig. 5), en contraste a las otras localidades de la Región de Tarapacá en otoño-invierno 2018, que muestran bajos porcentajes de plantas con estructuras reproductivas (Fig. 6).

Al considerar las densidades de plantas evaluadas en la Región de Tarapacá, las mayores abundancia de individuos de *Lessonia berteriana* ocurren en Pisagua y Yapes, como se ha mencionado estas plantas son individuos juveniles, denotando continuos y frecuentes eventos de reclutamiento. Esto se evidencia al análisis del dendrograma de tamaños, donde unas pocas plantas en Pisagua y Pisagua AMERB (7bB-C) y Los Verdes (7b D), sobrepasan el tamaño sugerido para plantas adultas (> 20 cm de diámetro de disco de adhesión).

Aun cuando las poblaciones de *Lessonia berteriana* en la Región de Tarapacá están principalmente formadas por plantas juveniles, la cobertura sobre sustrato rocoso es

entre 60 y 85 % en Pisagua y Yape, en contraste a Los Verdes con porcentajes de cobertura menores a 50% (Fig. 8).

La abundancia promedio de plantas de *Lessonia berteroa* en la Región de Iquique es de 17 plantas por m² en áreas de libre acceso (Tabla 6), y 13 plantas m² en áreas de manejo (Fig. 9), reforzando el valor de esta estrategia de conservación de la misma forma como la observada en la localidad de Camarones . Como ya se ha mencionado, la proporción de plantas adultas es comparativamente baja, En Pisagua AMERB, comparativamente mas alrta que las otras localidades muestreadas (Fig. 10). En la Primera Región de Tarapacá la densidad promedio de *Lessonia berteroa* en las localidades evaluadas fluctúa entre 1,5 (ALA) y 2,6 (AMERB) plantas adultas por m² (Fig. 11).

La biomasa promedio disponible en Pisagua es 34,51 kg m² ± 4,32. Esto contrasta con la biomasa promedio disponible en las localidades de Yape (19,05 ± 3,71 kg m²) y La Curva (12,09 ± 1,4 kg m² (Fig. 12, Tabla 5). Los valores de biomasa promedio disponible junto a los altos porcentajes de plantas juveniles y carencia de plantas adultas, sugieren intensa y frecuente cosecha por barroteo. La Región de Tarapacá presenta una biomasa promedio disponible de 21,04 ± 2,26 kg m², no obstante los valores de biomasa de ALAs son inferiores a 20 kg m², en contraste a AMERB con biomasa promedio superiores a 40 kg m² (Fig. 13).

La biomasa promedio disponible (*standing stock*) de plantas adultas, sugiere una biomasa cosechable variable entre las localidades evaluadas: Pisagua muestra valores entre 12 y 34 kg m², Los Verdes más de 19 kg m² y Yape 11,8 kg m². En contraste a lo anterior, La Curva, si bien dispone de biomasa, todas sus plantas están bajo la medida legal para ser cosechadas (Fig. 14). Así, la biomasa promedio cosechable en la Región fluctúa entre 12 kg m² y 35 kg m² (Fig. 15).

Al igual que las evaluaciones de primavera-verano 2018, los indicadores poblacionales de *Lessonia berteroa* en la Región de Tarapacá sugieren una situación de permanente y fuerte cosecha: alto número de juveniles, bajas biomásas, continuos

reclutamientos. Al igual que en la Región de Arica y Parinacotas, las plantas de Iquique no presentan el simbionte *Scurria scurra*, lo que refuerza la visión de sobre explotación de las poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana* en el norte de Chile (Fig. 16).

Región de Antofagasta (Región II).

Evaluación primavera-verano 2017

En la Segunda Región de Antofagasta se evaluó la abundancia y distribución de *Lessonia berteroana* en cinco localidades de libre acceso (ALA) y una localidad bajo el régimen de AMERB en: Caleta Urco, Cobija, Lagarto (Península de Mejillones), Finao Loreto y Cifuncho (Tablas 1, 2 y 3). Estas localidades muestran una diversidad de ambientes y de intensidades de extracción y recolección, a pesar de estar prohibida la extracción y cosecha y limitado la cantidad de recolección de la mortalidad natural. Aun cuando la normativa vigente solo autoriza la recolección de cinco toneladas de algas varadas a recolectores de orilla y pescadores inscritos y autorizados para el recurso, estas áreas y en general todo el litoral de la Región de Antofagasta registra una alta intensidad de cosecha por barreteo.

En general, con excepción de la localidad de Lagarto, la densidad de plantas fluctúa entre 5,4 y 11 plantas m². En esta Región la densidad de plantas en AMERB no es distinta a las densidades de las áreas de libre acceso (ALA) (Fig. 1). En contraste, la localidad de Lagarto en la Península de Mejillones, muestra las mayores densidades de plantas con valores promedios de 19, 25 + 4,71 indiv m² (Fig. 1, Tabla 5).

El análisis de los tamaños promedios, al igual que las otras regiones de estudio, muestra una imagen especular en relación a la distribución de la densidad. Así, las localidades de la Región de Antofagasta con mayor densidad, el tamaño promedio de los individuos es menor. Las plantas más pequeñas ocurren en Caleta Urco y Cobija, en contraste a lo que se observa en las localidades de Lagarto, Finao Loreto y Cifuncho (Fig. 2). En las localidades de Finao Loreto y Cifuncho AMERB, a diferencia de todas las otras

localidades muestreadas en el área de estudio, el promedio del diámetro basal del disco de *Lessonia berteroana* es mayor a 20 cm (Fig. 2), lo que sugiere poblaciones formadas principalmente por organismos adultos.

El tamaño promedio en relación a los valores de longitud máxima de estipes, refleja distintas situaciones poblacionales: Urco y Cobija con alta densidad de plantas juveniles y de longitud máxima de estipes menores a 100 cm (Fig. 3). En contraste, Lagarto y Finao Loreto con menores densidades, muestran plantas con longitud máxima promedio que superan los 200 cm (Fig. 3), indicando la presencia de poblaciones adultas y menor intensidad de cosechas por barroteo. Cifuncho con poblaciones conformadas principalmente por plantas adultas, muestran longitudes promedios de 125 cm de longitud de estipes, ambientes expuestos con alto impacto del oleaje (Fig. 3).

Tal como muestran los datos de densidad y tamaños promedios (disco de adhesión y longitud máxima de estipes), la distribución porcentual de individuos juveniles de *Lessonia berteroana* es mayor en Urco y Cobija. En esta última localidad, las poblaciones están conformadas casi en un 100% por individuos juveniles, menores a 20 cm de diámetro basal de disco de adhesión (Fig. 4). Lagarto y Cifuncho ALA, localidades con intensa cosecha, las poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana* están conformadas entre 20 y 30 % de plantas adultas (Fig. 4). En contraste Finao Loreto, con alta recolección pero con restricción al acceso por un grupo de pescadores (sin ser AMERB), y Cifuncho AMERB muestran una proporción de plantas adultas entre 50 y 60 % respectivamente (Fig. 4).

No obstante lo anterior, aun cuando todas las poblaciones evaluadas en la Región de Antofagasta muestran cierta abundancia de plantas con estructuras reproductivas, los valores fluctúan entre 0,7 y 3,6 plantas m² (Fig. 5). En este contexto, las localidades de Lagarto, Finao Loreto y Cifuncho AMERB muestran las mayores densidades de plantas reproductivas con valores entre 3 y 3,6 ind m² (Fig. 5). Esto se refleja en la distribución porcentual de individuos reproductivos donde las localidades evaluadas no superan el 40% de plantas con soros reproductivos, sugiriendo para estas localidades evaluadas,

altas presiones de cosecha y recolección, a la vez de frecuentes eventos de reclutamiento de esporofitos juveniles (Fig. 6).

El análisis de un dendrograma de tamaños de discos de adhesión de *Lessonia berteroa*, muestra las poblaciones de Urco (7 G) y Cobija (7 H) preponderantemente conformadas por plantas juveniles menores a 20 cm de diametro basal. Las localidades de Lagarto en Península de Mejillones (Fig. 7 I), Finao Loreto (Fig. 7 J) y Cifuncho AMERB (Fig. 7 L), muestran una distribución normal de los tamaños de discos de adhesión, con plantas adultas reproductivas. En contraste, la localidad de libre acceso en Cifuncho (ALA), aun cuando presenta plantas adultas, su población está mayoritariamente conformada por reclutas o juveniles (Fig. 7 K).

Si bien las poblaciones de *Lessonia berteroa* en la Región de Antofagasta están principalmente formadas por plantas juveniles, la cobertura sobre sustrato rocoso varía entre 50 y 78 %, con excepción de la localidad de Cifuncho ALA, donde la cobertura no supera el 30 % (Fig. 8), denotando altas presiones de extracción.

La abundancia promedio de plantas de *Lessonia berteroa* en la Región de Antofagasta es de 10 plantas por m² en áreas de libre acceso, y 4,8 plantas m² en áreas de manejo (Fig. 9). Como ya se ha mencionado, la proporción de plantas adultas es comparativamente baja, con pocas plantas sobre 20 cm de diámetro de disco de adhesión en la localidad de Urco y Cobija (Fig. 10). Las otras localidades evaluadas en la Región de Antofagasta presentan densidades promedios de plantas adultas que fluctúan entre 1,8 y 2,6 indiv m² (Fig. 10). En este contexto las localidades de Finao Loreto y Cifuncho AMERB, muestran las mayores densidades de plantas adultas por m² (Fig. 10). En la Segunda Región de Antofagasta, comparativamente la densidad promedio de plantas adultas de *Lessonia berteroa* en áreas de libre acceso (ALA) es menor a la abundancia en AMERB (Fig. 11).

En la Región de Antofagasta, la mayor biomasa disponible se observó en Finao Loreto con $47,44 \pm 6,47$ kg m², en contraste a biomásas menores en Caleta Urco y Lagarto con $6,13 \pm 1,24$ kg m² y $6,58 \pm 1,55$ kg m² respectivamente (Fig. 12, Tabla 5).

Las localidades de Cifuncho AMERB y ALA, y Lagarto en la Península de Mejillones, muestran biomasa intermedias entre las localidades mencionadas anteriormente, fluctuando entre 19 y 28 kg m² (Fig. 12, Tabla 5). Los valores de biomasa disponible junto a los altos porcentajes de plantas juveniles y carencia de plantas adultos, sugiere intensa y frecuente cosecha por barroteo, en especial en las localidades muestreadas al norte de la Región en estudio. En total, la Región de Antofagasta presenta un promedio de biomasa total disponible de 21,40 + 2,6 kg m² en áreas de libre acceso y cerca de 40 kg m² en la AMERB de Cifuncho (Fig. 13, Tabla 5 y 6). De la biomasa promedio disponible (*standing stock*), la biomasa cosechable es variable entre las localidades evaluadas: Finao Loreto 47,44 + 6,47 kg m², Cifuncho AMERB 40 kg m², Lagarto 6,58 + 1,55 kg m² y Cifuncho ALA 15 kg m². En contraste a lo anterior, las localidades de Urco y Cobija, si bien dispone de biomasa, esta no supera los 10 kg m² (Fig. 14, Tabla 6). Así la biomasa promedio cosechable en la Región de Antofagasta fluctúa entre 28 kg m² (ALA) y 40 kg m² (AMERB), (Fig. 15), y un promedio de biomasa disponible a nivel regional de 21,40 + 2,60 kg m² (Fig. 15, Tabla 6).

Es importante considerar que las mayores biomasa observadas al sur de la Región, enmascaran la baja disponibilidad de biomasa cosechable producto de altas presiones de extracción en el norte de la Región de Antofagasta.

Los indicadores poblacionales de *Lessonia berteroana* en la Región de Antofagasta sugieren una situación de permanente y fuerte cosecha: alto número de juveniles, bajas biomasa, continuos reclutamientos. No obstante lo anterior, a diferencia de lo observado en las regiones de Arica e Iquique, las poblaciones del sur de la Región de Antofagasta presentan algunos ejemplares del simbionte *Scurria scurra*. Sin embargo, el bajo número de este pateleogastrópodo, refuerza la visión de sobre explotación de las poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana* en esta región de estudio, como en todo el norte del país (Fig. 16).

Evaluación otoño-invierno 2018

Durante los muestreos de otoño-invierno 2018, se evaluó la abundancia y distribución de *Lessonia berteroana* en cinco localidades de libre acceso (ALA) y una localidad bajo el régimen de AMERB en: Caleta Urco, Cobija, Lagarto (Península de Mejillones), Finao Loreto y Cifuncho (Tablas 1, 2 y 3). Al igual que el muestreo primavera-verano, la costa de la Región de Antofagasta evidencia una alta intensidad de cosecha por barroteo.

En las localidades muestreadas, la densidad de plantas fluctúa entre 5,67 y 16,57 plantas m². Comparativamente con el muestreo de primavera-verano 2017 las densidades promedio son más altas, indicando una disminución de plantas adultas y fuertes reclutamientos en áreas barroteadas (Tabla 5). En esta Región la densidad de plantas en AMERB-Cifuncho no es distinta a las densidades de las áreas de libre acceso (ALA) (Fig. 1). En contraste, la localidad de Urco, muestra las mayores densidades de plantas con valores promedio de 16,57 + 3,35 indiv m² (Fig. 1, Tabla 5).

El análisis de los tamaños promedio, al igual que las otras regiones de estudio, muestra una imagen especular en relación a la distribución de la densidad. Así, las localidades de la Región de Antofagasta con mayor densidad, el tamaño promedio de los individuos es menor. Las plantas más pequeñas ocurren en Caleta Urco y Cobija, en contraste a lo que se observa en las localidades de Lagarto, Finao Loreto y Cifuncho (Fig. 2). En las localidades de Finao Loreto, a diferencia de todas las otras localidades muestreadas en el área de estudio, el promedio del diámetro basal del disco de *Lessonia berteroana* es mayor a 20 cm (Fig. 2), lo que sugiere poblaciones formadas principalmente por organismos adultos. En esta localidad ocurre un fenómeno particular de cuidado en función de una organización de tipo familiar. Esto hace que esta localidad tenga un comportamiento tipo AMERB e incluso con mayor densidad de plantas adultas, adultos reproductivos que Cifuncho AMERB en la misma región.

El tamaño promedio en relación a los valores de longitud máxima de estipes, refleja distintas situaciones poblacionales: Urco y Cobija con alta densidad de plantas juveniles y de longitud máxima de estipes menores a 100 cm (Fig. 3). En contraste, Finao Loreto con menores densidades, muestran plantas con longitud máxima promedio que

superan los 200 cm (Fig. 3), indicando la presencia de poblaciones adultas y menor intensidad de cosechas por barroteo. Cifuncho con poblaciones conformadas principalmente por plantas adultas, muestran longitudes promedios de 125 cm de longitud de estipes (Fig. 3). A diferencia del muestreo de primavera verano, las poblaciones de Cifuncho y Largarto evidencias durante el muestreo de otoño-invierno, intensas cosechas mediante barroteo, disminuyendo las longitudes máximas de las plantas, la densidad promedio y el porcentaje de plantas reproductivas (Fig. 2, 3, 15

Tal como muestran los datos de densidad y tamaños promedios (disco de adhesión y longitud máxima de estipes), la distribución porcentual de individuos juveniles de *Lessonia berteroana* es mayor en Urco y Cobija. En esta última localidad, las poblaciones están conformadas casi en un 100% por individuos juveniles, menores a 20 cm de diámetro basal de disco de adhesión (Fig. 4). Lagarto y Cifuncho ALA, localidades con intensa cosecha, las poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana* están conformadas entre 15 y 20 % de plantas adultas (Fig. 4). En contraste Finao Loreto, con alta recolección pero con restricción al acceso por un grupo de pescadores (sin ser AMERB), y Cifuncho AMERB muestran una proporción de plantas adultas entre 50 y 20 % respectivamente (Fig. 4). Durante el muestreo de otoño-invierno 2018, los miembros de la Organización de Cifuncho AMERB, declararon cosecha mediante barroteo en el área de manejo, reflejándose en la disminución de tamaños promedio y número plantas adultas reproductivas y disminuyó en la longitud máxima promedio.

No obstante lo anterior, aun cuando todas las poblaciones evaluadas en la Región de Antofagasta muestran cierta abundancia de plantas con estructuras reproductivas, cuyos valores fluctúan entre 1,8 y 4,3 plantas m² (Fig. 5). En este contexto, las localidades de Cobija, Finao Loreto y Cifuncho AMERB muestran las mayores densidades de plantas reproductivas con valores entre 2 y 4,3 ind m² (Fig. 5). Sin embargo, solo las plantas adultas de Finao Loreto presentan soros reproductivos en un porcentaje superior al 60%. Esto sugiere que, si bien se registran plantas con diámetros iguales o mayores a 20 cm de diámetro basal de disco de adhesión, estas no presentan

estructuras reproductivas, indicando intensos procesos de coalecencia de juveniles. Estos procesos de fusión de las estructuras basales, aun cuando generan plantas adultas (en relación al indicador sugerido por Vásquez (2008), el individuo fusionado sigue siendo un juvenil sin estructuras reproductivas (Fig. 6).

El análisis de un dendrograma de tamaños de discos de adhesión de *Lessonia berteroa*, muestra las poblaciones de Urco (7b G) y Cobija (7b H) preponderantemente conformadas por plantas juveniles menores a 20 cm de diametro basal. Las localidades de Lagarto en Península de Mejillones (Fig. 7b I), Finao Loreto (Fig. 7b J) y Cifuncho AMERB (Fig. 7b L), muestran una distribución normal de los tamaños de discos de adhesión, con plantas adultas reproductivas. No obstante lo anterior, con excepción de Finao Loreto, todas las otras localidades muestreadas en la región de Antofagasta evidencian fuertes procesos de reclutamiento (Fig. 7b).

Si bien las poblaciones de *Lessonia berteroa* en la Región de Antofagasta están principalmente formadas por plantas juveniles, la cobertura sobre sustrato rocoso varía entre 60 y 95 %, con excepción de la localidad de Urco, donde la cobertura no supera el 40 % (Fig. 8), denotando altas presiones de extracción.

La abundancia promedio de plantas de *Lessonia berteroa* en la Región de Antofagasta es de 12 plantas por m², tanto en ALAs y la localidad Cifuncho con área de manejo (Fig. 9). Como ya se ha mencionado, la proporción de plantas adultas es comparativamente baja, con pocas plantas sobre 20 cm de diámetro de disco de adhesión en la localidad de Urco y Cobija (Fig. 10). Las otras localidades evaluadas en la Región de Antofagasta presentan densidades promedios de plantas adultas que fluctúan entre 1,4 y 3 indiv m² (Fig. 10). En este contexto las localidades de Finao Loreto y Cifuncho AMERB, muestran las mayores densidades de plantas adultas por m² (Fig. 10). En la Segunda Región de Antofagasta, comparativamente la densidad promedio de plantas adultas de *Lessonia berteroa* en áreas de libre acceso (ALA) es menor a la abundancia en AMERB (Fig. 11).

En la Región de Antofagasta, la mayor biomasa disponible se observó en Finao Loreto con $70,10 \pm 15,08 \text{ kg m}^2$, en contraste a biomásas menores en Caleta Urco y Cobija con $6,22 \pm 1,01 \text{ kg m}^2$ y $9,22 \pm 1,11 \text{ kg m}^2$ respectivamente (Fig. 12, Tabla 5).

Las localidades de Cifuncho AMERB y ALA, y Lagarto en la Península de Mejillones, muestran biomásas intermedias entre las localidades mencionadas anteriormente, fluctuando alrededor de 27 kg m^2 (Fig. 12, Tabla 5). Los valores de biomasa disponible junto a los altos porcentajes de plantas juveniles y carencia de plantas adultas, sugiere intensa y frecuente cosecha por barroteo, al igual o mayor aun a lo detectado durante primavera-verano 2017. En total, la Región de Antofagasta presenta un promedio de biomasa total disponible de $27,28 + ,63 \text{ kg m}^2$ en áreas de libre acceso y cerca de 31 kg m^2 en la AMERB de Cifuncho (Fig. 13, Tabla 5 y 6). De la biomasa promedio disponible (*standing stock*), la biomasa cosechable es variable entre las localidades evaluadas: Finao Loreto $70,10 + 15,08 \text{ kg m}^2$, Cifuncho AMERB 31 kg m^2 , Lagarto $26,29 + 3,82 \text{ kg m}^2$ y Cifuncho ALA 27 kg m^2 . En contraste a lo anterior, las localidades de Urco y Cobija, si bien dispone de biomasa, esta no supera los 10 kg m^2 (Fig. 14, Tabla 6). Así la biomasa promedio cosechable en la Región de Antofagasta fluctúa entre 28 kg m^2 (ALA) y 70 kg m^2 (Fig. 15), y un promedio de biomasa disponible a nivel regional de $27,28 + ,63 \text{ kg m}^2$ (Fig. 15, Tabla 6).

Es importante considerar que las mayores biomásas observadas al sur de la Región de Antofagasta, enmascaran la baja disponibilidad de biomasa cosechable producto de altas presiones de extracción en el norte de la Región. Comparativamente la biomasa cosechable para una situación de otoño-invierno 2018, corresponde a la mitad de lo disponible para un escenario anterior de primavera-verano 2017.

Los indicadores poblacionales de *Lessonia berteroana* en la Región de Antofagasta sugieren una situación de permanente y fuerte cosecha: alto número de juveniles, bajas biomasa, continuos reclutamientos. No obstante lo anterior, a diferencia de lo observado en las regiones de Arica e Iquique, las poblaciones del sur de la Región de Antofagasta presentan ejemplares del simbionte *Scurria scurra* (Fig. 16).

LESSONIA TRABECULATA

Lessonia trabeculata fue evaluada entre los meses de septiembre-noviembre 2017 en situación de primavera-verano, y en otoño-invierno 2018 entre los meses de marzo a junio. Para cada una de las regiones en estudio: Arica y Parinacotas, Tarapacá y Antofagasta, las localidades de muestreo, su ubicación geográfica, diseño de muestreo y fecha de muestreo se incluyen en las Tablas 1, 2 y 3.

Región de Arica y Parinacotas (Región XV)

Evaluación primavera-verano 2017

En la Región de Arica y Parinacotas, se muestrearon comunidades submareales en la localidad de Camarones, en el límite sur de la Región. En esta localidad, *Lessonia trabeculata* se distribuye entre 4 y 10 m de profundidad, con densidades máximas entre los 6 y 8 m de profundidad, de hasta 2,5 indiv m² (Fig. 17), una abundancia promedio de 0,94 + 0,46 plantas m² (Fig. 18, 19 Tabla 7 y 8), y una biomasa disponible promedio de 11,57 + 2,14 kg m² (Fig. 20, Tabla 7 y 8).

La distribución de tamaños de *Lessonia trabeculata* en Camarones, en relación a su distribución batimétrica, evidencia poblaciones conformadas por individuos adultos, mayores a 25 cm de diámetro basal (Fig. 21). Estos individuos adultos arrojan biomásas promedios de aproximadamente 11 kg m² (Fig. 22, 23), con una distribución uniforme que sugiere baja o nula intervención humana. La distribución de tamaños para toda la población muestreada en Camarones, muestra una distribución normal, con una concentración de tamaños por sobre los 20 cm de diámetro basal del disco de adhesión (Fig. 24a). Esto se refleja en la distribución porcentual de tamaños, mostrando que más del 70% de los individuos en la localidad de Camarones, son organismos adultos (Fig. 25).

Evaluación otoño-invierno-2018

Los muestreos de *Lessonia trabeculata* en el límite sur de la Región muestran poblaciones submareales que se distribuye entre 4 y 10 m de profundidad, con densidades máximas entre los 6 y 8 m de profundidad (Fig. 17), una abundancia promedio de $1,53 + 0,4$ plantas m^2 (Fig. 18, 19 Tabla 7 y 8), y una biomasa disponible promedio de $4,92 + 1,36$ kg m^2 (Fig. 20, Tabla 7 y 8).

La distribución de tamaños de *Lessonia trabeculata* en Camarones, en relación a su distribución batimétrica, evidencia poblaciones conformadas por individuos adultos, alrededor de 20 cm de diámetro basal (Fig. 21). Estos individuos adultos arrojan biomásas promedios de aproximadamente 5 kg m^2 (Fig. 22, 23), con una distribución uniforme que sugiere baja o nula intervención humana. La distribución de tamaños para toda la población muestreada en Camarones, muestra una distribución normal, con una concentración de tamaños cercanos a los 20 cm de diámetro basal del disco de adhesión (Fig. 24b). Esto se refleja en la distribución porcentual de tamaños, mostrando que la población submareal en Camarones, son organismos adultos (Fig. 25).

Comparativamente con el escenario de primavera-verano 2017, la biomasa disponible y cosechable es significativamente menor, lo que se explica por cosechas de poblaciones submareales de *Lessonia trabeculata* en la localidad de Camarones.

Región de Tarapaca (I Región)

Evaluación de primavera-verano 2017

En la Región de Tarapacá, *Lessonia trabeculata* fue evaluada en las localidades de Pisagua, Los Verdes y San Marcos. La distribución batimétrica de la densidad promedio de *L. trabeculata* es entre 4 y 20 m de profundidad, donde las mayores abundancias ocurren entre 8 y 14 m de profundidad (Fig. 17).

La abundancia promedio en las tres localidades de muestreo: Pisagua $1,37 \pm 0,16$ indiv m^2 , Los Verdes $1,77 \pm 0,09$ indiv m^2 y San Marcos $1,59 \pm 0,03$ indiv m^2 (Fig. 18, Tabla 7). La abundancia promedio a nivel regional es de $1,58 \pm 0,11$ plantas m^2 (Fig. 19, Tabla 8).

La distribución batimétrica de la biomasa promedio sigue un patrón similar al de la densidad. En promedio, la biomasa fluctúa entre 4 y 10 kg m^2 , a lo largo de los transectos perpendiculares de muestreo (Fig. 20). De igual manera, la distribución del tamaño de plantas, en función del diámetro basal del disco, sigue patrones similares de la biomasa y densidad, con tamaños que fluctúan entre 5 y 28 cm a lo largo de transectos perpendiculares a la línea de costa (Fig. 21).

La biomasa promedio disponible de *L. trabeculata* fluctúa entre 8 y 14 kg m^2 en las localidades evaluadas (Fig. 22), con un promedio regional de $10,39 \pm 1,5$ k m^2 (Fig. 23, Tabla 8).

El dendrograma de distribución de tamaños, basado en el diámetro basal del disco de adhesión, muestra poblaciones de distribución normal en las tres localidades evaluadas (Pisagua, los Verdes y San Marcos, Fig 24b), con poblaciones integradas por plantas adultas en un 43 - 58 % (Fig. 25).

Considerando las evaluaciones de la biomasa promedio, la distribución y extensión de sustrato rocoso para asentamiento y crecimiento de *Lessonia trabeculata*, y la densidad de plantas, la biomasa total disponible corresponde a 387.819 ton (Fig. 26, Tabla 8). Si se consideran los porcentajes de plantas adultas sobre 20 cm de diámetro basal del disco de adhesión, la biomasa total cosechable es 204.109 ton (Fig. 26, Tabla 8).

Evaluación de otoño-invierno 2018

Durante otoño-invierno, en la Región de Tarapacá, *Lessonia trabeculata* fue evaluada en las localidades de Pisagua, Los Verdes y San Marcos. La distribución batimétrica de la

densidad promedio de *L. trabeculata* es entre 4 y 20 m de profundidad, donde las mayores abundancias ocurren entre 6 y 8 m de profundidad (Fig. 17).

La abundancia promedio es similar en las tres localidades de muestreo: Pisagua $3,05 \pm 0,16$ indiv m^2 , Los Verdes $1,44 \pm 0,64$ indiv m^2 y San Marcos $3,0 \pm 0,36$ indiv m^2 (Fig. 18, Tabla 7). La abundancia promedio a nivel regional es de $2,50 \pm 0,39$ plantas m^2 , y la biomasa disponible promedio es de $6,57 \pm 1,14$ kg m^2 (Fig. 19, Tabla 8).

La distribución batimétrica de la biomasa promedio sigue un patrón similar al de la densidad. En promedio, la biomasa fluctúa entre 4 y 10 kg m^2 , a lo largo de los transectos perpendiculares de muestreo (Fig. 20). De igual manera, la distribución del tamaño de plantas, en función del diámetro basal del disco, sigue patrones similares de la biomasa y densidad, con tamaños que fluctúan entre 8 y 21 cm, a lo largo de transectos perpendiculares a la línea de costa (Fig. 21).

Comparativamente entre localidades de muestreo en la Región de Tarapacá, la biomasa promedio disponible es de $6,57 \text{ kg} \pm 1,14 m^2$ (Fig. 22, 23, Tabla 8).

El dendrograma de distribución de tamaños, basado en el diámetro basal del disco de adhesión, muestra poblaciones de distribución normal en las tres localidades evaluadas (Pisagua, los Verdes y San Marcos, Fig 24b), con un alto porcentaje de plantas juveniles (Fig. 25).

Región de Antofagasta (II Región)

En la Región de Antofagasta, *Lessonia trabeculata* fue evaluada en ambientes submareales en las localidades de Urco, Cobija, Lagarto, Papos y Cifuncho.

Evaluación de primavera-verano 2017

La distribución batimétrica de la densidad promedio de *L. trabeculata* es entre 3 y 20 m de profundidad, donde las mayores abundancias ocurren entre 6 y 14 m de profundidad (Fig. 17).

La abundancia promedio es relativamente similar en las cuatro localidades de muestreo, con mayores densidades en las localidades de Lagarto y Paposo: Cobija $1,72 \pm 1,14$ indiv m^2 , Lagarto $2,83 \pm 1,65$ indiv m^2 , Paposo $2,41 \pm 0,33$ indiv m^2 y Cifuncho $1,66 \pm 0,04$ indiv m^2 (Fig. 18, Tabla 7). La abundancia promedio nivel regional es de $1,64 \pm 0,05$ plantas m^2 (Fig. 19, Tabla 8).

La distribución batimétrica de la biomasa promedio sigue un patrón similar al de la densidad. En promedio, la biomasa fluctúa entre 30 y 100 kg $10 m^2$, a lo largo de los transectos perpendiculares de muestreo (Fig. 20). De igual manera, la distribución del tamaño de plantas, en función del diámetro basal del disco, sigue patrones similares de la biomasa y densidad, con tamaños que fluctúan entre 5 y 28 cm de largo máximo de planta (Fig. 21).

Comparativamente entre localidades de muestreo en la Región de Antofagasta, el promedio de la biomasa promedio fluctúa entre 9 y 17 kg m^2 (Fig. 22), con un promedio a nivel de la Región de Antofagasta de $10,39 \pm ,5$ kg m^2 (Fig. 22, 23, Tabla 8).

El dendrograma de distribución de tamaños, basado en el diámetro basal del disco de adhesión, muestra poblaciones de distribución normal en las cuatro localidades evaluadas (Cobija, Lagarto, Paposo y Cifuncho, Fig 24), con poblaciones integradas por plantas adultas en un 42 - 82 % (Fig. 25).

Evaluación de otoño-invierno 2018

La abundancia promedio es relativamente similar en las cuatro localidades de muestreo, con mayores densidades en las localidades de Lagarto y Cifuncho: Cobija $1,08 \pm 0,94$ indiv m^2 , Lagarto $1,66 \pm 0,46$ indiv m^2 , Paposo $0,97 \pm 0,02$ indiv m^2 y Cifuncho $1,22 \pm 0,47$ indiv m^2 (Fig. 18, Tabla 7). La abundancia promedio nivel regional es de $1,23 \pm 0,24$ plantas m^2 (Fig. 19, Tabla 8).

La distribución batimétrica de la biomasa promedio sigue un patrón similar al de la densidad. En promedio, la biomasa fluctúa entre 3 y 10 kg m², a lo largo de los transectos perpendiculares de muestreo (Fig. 20). De igual manera, la distribución del tamaño de plantas, en función del diámetro basal del disco, sigue patrones similares de la biomasa y densidad, con tamaños que fluctúan entre 18 y 28 cm de largo máximo de planta (Fig. 21).

Comparativamente entre localidades de muestreo en la Región de Antofagasta, el promedio de la biomasa promedio fluctúa entre 5 y 8 kg m² (Fig. 22), con un promedio a nivel de la Región de Antofagasta de $13,41 \pm 2,34$ kg m² (Fig. 22, 23, Tabla 8).

El dendrograma de distribución de tamaños, basado en el diámetro basal del disco de adhesión, muestra poblaciones de distribución normal en las cuatro localidades evaluadas (Cobija, Lagarto, Paposo y Cifuncho, Fig 24), con poblaciones integradas por plantas adultas en un 42 - 82 % (Fig. 25).

MACROCYSTIS PYRIFERA

Macrocystis pyrifera, a diferencia de *Lessonia berteriana* y *Lessonia trabeculata*, tiene una distribución fragmentada a lo largo de la costa norte de Chile. Durante la ejecución del Proyecto FIP 2017-52, se registraron poblaciones de *Macrocystis* en las regiones de Tarapacá y Antofagasta, en algunos pocos sectores de libre acceso. Debido a las constantes marejadas de los meses primavera-verano 2017, las evaluaciones de la densidad y biomasa de *Macrocystis* fueron realizadas durante otoño-invierno 2018.

En la Región de Tarapacá se evaluó la localidad de San Marcos y en Antofagasta la localidad de Urco. En ambas localidades las praderas son pequeñas con áreas de 13.600 y 700 m² respectivamente (Fig. 26). La densidad promedio es similar en ambas localidades con 3 plantas m² en ambas regiones (Fig. 27), una biomasa disponible promedio de 8,5 kg m² y 14,8 kg m² en San Marcos y Urco respectivamente (Fig. 28), y biomasa cosechable de 6 kg m² y 12,5 kg m² (Fig. 28).

Las poblaciones están conformadas por plantas adultas, con diámetros basales de discos e adhesión por sobre 20 cm (Fig. 29), longitudes máximas entre 5 y 6 m (Fig. 30) en ambas localidades evaluadas durante otoño-invierno 2018.

4.1.1. Estimación de la biomasa total disponible y cosechable en las Regiones XV de Arica y Parinacotas, I de Tarapacá y II de Antofagasta.

En cada lugar de muestreo, en todas las Regiones de estudio, se estimó el ancho promedio de la distribución intermareal de *Lessonia berteroana* y *Lessonia trabeculata*.

Los valores de abundancia promedio (densidad y biomasa) para *Lessonia berteroana*, para cada Región y localidad de muestreo están contenidas en las Tablas 5, 6 y 9. Los valores promedios de abundancia (Densidad y biomasa) para *Lessonia trabeculata* están contenidos en las Tablas 7, 8 y 10.

Los valores promedios de ancho del cinturón rocoso y plataforma rocosa submareal, área rocosa disponible para asentamiento de algas pardas, biomasa promedio disponible, proporción de biomasa cosechable para *Lessonia berteroana* y *Lessonia trabeculata* se muestran en las Tablas 9 y 10 y en las Fig. 31 y 32 respectivamente.

Considerando ambos muestreos, en estaciones contrastables, se han utilizado las siguientes evaluaciones y estimaciones para calcular la biomasa total disponible y biomasa total cosechable por cada región de estudio:

- (1) Biomasa promedio disponible de *Lessonia berteroana* y *Lessonia trabeculata*
- (2) Densidad promedio y tamaño de plantas de *L. berteroana* y *L. trabeculata*.
- (3) Disponibilidad de sustrato apto para el asentamiento y crecimiento de poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana*. Ancho de cinturón rocoso intermareal para *L. berteroana*. Ancho de plataforma rocosa submareal para el asentamiento y crecimiento de *L. trabeculata*, hasta 20 m de profundidad.

Para *Lessonia berteroana* se estimó el ancho del cinturón rocoso intermareal en cada una de las localidades de muestreo, de acuerdo con el diseño y número de

observaciones contenidas en la Tabla 2, estableciendo un tamaño de muestra de 10 observaciones para Arica, 54 observaciones para Tarapacá y 81 observaciones de ancho de cinturón rocoso para la Región de Antofagasta (Tabla 2, Fig. 31). De igual modo, para *Lessonia trabeculata* se evaluaron anchos de plataforma rocosa 8 veces en Arica, 24 en Tarapacá y 32 estimaciones en la Región de Antofagasta (Tabla 3, Fig. 32).

Con la información antes mencionada se calculó el ancho promedio de cinturón rocoso expuesto para *Lessonia berteroana* para cada localidad de muestreo y el promedio para cada Región (Tabla 9). En el contexto descrito, de acuerdo con los considerandos mencionados:

- (1) Para la Región de Arica y Parinacotas con un ancho promedio de cinturón rocoso intermareal de 3,08 m, una disponibilidad de 19,2 km de costa rocosa (Tabla 9), una biomasa disponible promedio de 31,89 kg m² (Tabla 6), la biomasa total disponible corresponde durante el muestreo de primavera-verano 2017 es de 1.891 Ton húmedas. Si solo el 13,33 % de la población de *Lessonia berteroana* en esta Región está constituida por plantas adultas, la biomasa total cosechable es de 252 Ton húmedas (Tabla 9). En un escenario de otoño-invierno 2018, utilizando los mismos considerandos, la biomasa disponible corresponde a 1.432 Ton, y la biomasa cosechable a 74 Ton (Tabla 9). Las diferencias en biomasa cosechable entre ambos muestreos son atribuibles a las frecuentes e intensas cosechas ilegales mediante barroteo.
- (2) Para la Región de Tarapacá con un ancho promedio de cinturón rocoso intermareal de 2,37 m, una disponibilidad de 355,3 km de costa rocosa, una biomasa disponible promedio de 23,12 kg m² (Tabla 6), la biomasa total disponible corresponde a 19.436 Ton húmedas. Si solo el 11,14 % de la población de *Lessonia berteroana* en esta Región está constituida por plantas adultas, la biomasa total cosechable es de 2.165 Ton húmedas (Evaluación primavera-verano 2017, Tabla 9). La evaluación de otoño-invierno entrega los siguientes valores para la evaluación de la biomasa total disponible y biomasa

total regional cosechable, en función de las estimaciones de abundancia y distribución: biomasa disponible 14.874 toneladas húmedas y biomasa cosechable 1.231 ton (Tabla 9). Al igual que en la Región de Arica y Parinacotas, en la Región de Tarapacá se registró una intensa actividad de cosecha ilegal y recolección de algas varadas.

- (3) Para la Región de Antofagasta con un ancho promedio de cinturón rocoso intermareal de 3,09 m, una disponibilidad de 401,7 km de costa rocosa, una biomasa disponible promedio de 21,4 kg m² (Tabla 6), la biomasa total disponible corresponde a 31.634 Ton húmedas. Si solo el 27,05 % de la población de *Lessonia berteroana* en esta Región está constituida por plantas adultas, la biomasa total cosechable es de 8.557 Ton húmedas (Evaluación primavera-verano 2017, Tabla 9). La evaluación de otoño-invierno entrega los siguientes valores para la evaluación de la biomasa total disponible y biomasa total regional cosechable, en función de las estimaciones de abundancia y distribución: biomasa disponible 23.256 toneladas húmedas y biomasa cosechable 4.135 ton (Tabla 9). Al igual que en las regiones de Arica y Parinacotas y Tarapacá, en Antofagasta se registra una intensa actividad de cosecha ilegal y recolección de algas varadas, lo que se refleja en la abundancia de plantas cosechables.

Siguiendo la misma secuencia de cálculo para *Lessonia trabeculata*, utilizando la información contenida en la Tabla 10:

- (1) Para la Región de Arica y Parinacotas con un ancho promedio de plataforma rocosa submareal de 173,75 m, una disponibilidad de 19,2 km de costa rocosa, una biomasa disponible promedio de 11,57 kg m² (Tabla 8) la biomasa total disponible corresponde a 38.667 Ton húmedas. Si el 72,45 % de la población de *Lessonia trabeculata* en esta Región está constituida por plantas adultas, la biomasa total cosechable es de 28,014 Ton húmedas. En un escenario otoño-

invierno 2018, la biomasa disponible 8.758 Ton y biomasa disponible 3.347 Ton húmedas.

(2) Para la Región de Tarapacá con un ancho promedio de plataforma rocosa submareal de 105 m, una disponibilidad de 355,3 km de costa rocosa, una biomasa disponible promedio de 57,17 kg m² (Tabla 8), la biomasa total disponible corresponde a 387.819 Ton húmedas. Si el 52,63 % de la población de *Lessonia trabeculata* en esta Región está constituida por plantas adultas, la biomasa total cosechable es de 204.109 Ton húmedas. En la estación contrastante de otoño-invierno 2018 la biomasa total disponible corresponde a 318.905 Ton, con una biomasa cosechable correspondiente a 70.893 Ton húmedas.

(3) Para la Región de Antofagasta con un ancho promedio de plataforma rocosa submareal de 136,67 m, una disponibilidad de 401,7 km de costa rocosa, una biomasa disponible promedio de 10,41 kg m², la biomasa total disponible corresponde a 736.239 Ton húmedas. Si el 52,63 % de la población de *Lessonia trabeculata* en esta Región está constituida por plantas adultas, la biomasa total cosechable es de 490.335 Ton húmedas. En la evaluación de otoño-invierno 2018, la biomasa total disponible fue estimada en 402.104 Ton húmedas, corespondiendo una biomasa total cosechable de 196.106 Ton húmedas. Las diferencias entre 2017 y 2018 no necesariamente reflejan actividades de extracción. Aun cuando se utilizaron GPS para localizar los lugares de muestreo, es posible ciertos desplazamientos de las estaciones de muestreo producto del estado del mar.

4.2. Objetivo específico 2: Evaluar la tasa de mortalidad natural en los varaderos naturales y determinar la tasa de varamiento (biomasa varada/unidad de tiempo) del recurso huiro negro, huiro palo y huiro flotador.

Durante los muestreos efectuados entre septiembre 2017 y junio 2018, se ha constatado que como resultado de los planes de manejo vigentes, que prohíben la

cosecha (regiones XV, I y II) y restringen los volúmenes de recolección (Regiones I y II), los varaderos históricos han desaparecido en todo el área de estudio. Lo anterior es regulados por factores exógenos al recurso como: (1) aumento de la presión de extracción y recolección, (2) aumento constante de precio de alga en playa, (3) alta demanda por algas pardas en mercados internacionales (*Lessonia* y *Macrocystis*) y (4) aumento de recolectores ilegales tanto locales como migrantes que ven en la recolección de algas una alternativa de sustento. El Servicio Nacional de Pesca no tiene la capacidad para fiscalizar extensas zonas del litoral, por lo que el número de recolectores y cosechadores con barreta, sin RPA y sin autorización para el recurso ha aumentado exponencialmente.

La normativa vigente, prohíbe la extracción y recolección en la Región de Arica y Parinacotas. Para la Región de Tarapacá, el plan de manejo establece prohibición de cosecha (barroteo de poblaciones intermareales y submareales), permitiendo la recolección de algas varadas (mortalidad natural) hasta dos toneladas mensuales por recolector con RPA autorizado para el recurso algas pardas. En la Región de Antofagasta la cosecha por barroteo de poblaciones naturales está prohibida, permitiendo la recolección de algas varadas o mortalidad natural hasta 5 toneladas por recolector autorizado con RPA y autorizado para el recurso algas pardas.

Como consecuencia de lo anterior, la frecuente y permanente recolección de la mortalidad natural, mediado por la alta demanda por materia prima para la extracción de alginatos, impide la acumulación de algas pardas (*Lessonia* y *Macrocystis*) varadas en localidades históricas, imposibilitando la estimación de la mortalidad natural en todo el área de estudio.

En la actualidad, en todos los varaderos históricos, existen refugios (“rucos”) improvisados donde viven los recolectores, quienes recogen permanentemente las varazones y las tienden en canchas de secado. Grupos de recolectores de orilla y migrantes se han tomado sectores de la costa en las regiones de estudio, principalmente asociados a varederos históricos, impidiendo el acceso y la evaluación de la mortalidad

natural de praderas aledañas. Durante las prospecciones realizadas entre septiembre y noviembre 2017 y enero 2018, no se han encontrado varaderos naturales y acopio de algas en playa, solo algunas canchas de secado fuera de la línea de marea en los sectores en donde históricamente varan las algas.

Además de la falta de fiscalización, el aumento de los precios en playa por la alta demanda internacional, el aumento de migrantes y el desempleo local, contribuyen a la disminución de las poblaciones intermareales y submareales someras en todo el área de estudio. Los recolectores, legales e ilegales utilizan arañas de fierro que posicionan en la pradera de *Macrocystis*, y las arrastran con cuerdas con vehículos desde tierra. Como consecuencia de lo anterior se ha disminuido y fragmentado significativamente las pocas poblaciones que aun permanecen en la costa de la Región de Tarapacá y Antofagasta. En el sector rocoso accesible de la costa de Arica y Parinacotas no se registran poblaciones de huiro flotador *Macrocystis pyrifera*.

Durante los muestreos solo se pudo evaluar tendaderos de huiros en algunas localidades, los que en su mayoría son monoespecíficos puesto que los recolectores los separan por especie (Fig. 33). En las localidades de La Curva en Tarapacá, Finao Loreto y Lagarto en Antofagasta, se identificaron tendaderos de plantas varadas (por morfología de discos). Solo en Lagarto la composición de la mortalidad natural está formado por *Lessonia berteroana* y *L. trabeculata* (Fig. 33).

Los valores de biomasa en tendaderos y varaderos flutúan entre 5 y 15 kg m², y en algunos localidades como en Finao Loreto los acopios pueden llegar a 5.000 kg (Fig. 33).

3.2.1. Evaluación de reclutamiento, crecimiento y mortalidad natural.

En cada región de estudio, en una de las localidades escogidas para muestreo de la dinámica de las poblaciones, se marcaron plantas y se delimitaron áreas de sustrato denudado para evaluar las variaciones estacionales de crecimiento, mortalidad natural y reclutamiento para la especie *Lessonia berteroana* (Tabla 4). Adicionalmente, se marcaron en las mismas áreas, dentro de las localidades escogidas, plantas juveniles

para evaluar el crecimiento diario en un ciclo anual. Dado que en *Lessonia* ocurren procesos de fusión de plantas en estadios juveniles, se evaluaron los procesos de coalescencia en plantas juveniles marcadas contiguas. Con fines comparativos, en la Región de Iquique se marcaron plantas adultas y juveniles en la localidad de Pisagua en un área AMERB.

En total para las tres regiones de estudios, se marcaron 320 plantas de *Lessonia berteriana*: 57 plantas en Arica y Parinacotas, 166 en Iquique y 97 plantas en Antofagasta (Tabla 4).

Para evaluar reclutamiento se denudaron áreas entre 1 y 1,5 m², distribuidas al azar (exclusión experimental) de la especie en evaluación, en el centro de las poblaciones naturales, en las mismas localidades en donde se marcaron plantas para crecimiento y reclutamiento (Tabla 4). El reclutamiento se expresa como tasa de reclutamiento (N° de juveniles asentados en los cuadrantes experimentales) por periodo de tiempo.

En el caso de *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis pyrifera*, para estimar la tasa de reclutamiento (N° de juveniles asentados en los cuadrantes experimentales) se instalaron en tres áreas de libre acceso (ALA), una por cada Región de estudio, tres placas de concreto en cada sitio (50x50 cm) simulando sustrato disponible para asentamiento, dentro de las praderas prospectadas.

La evaluación de crecimiento, mortalidad natural (de plantas marcadas) y reclutamiento se efectuó durante el segundo muestreo durante la campaña de otoño-invierno 2018.

Para *Lessonia berteriana* el reclutamiento promedio fluctúa entre 0,06 y 0,11 N° ind/día/m², indicando un reclutamiento permanente y constante durante todo el periodo de estudio, en las tres regiones estudiadas (Fig. 34). Los valores de la tasa de reclutamiento en Camarones (Arica), La Curva (Tarapacá) y Lagarto y Finao Loreto (Antofagasta) son consistentes con los altos reclutamientos observados en todos los

lugares de muestreo, estructurando poblaciones locales con altas densidades de plantas juveniles.

El crecimiento de *Lessonia berteroa*, de plantas experimentales marcadas durante las evaluaciones de primavera-verano 2017, fue medida durante otoño-invierno 2018. La mayoría de las plantas marcadas (263, ver Tabla 4) no fueron recuperadas, debido a las constantes cosechas por barroteo. Del total de plantas marcadas el porcentaje de recuperación fue de 17,5% (47/263).

El crecimiento total promedio por localidad indica que en Camarones las plantas crecieron 2 ± 4 cm (Arica), en Pisagua ALA $12 \pm 1,8$ cm, Pisagua AMERB $6 \pm 1,5$ cm (Tarapacá) y Finao Loreto 8 ± 2 cm y Cifuncho $6,2 \pm 0,4$ cm (Antofagasta) (Fig. 35)

Originalmente, la mortalidad debía ser evaluada en función de la estimación de varaderos naturales. Debido a la desaparición de estos acopios históricos, la mortalidad se evaluó en función del no encuentro de plantas marcadas, con posición georreferenciada. Así, la mortalidad se expresa como porcentaje de pérdida sobre el total de plantas marcadas en cada localidad, en cada una de las regiones de estudio.

En Arica y Parinacotas (Camarones) la mortalidad fue de un 98%, en Tarapacá Pisagua AMERB evidencia una mortalidad de un 40%, a diferencia de Pisagua ALA y La Curva donde la mortalidad es más del doble. En este contexto, la menor mortalidad en AMERB refuerza el propósito de una herramienta de conservación. Lo mismo ocurre en la región de Antofagasta donde Cifuncho tienen una mortalidad cercana al 100%, en comparación a Finao Loreto, que dado una condición particular de protección, presenta una mortalidad promedio menor a 40% (fig. 36).

La cosecha permanente de *Macrocystis* en las regiones de estudio impidió la evaluación de los parámetros poblaciones comprometidos como reclutamiento y mortalidad. Las placas instaladas para el registro de reclutas (plantas juveniles) y la desaparición de varaderos históricos son las principales causas de no-cumplimiento de estos compromisos.

4.3. Objetivo específico 3: Recopilación y análisis de la información disponible que permita caracterizar y evaluar el estado de explotación actual de los recursos huiro negro, huiro palo y huiro flotador en la zona de estudio.

A nivel mundial, las praderas de algas pardas conforman hábitats biogénicos que proveen de bienes y servicios eco-sistémicos evaluados en miles de millones de dólares (Vásquez *et al.* 2014, Krumhans *et al.* 2016). En Chile, la pesquería de algas pardas constituye una importante fuente de generación de empleos, y de recursos económicos para el sector pesquero artesanal de la zona norte. En esta actividad participan más de 15.000 personas, generando un retorno promedio por sobre US \$ 124 millones (Vásquez *et al.* 2010, 2012; 2014, www.subpesca.cl). Se estima que los bienes y usos indirectos del recurso algas pardas, en el norte de Chile, tendría un valor total cercano a los US \$ 540 millones, de los cuales un 70% está directamente asociado a la pesquería del recurso, y el 15% restante a pesquerías asociadas (Zuñiga *et al.* 2009, Vásquez *et al.* 2014).

La actividad extractiva de huiros se concentra entre las regiones XV y V de la zona norte y centro del país (SERNAPESCA, 2016), asociada a las condiciones climáticas que permiten bajos costos de secado (Vásquez *et al.* 2012). El recurso está conformado por las especies: *Lessonia berteorana* y *Lessonia spicata*- huiro negro -, *Lessonia trabeculata* - huiro palo - y *Macrocystis piryfera*, - huiro flotador o canutillo - las cuales representan sobre 70% del desembarque total de algas explotadas a nivel nacional.

Durante los últimos 16 años, los niveles de explotación de algas pardas incrementaron de 86.000 t el año 2000, a un máximo de 342.000 t el 2013 (Fig. 37), con un descenso en los últimos años, registrándose 237.000 t el año 2016. Del total de algas pardas desembarcadas, el complejo *Lessonia* (*Lessonia berteorana* y *L. spicata*) ha representado históricamente sobre el 80% (Fig. 37).

El fuerte aumento en los desembarques, en especial en la última década, responde principalmente a i) la creciente demanda internacional de materia prima para la producción de alginatos, ii) al aumento de plantas procesadoras en la zona norte del país y de precios en playa, iii) reorientación del esfuerzo extractivo bentónico derivado de la sobreexplotación de los recursos bentónicos tradicionales, y últimamente, iv) la instalación de cultivos de Abalón (rojo - *Haliotis rufescens* y verde - *Haliotis discus hannai*; Vásquez *et al.* 2012).

4.3.1. Desarrollo de la pesquería.

La presencia de huirales está fuertemente condicionadas por la dinámica costera (corrientes e impacto del oleaje), que aumenta su mortalidad por desprendimiento en condiciones de marejadas, permitiendo la acumulación de algas en varaderos a lo largo de la costa (Vásquez 2016). Hasta mediados de la década del 2000, la actividad extractiva se caracterizaba por (i) una alta marginalidad e informalidad de los extractores, no organizados, y en su mayoría no inscritos en los registros de Sernapesca, (ii) falta de acceso a información, generando una alta dependencia de intermediarios, (iii) ausencia de barreras de entrada (bajos costos de operación y bajas habilidades específicas), (iv) fuerte dependencia económica asociada a la actividad, y (v) una actividad basada en la recolección-secado casi exclusivamente desde varaderos naturales (Vásquez & Westermeir 1993; González *et al.*, 2002; Vásquez 2008).

En la última década, el incremento de precio del recurso incentivó el ingreso de nuevos usuarios a la pesquería, aumentando el esfuerzo pesquero y la presión extractiva sobre las poblaciones de algas. El mayor número de extractores, responde además a una reorientación de pescadores no inscritos en los recursos algas pardas, especialmente mariscadores enfrentados a la sobreexplotación de sus recursos bentónicos tradicionales (locos, lapas y peces de roca), y por otra parte, a la entrada de extractores informales no asociados tradicionalmente a la pesca (i.e. mineros en periodos de disminución del precio del cobre y extranjeros indocumentados; González *et al.* 2002,

Vásquez *et al.* 2012). Adicionalmente, se introdujeron cambios en la forma de extracción tradicional, con la incorporación de artes extractivos directos: usos de barretas, arañas, embarcaciones y, en especial para la extracción de *Lessonia trabeculata*, la incorporación de equipos semi-autónomos o Hooka (Vásquez 2004a, b, 2008, Vásquez *et al.* 2010).

Hasta mediados del 2000, la actividad extractiva operó con un bajo control fiscalizador, generando problemas sociales y económicos para el sector. Entre estos, conflictos por el uso de varaderos entre extractores tradicionales y eventuales y una fuerte explotación directa de algas en sectores costeros de fácil acceso, con un potencial deterioro ecológico del ecosistema costero. En respuesta a este escenario, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura declaró el recurso algas pardas en estado de plena explotación, desde la I a la IV Región, por un periodo de 18 meses a partir del 20 de marzo del 2006 (Res. Ext. N°1167/23.09.2005, entendiéndose hasta diciembre del 2010 (Doc. Ext. N°1347/08.10.2008). El estado de plena explotación implicó una veda extractiva y la suspensión de inscripción en el Registro Pesquero Artesanal (RPA). A partir de 2006, la entidad normativa inició un programa de regulación de la pesquería a través de ejecución de Pesca de Investigación (PI), extendiéndose hasta el año 2012 (Vásquez 2004b, 2007, González *et al.* 2011). Estas PIs estuvieron orientadas al ordenamiento de la actividad (control de extractores), y a recopilar información bio-pesquera para elaborar planes de manejo en áreas de libre acceso a fin de resguardar la sostenibilidad del recurso.

La Subsecretaría de Pesca mediante la Ley 20.560 del 3 de enero del 2012, estableció la posibilidad de establecer planes de manejo para algas pardas en áreas de libre acceso, con un enfoque geográfico de administración a nivel local y/o regional (www.Subpesca.cl). Estos planes están asociados a la conformación de mesas de trabajo, con participación público-privada (pescadores, industria, autoridad normativa - fiscalizadores), y tienen la función de diseñar y proponer los planes de manejo,

apoyados por investigadores y asesores (www.subpesca.cl, Vásquez *et al.* 2012, González *et al.* 2011, González & Ortiz 2012).

La implementación de los planes de manejo establecen: i) la localización geográfica y las especies a explotar, ii) los antecedentes biológico-pesqueros de éstas, iii) las medidas de conservación y regímenes de acceso, v) los antecedentes de desembarque, producción y mercado de los productos y v) los requerimientos de investigación con fines de conservación y manejo. A partir de fines del 2012, las regiones XV, I, II, III y IV cuentan con sus respectivos planes de manejo de algas pardas, sustentados en las bases científico-técnicas. Entre las principales medidas establecidas por los planes de manejo se encuentran: i) Zonas Operativas de Extracción (ZOE), ii) registro de extractores autorizados, ii) prohibición de extracción directa y sesgado (artes extractivos), iii) vedas extractivas, iv) definición de cuotas extractivas totales y por usuarios, y v) implementación de sistemas automatizados de control extractivo (Vásquez 2008, www.subpesca.cl).

4.3.2. Antecedentes biológico – pesqueros y ecológicos

Dada la alta importancia ecológica y económica de los recursos algas pardas, desde 1989 a la fecha, se han desarrollado numerosos proyectos de investigación, incrementándose significativamente las publicaciones asociadas a las principales especies extraídas; *L. berteorana* y *L. spicata*, *L. trabeculata* y *M. pyrifera* (ver Vásquez *et al.* 2008). Estos estudios dan cuenta de aspectos bio-pesqueros, ecológicos y económicos, que incluyen, entre otros: i) distribución espacial y batimétrica de las praderas, ii) dinámica poblacional y reproductiva, iii) abundancia, iv) factores que determinan la productividad biológica, v) comunidades asociadas, vi) dinámica extractiva, vii) mercado, vii) efectos oceanográficos de gran escala (ENSO), viii) valorización total (i.e. Vásquez & Santelices 1990, Edding *et al.* 1990, 1993, Vásquez & Fonck 1993, Vásquez, 1990, 1992, 1995, 2008, 2016, Edding & Tala 1998, 2003,

Vásquez & Vega 2004. Vásquez *et al.* 2006, Tala *et al.* 2004, Tala & Edding 2005, 2007, Vega 2005, Vega *et al.* 2005, 2016).

Las algas pardas son ecológicamente relevantes, cumpliendo un rol estructurador como especies fundacionales (Dayton 1972) o ingenieras (Jones *et al.* 1994) de los ecosistemas costeros. Las poblaciones de *Lessonia* y *Macrocystis* son agentes biogénicos, que albergan una alta y estable biodiversidad. Los bosques de algas pardas constituyen hábitat, zonas de asentamiento larval, zonas de reclutamiento de juveniles y áreas de refugio para invertebrados y peces (Santelices, 1989; Vásquez and Santelices 1984; Edding *et al.* 1994; Vásquez 1992; Vásquez *et al.* 2001a; 2001b, 2005), conformando unidades de conservación biológica (Vásquez & Vega 2005). Los discos adhesivos de las algas pardas son hábitat casi exclusivo de algunas especies (Cancino y Santelices 1984, Vásquez y Santelices 1984). La fauna asociada a las poblaciones de *Lessonia* (entre e inter plantas), presenta una riqueza por sobre las 200 especies (Vásquez *et al.* 2001a; Vásquez & Vega 2004; 2005). Sobre las praderas interactúan diferencialmente factores bióticos, abióticos y antrópicos, que caracterizan a las comunidades locales (Santelices 1981, Santelices & Ojeda 1984b, Vásquez & Santelices 1984, Vega *et al.* 2005, Vásquez *et al.* 2006). A escalas temporales de largo plazo, se presenta alternancia en las comunidades dominantes, pasando desde un estado donde dominan los huirales algas pardas, a otro estado donde dominan fondos blanqueados donde los organismos estructuradores son los erizos negros (Vásquez & Buschmann 1997, Vega *et al.* 2005).

Las especies de los géneros *Lessonia* y *Macrocystis*, pertenecen a la Clase Phaeophyta (Lee, 1995), del orden Laminariales, Familia Lesssoniceae. Esta familia se caracteriza por presentar un ciclo de vida heteromórfico con alternancia de generaciones. La fase esporofítica corresponde a ejemplares de gran tamaño, que se fijan al sustrato mediante un disco basal, y la fase gametofítica, al estado microscópico productor de gametos. El género *Lessonia*, presenta "soros esporangiales" en sus frondas, de las cuales se liberan las esporas microscópicas. Mientras *Macrocystis* presenta sus estructuras

reproductivas (esporofilas) en la parte baja de las frondas (Santelices 1989, Hoffmann & Santelices 1997). Las esporas haploides nadan y se fijan al sustrato para iniciar la fase microscópica que dan origen a los gametofitos, y posteriormente a los esporofitos.

Lessonia berteorana junto a *Lessonia spicata* son especies crípticas que conforman el complejo asociado a *Lessonia nigrescens* (Tellier *et al.* 2011; González *et al.* 2012b). Esta especie forma densas poblaciones distribuidas en cinturones continuos en la zona intermareal (Santelices 1989, Hoffmann & Santelices 1997). En Chile central se presentan plantas reproductivas durante todo el año con fertilidad máxima en verano (Santelices & Ojeda 1984a, Vásquez 1992, Vásquez & Santelices 1984, Hoffman & Santelices 1997, Tala *et al.* 2004). El reclutamiento de juveniles presenta fuerte estacionalidad entre los meses de agosto y noviembre (Santelices 1982, 1989, Santelices & Ojeda 1984a). Sin embargo, la disponibilidad de esporas a lo largo del año (Venegas *et al.* 1992) favorece un asentamiento continuo de propágulos dependiendo de las condiciones de disponibilidad de sustrato primario (Santelices 1982).

Las especies de *Lessonia* presentan un crecimiento activo a partir de la base de las frondas (Santelices 1989). *L. berteorana* y *L. spicata* presentan un crecimiento continuo a través del año, de más de 3 m, con máximos durante primavera y verano (Santelices, 1982, Vásquez 2008). Esta especie puede alcanzar hasta los 6 metros de longitud y su disco adhesivo sobre los 50 cm de diámetro, con una sobrevivencia entre los 3 y 5 años de edad (Hoffman & Santelices 1997, González *et al.* 2002). La maduración se alcanza en plantas con un metro y medio de longitud (entre 12,7 y 15,6 cm de diámetro de disco basal (González *et al.* 2002), sin embargo, en prospecciones actuales se han observado plantas con estructuras reproductivas desde los 5 cm de diámetro del disco adhesivo (Vásquez 2017, observaciones personales)

Lessonia trabeculata forma huirales submareales (huirales sensu Vásquez 1992), extendiéndose hasta aproximadamente los 30 m de profundidad (Hoffmann & Santelices 1997). Esta especie alcanza hasta 3,5 m de longitud en estado adulto. Los

máximos reclutamientos se observan en otoño-invierno, con altas abundancias de juveniles en primavera (Vásquez *et al.* 2004, 2010).

Macrocystis es un género mono específico, de alta variabilidad morfológica asociada a diferentes hábitats de las costas de Chile, conociéndose como *M. pyrifer* (Demes *et al.* 2009, Macaya & Zucarello 2010). Esta especie presenta una distribución discontinua fragmentada, abarcando desde zonas intermareales someras hasta los 30 m de profundidad (Vega *et al.* 2005). *Macrocystis* tiene crecimiento apical, alcanza tamaños sobre los 8 m en la zona norte de Chile, renovando continuamente las frondas desprendidas desde el disco de fijación. La tasa de crecimiento de frondas presenta una estacionalidad marcada, con máximos en primavera-verano. El reclutamiento varía estacionalmente, con máximos en primavera y verano (Buschmann *et al.* 2004, 2006).

Lessonia (Complejo *nigrescens*) y *M. pyrifer*, muestran una alta plasticidad fenotípica de acuerdo a las condiciones locales (i.e. exposición al oleaje, movimiento de agua, herbivoría, competencia; Vásquez 1991; Vásquez 1992; Buschmann *et al.* 2004; Tala *et al.* 2004; Vega & Vásquez 2005; Vega *et al.* 2005). Las distintas morfologías se explicarían como una respuesta adaptativa a la persistencia de condiciones hidrográficas asociadas a las características topográficas locales y procesos oceanográficos a mesoescala (Camus 1994a, Vega *et al.* 2005). La distribución, abundancia y producción de estas especies está condicionada por: i) factores ambientales de cada localidad (i.e. tipo de sustrato dominante, topografía, exposición al oleaje, temperatura del agua de mar y salinidad) y ii) factores biológicos extrínsecos (i.e. abundancia de herbívoros y competencia intra e inter específica) y/o intrínsecos (i.e. reproducción y tasas de crecimiento; Santelices 1989, Vásquez 1993, Vega 2005). Procesos oceanográficos que actúan a distintas escalas espaciales (meso-escala: marejadas estacionales, surgencia costera, o a macro-escala: evento El Niño Oscilación del Sur, ENSO), explican variabilidad interanual en la dinámica de las praderas de

Lessonia y *Macrocystis* en el norte de Chile (Vásquez *et al.* 2006). Adicionalmente, el grado de explotación o el régimen administrativo sobre las praderas condiciona su estado poblacional (Vásquez *et al.* 2008).

La remoción de las plantas puede generar cambios en los patrones de ocupación espacial, al aumentar el número de herbívoros, e incluso generar áreas desérticas que tardan mucho tiempo en ser repobladas (Vásquez y Santelices 1990). Intervenciones experimentales sobre las praderas de algas pardas (extracción total de plantas), han evidenciado impactos diferenciales en función de la estación del año en que se efectúa la cosecha, afectando la capacidad de recuperación de la pradera y de la estructura de las comunidades asociadas (Santelices 1989, Vásquez *et al.* 2006). La capacidad de renovación de las praderas y la comunidad asociada, es fuertemente afectada por la presencia y aumento de herbívoros (post-extracción) y por la disponibilidad de propágulos (periodos de baja fertilidad) que terminan limitando el reclutamiento de nuevos esporofitos (Vásquez *et al.* 2006).

4.3.3. Efectos ambientales y antrópicos sobre la dinámica de praderas de algas pardas.

Las varazones de algas pardas ocurren durante todo el año a lo largo de la costa. El mayor movimiento de aguas en ambientes costeros ocurre durante otoño-invierno, aumentando la magnitud y frecuencia del arribo de algas. Las varazones disminuyen durante primavera-verano, debido al cambio estacional del clima oceanográfico. Estas varazones afectan diferencialmente a las poblaciones de *Lessonia* y *Macrocystis* (Vásquez 1992, 1995; Edding & Tala 1998, Vega 2005, Vásquez *et al.* 2010). En el caso de *L. berteorana* explicarían la mortalidad de aproximadamente un 25% de la biomasa total disponible (Vásquez 1999), mientras que para *L. trabeculata* representaría el 1% del stock local disponible. Este valor aumentaría entre 5 y 10%, cuando existen modificaciones topográficas de la costa que favorecen el acopio submarino de algas pardas frente al varadero. La mortalidad natural de *M. piryfera* en los varaderos

históricos representaría el 20% del stock disponible en los alrededores. Adicionalmente, una fracción equivalente de la mortalidad natural (ca. 30%) flotaría costa afuera, arribando probablemente en localidades ubicadas en otras latitudes (Vásquez *et al.* 2010). En general, la mortalidad de algas pardas y su arribo a varaderos de la costa depende: i) de la composición y abundancia de las poblaciones de algas pardas aledañas al varadero, ii) de las características topográficas del sector, iii) del clima oceanográfico en el momento en que se realiza la estimación de algas varadas (i.e. mar con marejada v/s mar llana), y iv) de la intensidad de pesca ejercida sobre las praderas de algas pardas, cuyo aumento afecta negativamente, tanto el volumen total de algas varadas como sus tamaños (juveniles y/o adultos > 20 cm de diámetro del disco adhesivo; Vásquez *et al.* 2010).

Información recopilada durante las prospecciones de este Proyecto (FIPA 2017-52), muestran que entre las regiones XV, I y II, la inexistencia de varaderos naturales, producto de la alta presión de extracción actual. La normativa permite la recolección de algas varadas de hasta dos toneladas mensuales por pescadores con RPA en la I Región, y hasta cinco toneladas en la Región de Antofagasta. La baja fiscalización de varaderos ha impedido la acumulación de biomasa de algas en las zonas de varaderos históricos (Vásquez 2017, observaciones personales).

En el norte de Chile, la dinámica de poblaciones de algas se ven afectadas por eventos oceanográficos de gran escala - aumento de la temperatura asociada a eventos ENSO - (Camus 1990). En las poblaciones naturales de hueros estos procesos (en su fase cálida) incrementan la mortalidad, y afectan negativamente la dinámica reproductiva y de crecimiento, y en consecuencia la productividad de los huirales (Vásquez & Santelices 1990, Vásquez 1995, 1999). Adicionalmente, esta condición propaga efectos negativos sobre la estructura y organización de las comunidades marinas intemareales y submareales (Vásquez 1995, 1999, Vásquez & Santelices 1990, Vega 2005), asociado a procesos descendentes en la trama trófica (cascadas top-down; Vásquez *et al.* 2006). Por el contrario, ENSO en su fase fría, y en presencia de surgencias costeras producen

procesos “bottom up” que impactan positivamente la abundancia y distribución de los huirales y sus comunidades asociadas (Vega *et al.* 2005, Vásquez *et al.* 2006).

La intensidad de los ENSO, generan efectos diferenciales sobre las poblaciones de algas pardas (Castillas & Camus 1992; Camus 1994b; Camus *et al.* 1994; Martínez *et al.* 2003). El ENSO 1982-83 generó altas mortalidades de huirales entre el sur del Perú y Caldera (Vega *et al.* 2005, Vásquez *et al.* 2006), evidenciándose que bajo eventos catastróficos estas praderas pueden tardar años en recuperarse (alrededor de 10 años; Vásquez *et al.* 2006, 2010, Thiel *et al.* 2007). La lenta recuperación responde a i) bajos niveles de biomasa remanente, ii) baja frecuencia de cuerpos reproductivos y iii) bajos niveles de dispersión de propágulos (Vásquez *et al.* 2010). En contraste, ENSO 1997-98 sólo generó mortalidades locales de huirales en la costa del norte de Chile. Vega y colaboradores (2005) sugieren que los intensos y frecuentes afloramientos de aguas frías, con altos contenidos de nutrientes, atenuarían el efecto de la anomalía térmica positiva. Sin embargo, producto de desoves masivos de pastoreadores (erizos) durante La Niña 2000 se produjeron altas mortalidades de *Macrocystis* y *Lessonia* producto de la presión de herbivoría (Vásquez *et al.* 2006).

La presión extractiva actúa como una perturbación a nivel local sobre algas pardas, que disminuye el potencial productivo (extracción de plantas adultas), el asentamiento de esporas y el crecimiento de nuevos esporofitos (González *et al.* 2002). Además, la disponibilidad de esporas y su posterior asentamiento y crecimiento son afectados por organismos ramoneadores o herbívoros (i.e lapas, chitones, erizos) que se desplazan en la zona intermareal, barriendo las rocas (Santelices 1989). Vásquez & Buschmann (1997), observaron que áreas totalmente despejadas de *L. berteorana*, fueron dominadas por herbívoros, manteniéndose sobre el sustrato primario una cubierta calcárea del alga roja incrustante del género *Lithothamnion*. La evaluación de los efectos de cosechas experimentales realizadas sobre las praderas de *L. trabeculata* indican que la biodiversidad de especies (diversidad, composición y estructura comunitaria), se ven afectadas de forma significativa en condiciones de alta remoción

(Vásquez *et al.* 2006), mostrando los estados comunitarios alternativos reportados por Vásquez (1992, 1993) para comunidades rocosas del norte de Chile. Edding & Tala (1998) y Vásquez (1995), señalan que el impacto ecológico dependerá tanto de la frecuencia, la intensidad y el porcentaje de remoción del alga, así como de las características reproductivas y de historia de vida de las especies objetivo, en conjunto con los atributos de las comunidades involucradas.

Krumhansl y colaboradores (2016), realizaron una evaluación a nivel mundial de los cambios en la abundancia de praderas de algas pardas (Laminariales) derivadas de múltiples estresores (naturales y antrópicos) durante los últimos 50 años, evidenciando cambios negativos en la abundancia a nivel de ecorregiones. Para Chile central, estos autores estiman una alta probabilidad de declinación en la abundancia de las praderas de algas, asociada a una disminución en su capacidad de recuperación y a la alta presión de herbivoría. Sin embargo, la zona norte del país (ecorregión Humboldtiana), la disminución proyectada estaría explicada por la alta presión de extracción de la pesca artesanal.

4.3.4. Bases biológicas para el manejo de algas pardas.

La explotación de algas pardas no sólo afecta sus poblaciones, sino que además genera alteraciones sobre los ecosistemas costeros. Entre los efectos ecológicos de la explotación de las praderas de algas, está la remoción de especies asociadas y la alteración del hábitat, generando cambios en los patrones de distribución, abundancia, y estructura de la comunidad (Vásquez 1995; Vásquez *et al.* 2010), afectando concomitantemente el funcionamiento ecosistémico (Ortiz 2003, 2008, 2010, Ortiz y Stotz 2007, Villegas *et al.* 2008).

Tradicionalmente, la pesquería de algas pardas se caracterizó por la recolección de alga varada (mortalidad natural), y un bajo nivel de extracción directa (“barroteo”; González *et al.* 2002, Vásquez 2008). En los últimos años, se ha incrementado el número de

algueros y se ha generalizado la extracción de algas mediante barreteo. Este nuevo escenario generó la necesidad de implementar regulaciones extractivas en función de parámetros bio-ecológicos y reproductivos (González *et al.* 2002, Vega *et al.* 2014). El aumento de la extracción directa tiende a generar una pesquería secuencial de efectos negativos, disminuyendo la biomasa natural, y por lo tanto la biomasa varada (González *et al.* 2002, Vásquez *et al.* 2010).

La productividad de las poblaciones naturales de algas pardas está relacionada principalmente con aspectos bio-ecológicos de las especies (Vásquez & Santelices 1990, Vásquez 1995, 1999). Sin embargo, sobre estas poblaciones confluyen factores exógenos como presiones de los mercados nacionales e internacionales por materia prima, desempleo de los asentamientos humanos costeros, abundancia y disponibilidad de otros recursos marinos bentónicos, nivel de las regulaciones de extracción de recursos marinos, nivel de educación de pescadores artesanales, y compromiso con medidas de conservación y disponibilidad e implementación de planes de manejo. Todos estos factores interactúan en la definición e implementación de medidas de administración y regulación pesquera de las poblaciones naturales de *Lessonia* y *Macrocystis* en el norte de Chile (Vásquez & Westermeier 1993, Vásquez 1999, 2008, Vásquez *et al.* 2010, 2014).

El incremento de los desembarques de algas pardas, el ingreso de nuevos usuarios (formales e informales) y la implementación de estrategias de explotación directa (González *et al.*, 2002, Vásquez *et al.* 2008, 2010), se ha asociado a problemas de manejo y explotación de esta pesquería en el norte de Chile (www.subpesca.cl). Entre otras razones, existe una alta incertidumbre asociada al conocimiento de la dinámica poblacional, en especial en relación sus abundancias, productividad, niveles de explotación sustentable, y consecuencias de las actividades extractivas directas.

Hasta fines del 2000, los estudios en algas pardas de importancia económica, se orientaron a establecer la distribución y su abundancia en sectores acotados de la costa

(Alveal *et al.* 1973, Santelices & Lopehandía 1981, Santelices *et al.* 1980, Santelices 1982, 1989, Werlinger & Alveal 1988, Vásquez 1991, 1993). En las últimas dos décadas se han ejecutado numerosos proyectos de investigación para apoyar la toma de decisiones para el manejo (ver www.fip.cl, Vásquez 2008, 2009, 2016). Estos, se han realizado bajo estándares metodológicos similares, lo que permiten su comparación a escala temporal y espacial (Vásquez & González 1995; González *et al.* 2002; Vega *et al.* 2005, Vásquez *et al.* 2006, 2010, 2012, Vásquez 2016).

En general, los estudios realizados sobre algas pardas dan cuenta de: i) distribución local, latitudinal y batimétrica del recurso, ii) patrones temporales de la distribución de la biomasa, iii) estructura de talla – peso poblacional, iv) condiciones que determinan la variabilidad poblacional v) dinámica de la actividad extractiva, vi) aspectos de la cadena productiva y del mercado, vi) niveles y estado de explotación de las praderas, vii) comunidades asociadas a las praderas de algas, y vii) estimaciones de biomasa disponible (“*standing stock*”) y de biomasa cosechable (“*standing crops*”), entre otros (Vásquez 2004a,b, Vásquez *et al.* 2010, Vásquez *et al.* 2012, 2014, Vásquez 2016).

El diámetro basal de los discos adhesivos de *L. berteorana* tiene una alta capacidad predictiva del peso y tamaño de las plantas, así como con la biodiversidad de especies que habitan en, entre y dentro de los discos (Santelices 1989, Vásquez 1991, Vega *et al.* 2005). Estas relaciones han permitido estimar de forma indirecta (muestreos no-destructivos) la biomasa y el potencial productivo de las praderas algas pardas (Vásquez & Santelices 1984, Villouta & Santelices 1984, 1986, Santelices 1989, Vásquez 1991, 1992; Westermeier *et al.* 1994). Las poblaciones de este recurso muestran una alta plasticidad morfológica, y alta variabilidad en densidad, biomasa y estructura de tamaño entre distintas localidades del norte de Chile. Los patrones locales de abundancia responderían principalmente a: (i) la variabilidad natural (estacional e interanual) de los procesos de reclutamiento de juveniles y (ii) la mortalidad diferencial de plantas adultas por intervención del hombre a través de la cosecha directa (Vásquez 2008, Vásquez *et al.* 2010).

Evaluaciones del estado poblacional de *Lessonia*, indicaban hasta 2004-2005, que a pesar de la fuerte presión extractiva sobre este recurso, no se observan modificaciones importantes en su demografía y sus comunidades asociadas (Vásquez *et al.* 2001, Vásquez & Vega 2004, 2005). Esto se explicaría por un reclutamiento y crecimiento estables en las praderas. Sin embargo, Vásquez (2016) indica que una explotación intensiva podría generar impactos negativos significativos sobre el ecosistema. Recientemente, Canales y colaboradores. (2018) han adaptado un modelo de depleción poblacional de *L. berteorana*, a partir de datos extractivos para un sector acotado del norte de Chile. Los autores establecen un estado de resiliencia de las poblaciones frente a la explotación, sustentada en los niveles de reclutamiento y crecimiento de las plantas. Esta aproximación indirecta del estado del stock está condicionada por la calidad de las estimaciones de los parámetros de la dinámica del recurso (i.e. mortalidades naturales y por cosecha, relaciones stock- recluta).

La extracción directa de algas pardas, sin una planificación adecuada traería efectos adversos a sus poblaciones, lo que se ha reflejado en las prospecciones de este proyecto, donde gran parte de los individuos de *Lessonia* corresponden a organismos juveniles (< 20 cm diámetro disco, no reproductivos). La generación de grandes espacios entre plantas dentro de una pradera de *Lessonia*, promueve el pastoreo y la permanencia de densas poblaciones de herbívoros bentónicos, limitando el reclutamiento de *Lessonia* (Santelices & Ojeda, 1984; Vásquez, 1992, Oróstica *et al.* 2014). A partir de los estudios sobre *Lessonia*, se ha propuesto, como medidas básicas para el manejo bajo condiciones de explotación directa: i) remoción sólo de individuos adultos de la población (plantas con discos mayores a 20 cm de diámetro), medida que actualmente se utilizada para establecer el *standing crop* del recurso, ii) raleo - entresacado de plantas, una de cada tres plantas encontradas, con una distancia inter plantas no superior a 1,5 m, permitiendo mantener una densidad mínima en áreas más o menos triangulares (Hoffman & Santelices, 1997, Vásquez 2008, Vásquez *et al* 2012) y iii) cosecha de la planta completa, dado que *Lessonia* no produce regeneración de las estructuras

afectadas post-poda (Santelices 1989, Vásquez & Santelices 1990, Vásquez 1992, Vásquez *et al.* 2012).

Estas pautas básicas de manejo permiten i) liberar sustrato primario para el asentamiento de propágulos, ii) el crecimiento de plantas juveniles, iii) disminuir las interacciones competitivas entre adultos y juveniles, iii) mantener un stock de adultos reproductivos, iv) prevenir el sobre pastoreo por herbívoros bentónicos (por el efecto de látigo que ejercen las propias plantas), y v) favorecer la renovación y sustentabilidad de las praderas (Santelices, 1989; Vásquez, 1992, 1995, 1999, 2008, Vásquez & Santelices, 1990; González *et al.* 2002). La remoción debería realizarse en ausencia de herbívoros y en la época de mayor fertilidad de *Lessonia*, (entre septiembre y diciembre) a fin de favorecer el reclutamiento de ésta por sobre otras algas (Santelices 1982, Vásquez & Santelices 1990). Lo anterior, responde a procesos de competencia por el sustrato disponible tanto para *L. berteorana* (Ojeda & Santelices 1984; Vásquez & Santelices 1984), como para *L. trabeculata* (Vásquez *et al.* 2001a, 2001b) y *Macrocystis* (Vega *et al.* 2005). Adicionalmente, Vásquez (2004a, b, 2008), sugieren una estrategia de rotación de áreas de 4 a 6 meses, con reactivación en la siguiente temporada post reclutamiento (marzo-septiembre).

Edding & Tala (1998), establecieron recomendaciones para el manejo biológico de *L. trabeculata* similares a las propuestas para *L. berteorana*: i) limitar la extracción de plantas con discos mayores a 15 cm ii) remover plantas completas, iii) realizar remociones de plantas que no produzcan áreas desprovistas de *L. trabeculata* de más de 1 m² de superficie, medidas como distancias interdiscos y iv) extracción en sectores con una profundidad entre los 5 y 8 m (profundidades a las que el recurso alcanza su mayor densidad y biomasa).

Para *Macrocystis* se ha propuesto una estrategia de explotación basada en la poda del dosel a 1 - 1,5 m de la superficie, con lo cual se permite el crecimiento de frondas, se protegen las estructuras reproductivas (ubicadas en porciones inferiores), y se permite el crecimiento de brotes y/o crecimiento de nuevas plantas a partir de esporofitos

pequeños, que se ven estimulados por la disponibilidad de luz al despejarse los estratos superiores (Santelices, 1989, González, 2002).

De forma integrada para los huirales, Vásquez (1995) estableció diez aspectos relevantes, que involucran los factores biológico-poblacionales, comunitarios y físicos que deben ser considerados para un adecuado manejo biológico de las praderas de algas pardas:

1. Metodologías de la cosecha;
2. Intensidad y frecuencia de las cosechas;
3. Variabilidad temporal de biomasa en las localidades;
4. Estacionalidad de los ciclos reproductivos de la especie;
5. Morfología de la planta;
6. Distribución espacial de la población (distancia entre plantas);
7. Jerarquía competitiva en el período post-cosecha, relacionado con procesos sucesionales;
8. Abundancia de pastoreadores bentónicos asociados a la comunidad;
9. Temporalidad del contenido de polisacáridos;
10. Exposición y vulnerabilidad a alteraciones físicas, tales como los patrones de intensidad de movimiento de agua.

En los últimos años en la III y IV regiones, se han establecido “cuotas de biomasa cosechable”, estimadas a partir del *standing crop* del recurso *Lessonia* (www.subpesca.cl). Estas buscan controlar los desembarques y regular la “captura por unidad de esfuerzo (CPUE)” - toneladas/extractor/tiempo - estableciendo una distribución equitativa del uso del recurso. El enfoque de manejo basado en cuotas, requiere conocer los reales niveles de productividad del recurso y establecer un adecuado sistema de control de salida (desembarque) y de entrada (usuarios en la pesquería; Hilborn & Walter, 1999). Vásquez (2008), señala que la regulación mediante cuotas de captura de *Lessonia* es altamente dificultosa en términos de control, debido a lo extenso de la costa del norte de Chile. En la IV Región, Vásquez (2013) inicio un programa piloto de registros electrónicos realizados por los propios extractores al final de los desembarques, con el objetivo de mejorar la estadística y el control de los desembarques.

El establecer cuotas de desembarque, entendidas como una medida precautoria para el recurso algas pardas (Vásquez *et al.* 2012), debiera considerar i) que las poblaciones de algas pardas se caracterizan por una fuerte estructuración espacial, ii) que responden de manera diferencial a condiciones ambientales (intensidad de varazones naturales) y iii) el grado de aprovechamiento de varaderos por parte los usuarios (González *et al.* 2002, Vásquez 2008, Vásquez *et al.* 2012). Una subestimación del *standing stock* y/o del potencial de varado del recurso podría limitar la actividad. Por otra parte, una sobre estimación de cuotas (y una eventual disminución de las varazones) podría estimular la extracción directa para dar cumplimiento a las cuotas establecidas, con efectos adversos sobre las poblaciones.

Vásquez (2008), ha señalado como premisa básica para la sustentabilidad del recurso algas pardas poner énfasis en “como cosechar es más importante que cuanto cosechar”. En la práctica esto implica establecer un “buen manejo o buenas prácticas” en función de las bases biológicas para el manejo (Vásquez 1995, 2008). Estas acciones deben ser consensuadas entre pescadores, industria, administración y científicos a fin de minimizar los riesgos para la sustentabilidad de la pesquería. Bajo el régimen AMERBs, que cuenta con planes de manejo para el recurso alga pardas, estas buenas prácticas resultan factibles de implementar (Vega *et al.* 2014). Sin embargo, en aéreas de libre acceso - distribuidas a lo largo de la costa y que generan más del 95% de desembarque - no resultaría tan factible (Vásquez 2008).

Los indicadores y reglas de decisión asociados a variables demográficas de las poblaciones de algas sujetas a grados diferenciales de explotación (Vega *et al.* 2014, Vásquez 2016), con énfasis en *L. berteorana*, han permitido (1) evaluar las consecuencias de buenas prácticas de manejo, (2) comparar efectos de cosechas en áreas con diferentes regímenes administrativos (3) monitorear la sustentabilidad de praderas explotadas y (4) proponer medidas precautorias y de recuperación para el manejo sustentable del recurso algas pardas (Vásquez 2016). Recientemente, Vega *et al.* (2016) han propuesto el uso de la asociación entre *Scurria scurria* y *L. berteorana*

(i.e. el gasteropodo herbívoro habita en los discos y estipes de *L. berteorana*; Vásquez & Santelices 1984), como un indicador ecológico para el monitoreo de la integridad de las praderas de esta especie. Lo anterior se fundamenta en que la abundancia y estructura de tallas de *S. scurria* presenta una alta correlación positiva con el tamaño de las plantas, y por lo tanto, sectores de alta explotación se asocian a una baja abundancia y a estructuras de tamaños de *S. Scurria* hacia valores menores, y viceversa. Sin embargo, dada esta correlación este indicador es redundante con la demografía del alga.

Si bien, a la fecha se ha generado un amplio conocimiento biológico y ecológico para el manejo de algas pardas, esto no necesariamente garantiza el éxito de los programas de cosecha, requiriéndose considerar aspectos sociales, políticos y económicos para establecer adecuadas estrategias de manejo para esta pesquería, entre los aspectos a considerar se cuentan: (i) la demanda nacional e internación de materia prima, (ii) los índices de empleabilidad, los cuales incrementan las cosechas, (iii) control y fiscalización a lo largo de la costa y (iv) el nivel de educación y de ingresos de los extractores de algas (Vásquez and Westermeier, 1993, Vásquez 2008, 2016). En consecuencia, a partir del año 2011 la Subsecretaría de Pesca, incorporó el monitoreo económico y social de la industria de algas pardas, ejecutado por el Instituto de Fomento Pesquero, tendiente a avanzar hacia la incorporación del enfoque ecosistémico en el proceso de toma de decisiones para esta pesquería (Palta *et al*, 2011).

4.3.5. Experiencias de cultivo y repoblamiento de algas pardas.

En los últimos años se han intensificado los estudios para el desarrollo experimental y aplicado de técnicas de repoblamiento de algas pardas. Estos estudios buscan mejorar los niveles de producción de algas y la recuperación de sectores sometidos a altas tasas de explotación y/o a condiciones oceanográficas catastróficas (Vásquez 2006). A inicios de los 80 se evaluaron los efectos de la combinación de luz, nutrientes, temperatura y

fotoperiodo sobre la fertilización y el desarrollo temprano de esporofitos para *L. berteorana* (Hoffman & Santelices 1982) y *Macrocystis*, estableciéndose las condiciones y factibilidad de producir plántulas en laboratorio para un posterior repoblamiento en el medio natural (Alveal *et al.* 1982, Westermeier *et al.* 1989, Westermeier *et al.* 2014, Celis & Alveal 1999, Gutierrez *et al.* 2006).

Experiencias piloto de cultivo y repoblamiento para *Lessonia* y *Macrocystis* han evaluado su factibilidad técnica-económica mediante métodos simples y de bajo costo considerando sistemas de cultivo suspendidos o directamente sobre el sustrato por medio de re-fijar individuos o por el aporte de propágulos (Edding *et al.* 1990, Vásquez & Tala 1995, Edding & Tala 2003, Correa *et al.* 2006, Gutiérrez *et al.* 2006, Westermeier *et al.* 2006, 2007, González *et al.* 2012a).

Vásquez *et al.* (2010), señalan que la finalidad de los programas de repoblamiento, es facilitar que las algas repobladas alcancen su estado reproductivo y aporten con nuevos propágulos al ambiente para el asentamiento y reclutamiento de nuevos individuos. Los criterios para definir potenciales zonas de repoblamiento deben considerar: 1) las distribuciones (i.e. continuas o agregadas) de las especies; 2) la disponibilidad de sustrato rocoso apto para algas pardas; 3) las condiciones hidrodinámicas del lugar; 4) las estimaciones de biomasa disponible y cosechable; 5) el estado de explotación de las praderas; y 6) la historia del sector (i.e. actividades mineras, zona afectada por El Niño o ENSO, entre otras).

El éxito en el desarrollo de actividades de cultivo/repoblamiento debe ser validado en cada sector, considerando aspectos técnico-logísticos, aspectos biológicos (i.e. presencia de otras algas monopolizando sustrato y/o abundancia de herbívoros), aspectos sociales relacionados con la formación del grupo humano que generará estas propuestas (i.e. organizaciones de pescadores), y aspectos relacionados con el apoyo administrativo y de fiscalización (Vásquez *et al.* 2010).

La literatura documenta exitosos intentos en el cultivo de *Macrocystis* y *Lessonia* en condiciones controladas de laboratorio. No obstante, con excepción de los cultivos en “long line” de *Macrocystis pyrifera*, los numerosos intentos de repoblamiento masivo con *Lessonia* spp han sido infructuosos. En este contexto, urge realizar mejores y mayores intentos de repoblamiento y restauración de poblaciones de *Lessonia* spp sometidas a intensas y frecuentes cosechas.

4.3.6. Mercado y comercialización

En términos económicos, las algas pardas sustentan una importante actividad económica (Vásquez 2008). Las especies de algas pardas explotadas en el norte de Chile son utilizadas principalmente como materia prima para la industria de alginatos y, en menor grado, como alimento para animales y humanos o para producción de fertilizantes (Vásquez & Fonck 1993, Vásquez 2008, 2009). La industria química de polímeros, a escala mundial, ha reconocido la alta calidad de los alginatos provenientes de especies del género *Lessonia* para la industria (Zimmermann *et al.* 2003, Leinfelder *et al.* 2003).

La pesquería de algas pardas genera un encadenamiento productivo que está representado por i) la producción primaria o etapa extractiva (recolectores y/o extractores), ii) intermediarios (uno a dos niveles en la cadena antes de llegar las algas a las plantas picadoras), iii) la manufactura, que se concentra en el picado de algas, iii) empresas exportadoras y, recientemente, iv) la cosecha para abastecer la industria abalonera (González *et al.* 2002, Vásquez *et al.* 2005, Palta *et al.* 2011). Aproximadamente el 80% del recurso transformado en picado corresponde a *L. berteorana*, mientras que *L. trabeculata* representa el 15%. Un porcentaje menor (5%) del alga transformada en las plantas de picado corresponde a *Macrocystis*. La mayor producción de algas se concentra en el norte del país, explicado por las condiciones ambientales favorables para las actividades de secado del alga, las que son acopiadas en terrazas costeras (Vásquez 2008).

Las exportaciones de los derivados de las algas han mostrado un significativo incremento en las dos últimas décadas (Fig. 38). Los volúmenes exportados han alcanzado las 60.000 ton secas/año en los últimos 5 años, con retornos anuales por sobre US\$ 120 millones (www.sernapesca.cl, www.bancocentral.cl). Desde el año 2000 a la fecha, los precios (FOB) han mantenido una tendencia al alza, alcanzando el año 2014 un máximo histórico por sobre los US\$ 1.807/t.

El recurso es exportado principalmente a China, Japón, Reino Unido, Noruega, Francia y México, utilizándose una un bajo porcentaje a nivel nacional para la elaboración de alginatos (Vásquez, 2008, Vásquez *et al.* 2008a, 2008b, 2010). La producción nacional abastece sobre el 13% de la demanda mundial (Vásquez 2008, www.subpesca.cl).

4.3.7. Pesquería de Algas Pardas XV a II Regiones.

4.3.7.1. Desembarque.

En los últimos años el desembarque total en la XV, I y II regiones contribuyó en promedio al 35% del desembarque nacional de algas pardas, con una alta incidencia de la II Región, y una baja participación de la XV Región, la cual desde el año 2013 no supera el 0.05% del total nacional . (Fig. 39).

La XV Región, presenta desembarque de algas pardas a partir del año 2013, sólo registrándose en oficina en la ciudad Arica. Antes del 2013, Arica fue provincia de la actual I Región, con registro de la actividad extractiva en el puerto de Iquique. Los desembarques dan cuenta de las especies *L. berteorana* y *M. piryfera*, esta última con baja presencia. Los volúmenes entre 2013 y 2016 no sobrepasan 120 ton anuales, con una baja frecuencia de registros mensuales a lo largo del año (Fig. 40)

En la I Región, el desembarque de algas pardas presentó un fuerte aumento desde el año 2004 a 2009, alcanzando este último año 35.000 ton. Posteriormente, se observó

una tendencia a la baja, registrándose el año 2015 sólo 6.000 t. (Fig. 41). El mayor aporte al recurso huiro lo hace la especie *L. berteorana* (huiro negro), con sobre el 95% del total.

Desde el año 2006 al 2008 los desembarques de algas pardas en la I Región presentaron un claro patrón estacional de verano (noviembre a marzo), decayendo hacia el invierno (julio a agosto). Posteriormente, los niveles de desembarque se homogenizan a lo largo del año, a excepción de los años 2011 y 2014, los cuales mantienen el patrón anteriormente descrito (Fig. 42)

En la región de Antofagasta, el desembarque de algas pardas está representado principalmente por *L. berteorana* (huiro negro), que aporta el 90% del total. El desembarque histórico presentó una mantención en sus niveles desde el año 2004 al 2008, con un promedio para el periodo de 40.000 t. (Fig. 43). Desde el año 2009, el desembarque aumentó, alcanzando un máximo histórico de 120.000 t en el año 2014, para luego disminuir drásticamente a menos de 30.000 t. el año 2015.

La II Región, presenta en general una estacionalidad asociada a mayores desembarques durante los meses de verano (Fig. 44). Sin embargo, en los años 2011, 2012 y, en especial en el 2014, esta tendencia se invierte hacia los meses de invierno.

En la II Región el registro de algas pardas se realiza en cuatro oficinas provinciales, de norte a sur: Tocopilla, Mejillones, Antofagasta y Taltal. Durante el periodo 2006 – 2016, en promedio las provincias de Antofagasta y Taltal, han sido las de mayor aporte al desembarque regional (Fig. 45). Sólo la provincia de Tocopilla presentó un aporte significativo del desembarque del recurso huiro palo y canutillo.

La estacionalidad mensual promedio para el periodo 2006 – 2016 entre las 4 oficinas de la II Región, presenta una leve tendencia hacia mayores desembarques en los meses de enero a julio en especial para la localidad de Taltal (Fig. 46).

4.3.7.2. *Usuarios de la pesquería.*

En la XV Región existe un registro de 87 pescadores con RPA, de estos sólo 17 se encuentran con la categoría de recolector de alga (Tabla 1), explicando la baja actividad extractiva de huiros en esta región. La I Región, el 2008 presentaba un total de 275 recolectores, los cuales han aumentado a 349 al año 2016, manteniéndose a la fecha. En la región de Antofagasta se registra un total de 871 recolectores con el recurso huiro inscrito. La Región de Antofagasta, presenta el mayor número de comercializadores y plantas de picado (Tabla 11), reflejando la mayor actividad extractiva regional. Las plantas de picado menor, en especial, las asociadas a organizaciones de pescadores, operan como intermediarias de las plantas picadoras de mayor envergadura (www.subpesca.cl).

Región	Extractores	Comercializadores	Plantas de picado menor	Plantas picadoras
XV	17	-	-	-
I	349	29	16	3
II	842	51	46	3
Total	1197	80	62	6

Tabla. 11. Agentes registrados de algas pardas en las regiones XV, I y II. (Fuente www.Sernapesca.cl).

En la Región de Antofagasta, de los 871 pescadores que se encuentran con RPA e inscripción del recurso algas, el mayor número se presenta en la provincia de Antofagasta (Tabla 11). Actualmente, en la región permanecen 239 extractores en lista de espera para inscribirse en estos recursos, concentrándose en la provincia de Taltal. Desde el 2008 hasta el 2011 se registró un fuerte aumento de los extractores en la II Región, manteniéndose hasta la actualidad (Fig. 47).

Oficina	Inscritos c/RPA	Lista de espera	totales
Tocopilla	205	71	267
Mejillones	32	12	34
Antofagasta	122	56	328
Taltal	242	100	242
TOTAL	871	239	871

Tabla. 12. Agentes registrados de algas pardas en las regiones XV, I y II. (Fuente www.Sernapesca.cl).

4.3.7.3. Precios.

Desde el año 2008 se ha registrado un aumento importante de precios del recurso algas pardas en el norte de Chile (Fig. 48), desde \$110.000/t a \$250.000/t en 2013, que ha significado un aumento del 230%. A partir del 2013 los precios se han estabilizado alrededor de \$200.000/t. A nivel de especies, el huiro negro y huiro palo presentan tendencias y valores similares, a diferencia del huiro canutillo el cual bordea los \$100.000/t.

4.3.8. Antecedentes Plan de Manejo de la Región de Antofagasta.

El plan de manejo de la II Región, estableció una zonificación basada en siete macro sectores (Tabla 13). Esta zonificación consideró la cobertura geográfica, los niveles de producción, la distribución de extractores a lo largo de la costa, y la presencia de oficinas provinciales del SERNAPESCA.

Desde	Latitud inicial	Hasta	Latitud final	Zona plan de manejo
Río Loa	21°25'47"S	Caleta Duendes	22°04'16"S	1
Sur Punta Algodonales	22°07'48"S	Caleta Tames	22°37'59"S	2
Caleta Tames	22°37'59"S	Punta Hornos	22°55'24"S	3
Punta Angamos	23°01'30"S	Punta Colorada	23°30'05"S	4
Punta Coloso	23°45'56"S	Punta Agua Salada	24°11'08"S	5
Caleta El Cobre	24°14'00"S	Punta Dos Reyes	24°33'04"S	6
Punta Dos Reyes	24°33'04"S	Punta Carrizalillo	26°03'40"S	7

Tabla 13. Zonificación costera de la II Región en función del plan de manejo de algas pardas (Fuente González & Ortiz 2012).

El desembarque promedio por zona de operación del plan de manejo, para el periodo 2012 a junio de 2016 (Fig. 49), muestra que las principales zonas de extracción corresponden a las zonas 1, 7 y 4 (extremos y centro de la II Región).

El monitoreo de la actividad extractiva (Sernapesca 2016), muestra un incremento de un máximo de 304 sectores de recolección (año 2014) y un incremento del número de extractores desde el año 2012, con un máximo de 974 usuarios el año 2014 (Tabla 14).

Año	N ^o de registros	N ^o caletas	N ^o sectores	N ^o usuarios
2012	4651	22	236	574
2013	9448	22	283	716
2014	9257	22	304	974
2015*	1889	22	250	685

* Data hasta junio del 2015

Tabla 14. Registro de desembarque, caletas, sectores y usuarios (extractores) para la II Región desde el año 2012 al 2015 (www.Sernapesca.cl).

Los niveles de desembarque y rendimiento anual de los recursos huiros, por usuario, entre los años 2012 y 2014 (Tabla 15), muestran una disminución de los rendimientos promedios de alrededor de las 40t/ usuario en el año 2012 a sólo 12.2t/usuario en el 2016.

Año	L. nigrescens	Macrocystis sp	L. trabeculata	Total "huiros"	** Cpue
2012	19221	2363	1616	23200	40.4
2013	26214	2373	1963	30549	42.7
2014	34862	1553	2251	38667	39.7
2015*	7215	274	877	8366	12.2

* Data hasta junio del 2015

** (Ton/usuario-año)

Tabla 15. Desembarque (t) y rendimiento medio anual de los recursos “huiros” (www.Sernapesca.cl).

Las mayores contribuciones al desembarque de huiros corresponden a las zonas de operación 7, 1 y 4, con un aporte total promedio por sobre el 80%, manteniéndose su importancia entre los años 2012 y 2015 (Tabla 16).

Zona del PM	2012	2013	2014	2015	Total
1	14.6	14.5	29.7	11.5	20.2
2	10.3	11.3	6.2	8.0	8.8
3	1.0	0.7	0.0	0.0	0.5
4	14.6	15.7	15.7	19.5	15.7
5	0.4	1.1	1.2	1.1	1.0
6	10.6	9.3	6.2	7.6	8.3
7	48.5	47.4	40.8	52.4	45.5
Total	100	100	100	100	100

Tabla 16. Aporte al desembarque (%) por zona de operación y años del recurso huiros en la II Región. El total considera el acumulado para el periodo 2012 -2015 (www.Sernapesca.cl).

El número de usuarios que participan en la actividad extractiva por zona de operación (Tabla 17), se concentra en las zonas extremas (1, 7) y centro (4), lo que explica las mayores contribuciones de estas zonas al desembarque regional.

Zona del PM	2012	2013	2014	2015*	Total **
1	114	145	169	91	211
2	98	151	136	70	224
3	7	7	3	2	13
4	103	130	221	126	257
5	8	11	25	9	32
6	50	62	65	28	109
7	271	336	450	306	497
Total **	574	716	974	630	1343

Tabla 17. Número de usuarios de los recursos huiro por zona de operación y año, registrados de acuerdo a su RPA en la II Región. El año 2015 considera hasta el mes de junio (*) y los totales no consideran repetición de usuarios (www.Sernapesca.cl).

La SUBPESCA estableció criterios y límites de extracción de huiro negro en el marco del plan de manejo de la II Región (res. ex. 2294 del 14 de julio de 2017), con un límite de extracción por recolector/mes de 5 t para huiro negro varado. Los valores anuales promedio de desembarque por usuario, para los años 2012 a 2014, están alrededor de los 30 t/año/usuario, con mayores rendimientos en las zonas donde se presenta mayor desembarque (Tabla 18). La concentración de desembarque por usuario al año, muestra que aproximadamente el 80% extrae menos de 16 t/año, mientras que el 20% restante extrae entre las 16 y 49 t/año (Fig. 50).

Zona del PM	2012	2013	2014	2015*
1	29.8	30.6	68.0	11.6
2	24.4	22.8	17.7	9.0
3	32.7	32.6	5.1	-
4	32.8	37.0	27.5	11.2
5	13.0	29.2	19.1	6.7
6	49.2	45.9	37.1	21.8
7	41.5	43.1	35.1	13.1
Promedio	31.9	34.5	29.9	12.2

Tabla 18. Rendimientos medios (t/usuario) por año y zona de operación. El año 2015 considera sólo hasta el mes de junio (*) (www.Sernapesca.cl).

4.3.9. *Análisis de producción global de la pesquería de algas pardas; estimaciones de biomasa, esfuerzo efectivo, y grado de explotación.*

Con la finalidad de aproximarse a los niveles efectivos de esfuerzo extractivo, en términos del número de usuarios operando en la actividad e estimar el grado de explotación sobre el recurso huiro, se presenta un enfoque de modelación que integra la información de desembarques, usuarios nominales, y rendimientos extractivos presentados en los antecedentes descritos en los puntos anteriores. Si bien, este tipo de modelos presentan reconocidos problemas en función de los supuestos subyacentes, éste se presenta como una herramienta de integración de información que permita entender los procesos bio-pesqueros y económicos asociados a la pesquería de algas pardas en las regiones en estudio.

Utilizando un modelo logístico de crecimiento e entrega un análisis orientado a establecer los niveles de esfuerzo efectivo (f efectivo) ejercido sobre la pesquería de algas pardas, y su grado de explotación. Los resultados obtenidos con el modelo - en términos de estimación de biomasa - serán posteriormente contrastados con las estimaciones obtenidas en las evaluaciones directas del recurso, generadas por el presente proyecto.

En tabla 19 se presentan los valores de los parámetros y variables del modelo de producción para el recurso huiro negro en la I y II Regiones. Para el periodo 2010-2016, las capturas medias de huiro negro en la I y II Regiones, alcanzaron valores aprox. de 14 y 66 mil toneladas, respectivamente. Las capturas medias son consistentes con las estimaciones de biomasa medias estimadas para cada región, donde la II Región presentaría 5 veces más biomasa en comparación a la I región. Si bien, ambas regiones registran un número similar de algueros inscritos en la pesquería (esfuerzo nominal - RPA), en la I Región se estimó un esfuerzo efectivo menor al nominal. Por el contrario, para la II Región el esfuerzo promedio efectivo sería de casi el doble que el nominal.

Parámetro/variable	Unidad de medida	I Región	II Región
Tasa intrínseca de crecimiento r	-	0,83	2,65
Coefficiente de capturabilidad q	-	0,000650333	0,00060485
Capacidad de carga K	ton	74213	199995
Biomasa inicial $B_{i(2010)}$	ton	33829	80277
Biomasa media (2010 - 2016)	ton	29762	150632
Captura media (2010 - 2016)	ton	14169	66417
Esfuerzo nominal (fnom) medio	N ⁰	747	796
Esfuerzo efectivo (fest) medio	N ⁰	283	1378
CPUE media nominal	ton/alguero-año	18,1	77,2
CPUE media efectiva_estimada	ton/alguero-año	57,7	61,7

Tabla 19. Parámetros y variables bio-pesqueros del recurso huiro negro en la I y II Regiones. Valores de entrada y salidas asociados al modelo de producción global.

El desembarque de huiro negro en la I Región después de incrementar desde el 2011 al 2013, registró una caída hasta el 2016 (Fig. 51). Los resultados del modelo indican que esta disminución estaría asociado, en los últimos años, con una menor presión extractiva sobre el recurso (mortalidad por pesca 2016 ~ 25%), lo cual se explicaría por un menor número de algueros efectivos operando en comparación a los años anteriores (Fig. 51).

La Región de Antofagasta ha presentado niveles de desembarque fluctuantes entre años. Los años 2013 y 2015 registran una disminución importante del desembarque, en comparación a los demás años, lo cual estaría asociado posiblemente a; i) un grado menor a bajas en los niveles de biomasa población estimada (Fig. 52A), y ii) un menor número de algueros operando, reflejándose en menores mortalidades por pesca. Para los años de mayor producción (2012 y 2014) se estimó un alto número de algueros operando (Fig. 52B), valor que el año 2014 habría alcanzado a 2.033 algueros triplicando a los algueros nominales (871). En estos años la mortalidad por pesca habría alcanzado valores por sobre el 50% de la población (Fig. 52).

Las estimaciones anteriores, están condicionados principalmente por una alta incertidumbre del nivel esfuerzo aplicado sobre el recurso. El ingreso de "algueros

esporádicos", aquellos que se dedica a la recolección y/o extracción de algas sólo en la época de verano o por un tiempo determinado, no permite establecer un número confiable de algueros ilegales operando en la actividad. El alto número de algueros efectivos estimados para la II Región, evidencia que uno de los aspectos más críticos para un alcanzar un buen manejo de recurso algas pardas es el control de acceso a la pesquería, es decir limitar de forma efectiva el esfuerzo (número de usuarios). El aumento de usuarios se asociaría con una mayor cantidad de algueros informales (ilegales), asociada a un aumento de extracción directa (barroteo), tanto de algueros inscritos como de los informales, la cual podría superar por mucho a la "tradicional" recolección desde varaderos.

El aumento de algueros ilegales, estarían explicando la aparición de "súper-algueros" en los registros oficiales, registrándose rendimientos extractivos muy por encima de los promedios de rendimientos promedios por alguero. Los valores medios de desembarques por alguero (según registros Sernapesca), indican que un 80% de los extractores en la II Región extrae aproximadamente 30 t/año, con el 20% restante con valores extractivos por sobre los 75 toneladas. Estos altos rendimientos se explicarían por un "blanqueo" de desembarque de ilegales a través de los algueros inscritos, desembarques que estarían representados por una alta proporción de alga barroteada.

La R. EX. N0 2294 del 14 de julio de 2017, en el marco del Plan de Manejo de Algas Pardas de la II Región, ha establecido sólo a partir de alga varada, un límite de extracción por extractor de hasta 5 t/mes para el huiro negro (máximo de 60 t/año/alguero), y por tanto, en consideración al número de algueros nominales, el desembarque anual no debiera exceder las 52 mil t., se debe considerar que el desembarque promedio de huiro negro en los últimos 5 años está alrededor de 66 mil toneladas. Se deberá esperar los registros oficiales para evaluar el cumplimiento de esta medida.

La práctica de barroteo para extraer huiro negro es de larga data (González *et al.* 2002). Actualmente, la remoción (barroteo) en los meses de verano, fluctuaría entre 55% y 92% en la I Región y entre 26% y 89% en Antofagasta, intensificándose con la baja

presencia de alga varada, y la alta presencia de veraneantes (Pizarro *et al* 2014). En consecuencia, la pesquería presenta dos fuentes de ilegalidad; 1) ingreso de algueros ilegales, y 2) la extracción por barreteo, ambos aspectos de baja probabilidad de detectar, que en su conjunto someterían al recurso a una alta presión extractiva, como lo indican las estimaciones de mortalidad por pesca los de los años 2012 a 2014 para las regiones I y II.

La fuerte disminución en los desembarques observados en la II Región para los años 2013 y 2015, se relaciona con una caída monótona intra-anual del desembarque, desde de inicio al final de cada año. Esta tendencia difiere en comparación a los altos desembarque registrados en los meses de invierno de los años de mayor desembarque 2012 – 2014. De acuerdo a las estimaciones de mortalidad por pesca, los bajo desembarques de los años 2013 – 2015, podrían ser respuesta de una menor presión extractiva, dada a una menor disponibilidad de alga varada y/o una menor presión directa sobre las poblacionales de huiro negro, particularmente en los meses de inviernos.

De acuerdo al modelo global de estimación aplicado, las estimaciones de biomasa poblacional (y varada), y el grado de explotación responden al esfuerzo ejercido, y en consecuencia a los niveles de desembarque observados. Sin embargo, la dinámica del mercado puede generar distorsiones al momento de vincular de forma directa los niveles de desembarque con la abundancia del recurso, en espacial para los años 2013 – 2015 en la II Región. La dinámica del mercado podría haber respondido a cambio de intencionalidad de compra por parte de la empresa - huiro negro por huiro palo -, sin embargo aunque ha aumentado el desembarque de huiro palo, este recurso no representa más de 10% del total de huiros desembarcado en los últimos 7 años, además de concentrarse en las regiones III y IV Regiones (Fig. 53). Otra explicación sería el cambio en demanda (compra) regional, nótese que los años de menor desembarque de huiro en la II Región, coinciden con mayores desembarques en la III y IV Regiones (Fig. 53).

A nivel nacional, a partir del 2013 la producción de huiro negro (seco) presenta una disminución de los desembarques y al mismo tiempo una baja en los precios en playa (Fig. 54). Esta baja de precios puede estar relacionada con una menor demanda del recurso huiro negro y/o menor interés extractivo por parte de los algueros sobre este recurso. Por su parte, el recurso huiro palo, desde el 2013 al 2016, no ha registrado bajas importantes en sus desembarques y en el precio playa (Fig. 54). Para entender de mejor las implicancias del mercado, se realizan entrevistas a nivel de la Gerencias de la plantas de proceso de huiros.

Una fuente alternativa del estado del recurso huiro a nivel regional es el desempeño bio-pesquero de las AMERBs de algas pardas en las regiones en estudio. En la Región de Iquique y Antofagasta la cosecha de huiro negro desde las AMERB, aportan en promedio sólo el 3 y 14 % del total extraídos. Sin embargo, estas cosechas presentan una alta correlación con los desembarques provenientes de áreas de libre acceso (Fig. 5). En consideración a que las cuotas AMERB se generan a partir la evaluación directa del recurso, se podría interpretar que los mayores niveles de cuotas en AMERBs reflejarían un mejor status del recurso a nivel regional. Esta relación podría ser indicativa que los años de mayor desembarque totales de áreas de libre acceso coincidan con mayores cosechas AMERBs.

La interpretación de la información anterior, está fuertemente limitada por la ausencia de un monitoreo de anual del status poblacional de algas pardas, y del potencial de los varaderos. Con programas de monitoreo anual se podría establecer la dinámica interanual del recurso huiro, y dar robustez a la interpretación de los desembarques en función de la abundancia/escases del recurso. Para avanzar en esta línea y establecer el desempeño poblacional del recurso huiro, el análisis de las densidades y estructuras poblacionales podría dar cuenta de las series de desembarques observadas en los últimos años. Para lo anterior, se revisaran y analizaran; i) los informes seguimientos de algas pardas en AMERB, ii) los resultados de proyectos anteriores, y iii) del presente proyecto.

4.4. Objetivo específico 4: Proponer un procedimiento para determinar la tasa de deshidratación de los recursos huiro negro y huiro palo.

Durante los muestreo de noviembre y diciembre 2017, en la Región de Tarapacá y Antofagasta, se recolectaron 15 muestras en cada una de las etapas de la cadena productiva de la industria de macroalgas pardas (fresco, tendidos de secado artesanal y plantas de transformación o picadoras), para cada una de las especies objetivo: *Lessonia berteroana*, *Lessonia trabeculata* y *Macrocystis pyrifera*.

4.4.1. Evaluaciones de humedad en cadena productiva

En las evaluaciones en fresco (plantas varadas durante el día), *Lessonia berterona* presenta una humedad cercana al 83% (Fig. 56). Cuando estas plantas son transportadas a canchas de tendido por los propios pescadores/recolectores de orilla, la humedad se reduce a 50-60%. En plantas picadoras estas plantas reducen su humedad hasta un 40% en el primer día de exposición al ambiente (Fig. 56). En general las picadoras están alejadas de los lugares de recolección en localidades con mayor temperatura y menor humedad ambiental (eg Vallenar, La Negra, Andacollo, Cachiyuyo). La variación en el porcentaje de humedad para *L. berteroana* es muy similar en ambas regiones de Arica y Parinacotas, Tarapacá y Antofagasta (Fig. 56).

Para *Lessonia trabeculata*, los valores de humedad en fresco corresponden al 80%, al igual que su congénere *berteroana*, sin embargo retienen mayor humedad en canchas de tendido y en plantas picadoras (Fig.56). Por esta razón, el valor en playa de esta especie es menor en comparación con los precios de compra en playa de *L. berteroana*. Al retener más agua, la biomasa del alga como sustrato para extracción de biomoléculas es mucho menor. En este contexto, *L. trabeculata* requiere de mayor cantidad de tiempo para alcanzar niveles de humedad entre 40-50 % para ser recibidas/compradas en las plantas de picado

La información recolectada para *Macrocystis*, en fresco y en picadoras muestran porcentajes de humedad en fresco cercana al 90%, no obstante en plantas picadoras los porcentajes de humedad en los tejidos baja hasta el 30-40% en la recepción o en los primeros días de ser depositadas en estas plantas de transformación (Fig. 56).

En general, las plantas transformadoras (picadoras) de algas pardas reciben/compran materia prima para extracción de laminatos, con una estimación de humedad entre 40-50%. Aun cuando en plantas de picado no se utilizan valores de humedad, sino que de rendimiento de la materia prima algal, es posible establecer que la humedad máxima de compra en planta es 45% (55% de rendimiento). En planta las algas deben perder humedad hasta alcanzar 20-30% de humedad, momento que es picado y ensacado, disminuyendo la humedad hasta 15%. Las empresas que transforman y exportan algas pardas secas y picadas, lo hacen con contenidos de 10% de humedad residual.

4.4.2. Cambios morfológicos y gravimétricos de discos de adhesión expuestos al ambiente.

En la localidad de Camarones (Arica y Parinacotas), Los Verdes (Tarapacá) y en el Lagarto (Antofagasta) se recolectaron 12 plantas de diferentes tamaños en cada localidad, a las cuales se les extrajeron los discos de adhesión para evaluar la disminución de peso y tamaño en un gradiente temporal a temperatura ambiente (Fig. 57).

La disminución de tamaño de discos de adhesión de *Lessonia berteriana*, está relacionado directamente con el tamaño de la planta. Discos entre 25-30 cm de diámetro basal del disco disminuyen proporcionalmente entre 5 y 10 cm. Plantas de *Lessonia* entre 20 y 15 cm de diámetro basal, después de 23 días de exposición al ambiente reducen sus tamaños hasta aproximadamente 10-12 cm de diámetro de disco (Fig. 57 A-C). Plantas de 10 cm de disco basal reducen en 3-4 cm sus diámetros (Fig. 56

A-C). La reducción de tamaño de plantas menores a 10 cm de diámetro de disco basal, luego de 12 días de exposición a temperatura ambiente es casi insignificante.

Considerando plantas de diámetro promedio de disco de adhesión de 20 cm, en 17 días de exposición al ambiente (eg canchas de tendido, plantas de picado), se reducen a plantas de tamaño promedio de 14 cm de diámetro basal de disco de adhesión en Camarones (Fig. 57D). En Los Verdes (Región de Tarapacá), plantas de 14 cm de diámetro promedio de disco basal se reducen en 12 días, a plantas de 9 cm de diámetro promedio de disco basal (Fig. 57E). Para los discos de adhesión recolectados en Lagarto, con promedios de 18 cm de diámetro basal, en 23 días expuestos al ambiente reducen su tamaño hasta 13 cm de diámetro basal (Fig. 57F)

La reducción en peso de los discos de *Lessonia berteriana* expuestos a temperatura ambiente, es similar a la reducción de tamaño. Este comportamiento es similar en las tres regiones de muestreo (Fig. 58). En Camarones plantas que en promedio pesan 3,8 kg, en 17 días pierden aproximadamente 1 kg de peso (Fig. 58A, D). En Los Verdes en la Región de Tarapacá plantas de 1kg en promedio en 12 días pierden 700 gr de peso (Fig. 58B, E). Las plantas de *Lessonia berteriana* recolectadas en la localidad de El Lagarto en la Región de Antofagasta, que en promedio pesan 2,15 kg, en 23 días expuestas al ambiente pesan 950 gr (Fig. 58 C, D)

Un análisis de la pérdida diaria de tamaño y peso de los discos de adhesión de *Lessonia trabeculata* en Camarones (Arica), Los Verdes (Tarapacá) y el Lagarto (Antofagasta) muestra una reducción similar de tamaño en las tres regiones de estudio. En Camarones (Fig. 59A, D) y en los Verdes (Fig. 59B, E), discos de adhesión de 23 cm diámetro promedio, en 18 días de exposición al ambiente, se reducen hasta 15 cm de diámetro promedio. En la localidad de Urco, discos de adhesión de *Lessonia trabeculata* de 14 cm de diámetro promedio, en 24 días reducen su tamaño hasta 10 cm de diámetro promedio (Fig. 59 C, F).

Los cambios en peso, asociados a desecación al ambiente de discos de adhesión de *Lessonia trabeculata* son similares a los registrados en pérdida de tamaño. En

Camaronés (FIG. 60A, D) y Los Verdes (Fig. 60 B, E) discos de adhesión de peso promedio entre 900 gr y 1 kg, disminuyen su peso a 300 gr y 250 gr respectivamente. En Urco (Antofagasta) discos de 500gr de peso promedio disminuyen luego de 24 días de exposición al ambiente a valores cercanos a los 100 gr de peso promedio (Fig. 60C, F).

En resumen, considerando los distintos tamaños y pesos de los discos de adhesión de *Lessonia berteroana*: En Camaronés la tasa promedio de disminución de tamaño es de $0,7 \text{ cm día}^{-1}$ y de $0,04 \text{ gr día}^{-1}$ en peso (Fig. 61). Los Verdes la tasa de disminución de tamaño es de $0,4 \text{ cm día}^{-1}$, y en peso de $0,55 \text{ gr día}^{-1}$ (Fig. 61). En contraste, en el Lagarto la tasa de disminución de tamaño es de $0,22 \text{ cm día}^{-1}$ y en peso de $0,07 \text{ gr día}^{-1}$ (Fig. 61).

Para *Lessonia trabeculata*, considerando los distintos tamaños y pesos de los discos de adhesión: En Camaronés la tasa promedio de disminución de tamaño es de $0,7 \text{ cm día}^{-1}$ y de $0,04 \text{ gr día}^{-1}$ en peso (Fig. 62). Pisagua la tasa de disminución de tamaño es de $0,42 \text{ cm día}^{-1}$, y en peso de $0,038 \text{ gr día}^{-1}$ (Fig. 62). En contraste, en Urco la tasa de disminución de tamaño es de $0,15 \text{ cm día}^{-1}$ y en peso de $0,012 \text{ gr día}^{-1}$ (Fig. 62).

4.5. Objetivo específico 5: Desarrollar un modelo indirecto de estimación de biomasa que permita realizar proyecciones en el corto y mediano plazo bajo distintas estrategias de explotación para las 3 especies.

El uso de drones (cuadricópteros) a baja altura permitió estimar biomásas locales para *Lessonia berteroana* y *Macrocystis pyrifera*.

Estimaciones locales que fluctúan en fotogrametría de pocos metros, a 7 km de vuelo, permiten estimar abundancias totales por sector de vuelo (Tabla 20).

LOCALIDAD	Área de vuelo (Km ²)	Área total disponible por Región (Km ²)	Biomasa indirecta promedio (kg m ²)	Biomasa directa promedio (kg m ²)	Biomasa indirecta total disponible (Ton)	Biomasa total directa disponible (Ton)	Biomasa total indirecta cosechable (Ton)	Biomasa Total directa cosechable (Ton)
CAMARONES (ARICA Y PARINACOTAS)	0,4	57,7	37	31,89	1.839	1.321	244	246
PISAGUA ALA (TARAPACÁ)	6,78	710,7	66	23,12	46.908	14.874	3.846	1.231
URCO (ANTOFAGASTA)	0,74	803,3	37	25,52	29.723	23.256	5.284	4.131
<i>Macrocytis pyrifera</i>	0,30		39	37				

Tabla 20. Biomasa de *Lessonia berteroana* evaluada indirectamente mediante fotogrametría de vuelos a baja altura (Cuadricópteros) y estimaciones de biomasa directa en las tres regiones de estudio.

Aun cuando estos valores son puntuales y preliminares, mientras más pequeña sea el área de vuelo, mejores son los ajustes con biomasa evaluadas en forma directa. Esto ocurre en las evaluaciones realizadas en Caleta Camarones y en la evaluación de una pequeña población de *Macrocytis*. En contraste estas relaciones se pierden cuando los vuelos son de mayor alcance en superficie y las aproximaciones al tamaño del área disponible para crecimiento de *Lessonia* es mayor. Esto último ocurre en la aproximación de la biomasa total disponible y cosechable para Tarapacá y Antofagasta, donde la biomasa estimada indirectamente mediante drones puede duplicar la biomasa evaluada directamente (Tabla 20).

El uso de drones para estimación de biomasa de *Lessonia berteroana* es una herramienta adecuada para pequeñas áreas, sin embargo depende de una serie de factores que dificultan el uso de estos vuelos no tripulados como:

- (1) Hora del día en que se efectúa el vuelo (sombras),
- (2) Altura de marea, que permite fotografiar la biomasa descubierta por el agua,
- (3) Estado del mar (olas, impacto de oleaje en rocas intermareales) que condiciona la calidad de las imágenes.
- (4) Fractalidad y geomorfología de la costa,
- (5) Dirección e intensidad del viento, (Aspectos

técnicos como tipo de dron y tipo de cámaras que registran imágenes en distintos espectros, (6) Alcance y altura de vuelos no tripulados.

A la fecha la mejor aproximación a estimaciones de la biomasa disponible y cosechable es la combinación de ciertas tecnologías como cartografía digital y vuelos no tripulados a baja altura, en conjunto con estimaciones directas de superficie rocosa disponible para reclutamiento y crecimiento de poblaciones naturales y evaluaciones de biomasa disponible y cosechable en función de parámetros demográficos.

Mediante una iteración de cálculos en base a la cartografía digital y a las imágenes multiespectrales, se obtuvieron ecuaciones de regresión que establecen ajustes para cada una de las localidades evaluadas mediante vuelos no tripulados.

CALETA CAMARONES

Para Caleta Camarones la Tabla 21 muestra las evaluaciones directas de biomasa disponible en áreas de libre acceso, y de cálculos de estimación indirecta mediante iteraciones utilizando imágenes multiespectrales. Los mejores ajustes se establecen con iteraciones de evaluaciones indirectas mediante el método de existencias.

id	Cuadrante	Biomasa Directa (kg)	Biomasa M1 KG/metros cuadrado	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Método Existencias KG/metros cuadrado
41	9	9,96646733	0	0	0
36	4	11,120171	52,9148203	32,2176884	26,4574102
37	5	12,2611843	0	0	0
34	2	16,3505614	54,8400897	32,2176884	27,4200448
40	8	19,2501109	52,9148203	32,2176884	26,4574102
35	3	19,7192403	0	0	0
33	1	24,7044287	54,8400897	32,2176884	27,4200448
39	7	26,2140972	52,9148203	32,2176884	26,4574102
38	6	27,2013455	49,0338542	24,7081807	24,5169271

TABLA 21. Regresión de valores de biomasa evaluados directamente en Caleta Urco (kg m⁻²) y de iteración de valores obtenidos mediante imágenes multiespectrales (Método de Existencia).

Un análisis de regresión realizado con valores de biomasa disponible obtenidos mediante evaluación directa e iteraciones con valores de biomasa obtenidos mediante el Método de Existencia, muestra ajustes de 0,9431 (R²) (Fig. 63)

CALETA URCO

Para Caleta Urco las evaluaciones directas de biomasa disponible en áreas de libre acceso, y de cálculos de estimación indirecta utilizando imágenes multiespectrales. Los mejores ajustes se establecen con iteraciones de evaluaciones indirectas mediante el método de existencias (Tabla 22).

id	Cuadrante	Biomasa Directa (kg)	Biomasa M1 KG/metros cuadrado	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Método Existencias KG/metros cuadrado
30	10	1,23046995	0	0	0
25	5	1,94746531	17,1833204	12,3700005	3,5916602
32	12	2,25474459	17,1833204	12,3700005	4,5916602
22	2	3,04413536	0	0	0
24	4	5,30928649	15,5194386	12,3700005	7,75971932
26	6	6,50920926	15,5194386	12,3700005	8,75971932
29	9	6,6630615	35,2110293	32,2176884	17,6055146
31	11	6,76403364	0	0	0
21	1	8,15577685	0	0	0
27	7	8,99089918	35,2110293	32,2176884	10,6055146
23	3	10,21641	0	0	0
28	8	11,4363749	35,2110293	32,2176884	17,6055146

TABLA 22. Regresión de valores de biomasa evaluados directamente en Caleta Urco (kg m⁻²) y de iteración de valores obtenidos mediante imágenes multiespectrales (Método de Existencia).

Un análisis de regresión realizado con valores de biomasa disponible obtenidos mediante evaluación directa e iteraciones con valores de biomasa obtenidos mediante el Método de Existencia, muestra ajustes de 0,9821 (R^2) (Fig. 64).

PISAGUA

Para Pisagua las evaluaciones directas de biomasa disponible en áreas de libre acceso, y de cálculos de estimación indirecta utilizando imágenes multiespectrales. Los mejores ajustes se establecen con iteraciones de evaluaciones indirectas mediante el método de existencias (Tabla 23).

id	Cuadrante	Biomasa Directa (kg)	biomasa M1 KG/metros cuadrado	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Método Existencias KG/metros cuadrado
9	9	11,5743629	23,1837504	33,039109	11,5918752
19	9	13,2418607	26,4847632	12,3700005	13,2423816
10	10	13,296347	26,5974629	12,3700005	13,2987315
5	5	15,3543244	30,7183547	31,3849621	15,3591773
12	2	15,637143	34,2050929	18,9700445	17,1025464
7	7	19,7999386	49,03	24,71	24,52
13	3	21,8166421	47,1246283	12,3700005	23,5623142
18	8	23,1613571	56,4118485	12,3700005	28,2059242
1	1	26,1702582	63,1482285	18,4111767	31,5741143
6	6	27,061029	54,84	32,22	27,42
2	2	28,3927565	49,03	24,71	24,52
4	4	33,6279892	54,84	32,22	27,42
8	8	37,5955359	0,00	0,00	0,00

TABLA 23. Regresión de valores de biomasa evaluados directamente en Caleta Urco (kg m⁻²) y de iteración de valores obtenidos mediante imágenes multiespectrales (Método de Existencia).

Un análisis de regresión realizado con valores de biomasa disponible obtenidos mediante evaluación directa, e iteraciones con valores de biomasa obtenidos mediante el Método de Existencia, muestra ajustes de 0,9821 (R^2) (Fig. 65).

Aun cuando los ajustes entre evaluaciones directas y las calculadas mediante iteraciones de valores obtenidos desde imágenes multiespectrales tienen altos valores de correlación, es necesario seguir afinando los valores de ajustes y las ecuaciones para estimación indirecta. No obstante, estos altos valores de ajustes sugieren fuertemente la utilidad del uso de vuelos no tripulados.

Evaluaciones directas de la biomasa disponible y cosechable, en localidades representativas de actividades de cosecha y recolección de algas pardas de importancia comercial, pueden ser utilizadas como indicadores válidos para generar

extrapolaciones de la biomasa disponible y cosechable en áreas de mayor extensión. Utilizando herramientas computacionales como Google Earth, para estimar sustrato disponible para asentamiento y crecimiento de algas pardas intermareales y de canopia flotante (*Macrocystis*) y las estimaciones de estimaciones directas de la biomasa de algas pardas, puede ser también utilizado como una metodología de estimación mixta de la biomasa disponible y cosechable.

La detección de poblaciones submareales de *Lessonia trabeculata* por cámaras en drones, no constituye un buen método para su evaluación indirecta. Utilizando una aproximación metodológica similar, el uso de ROVs podría ser adecuado para evaluación indirecta de poblaciones submareales de recursos bentónicos.

4.6. *Objetivo específico 6: En función de los resultados del proyecto, revisar los planes de manejo regional (Regiones XV, I y II) de las especies objetivo.*

Los planes de manejo establecen para cada una de las regiones de estudio restricciones de recolección y cosecha. Para la Región de Arica y Parinacotas la normativa prohíbe la cosecha y la recolección de las tres especies de algas pardas de importancia comercial.

En Tarapacá, se prohíbe la cosecha por barroteo de *Lessonia berteroana* y *Lessonia trabeculata* y el sesgado de *Macrocystis* en toda la región, permitiendo solo la recolección de algas varadas hasta dos toneladas/pescador/mes. El recolector de orilla debe tener Registro de Pesca Artesanal (RPA) y tener declarado entre sus especies de interés a las algas pardas.

En la Región de Antofagasta, se prohíbe la cosecha de *Lessonia berteroana*, *Lessonia trabeculata* y el sesgado de *Macrocystis pyrifera*. La normativa autoriza la recolección de algas varadas hasta cinco toneladas/pescador/mes. El recolector de orilla debe tener Registro de Pesca Artesanal (RPA) y tener declarado entre sus especies de interés a las algas pardas.

Durante el desarrollo del proyecto FIP 2017-52 se detectó barreteo intenso y frecuente en todo el litoral entre Caleta Camarones (Arica y Parinacotas) y Cifuncho (Región de Antofagasta). Las recolecciones de alga varada superan las cantidades individuales permitidas por las normativas y existe alta informalidad en la identidad y legalidad de los recolectores de orilla.

Se observó una frecuente y permanente “inducción de mortalidad natural” en todo el litoral estudiado en función de desprender plantas de *Lessonia berteroana*, las que son recolectadas posteriormente como algas vardas.

Como consecuencia de una intensa actividad de recolección y la alta presencia de recolectores ilegales, se detecta la desaparición de varaderos históricos en áreas de libre acceso (ALAs). En este mismo contexto, y en un escenario de alta demanda de *Macrocystis pyrifera* y altos precios en playa, la reducción significativa de poblaciones intermareales y submareales someras de esta especie. *Macrocystis* está siendo cosechada con “arañas” que son traccionadas desde tierra con vehículos motorizados.

La fiscalización de las restricciones de recolección y cosecha en playa son escasas e ineficientes, condicionadas especialmente por la extensión y geomorfología de la costa norte de Chile. En este contexto, la fiscalización debería estar posicionada en plantas de transformación y en especial en los niveles de uso local y exportación de materia prima para la extracción de biomoléculas.

Los resultados de este estudio en relación a los niveles de humedad para cada fracción del proceso de transformación de algas pardas por especie/Región, puede ser utilizado para establecer cantidades máximas de cosecha (100% de humedad) y cantidades máximas de materia prima de uso interno o exportada (10% de humedad).

Los resultados de evaluaciones directas de la biomasa disponible y cosechable por especie y región, muestran que *Lessonia berteroana* y *Macrocystis pyrifera* están siendo fuertemente explotadas. Las poblaciones de *Lessonia berteroana* están formadas principalmente por plantas juveniles, se observa una reducción importante de plantas

adultas reproductivas. En este contexto indicadores pesqueros y demográficos sugieren fuertemente poblaciones sobreexplotadas con altas densidades de plantas y baja biomasa disponible y menor aun biomasa cosechable (plantas adultas > 20 cm diámetro basal de disco).

Considerando lo anterior y las normativas asociadas a los planes de manejo sectorial, la pesquería debería seguir cerrada en términos de cosecha por barroteo y establecer controles al final de la cadena productiva.

Considerando los actuales niveles de abundancia (densidad y biomasa) de *Lessonia berteroana* y de la composición demográfica de sus poblaciones, es relevante considerar medidas de mayor efectividad en el manejo y conservación de esta especie en áreas de libre acceso. Es importante considerar que *L. berteroana* contribuye en 70% de los desembarques de las regiones estudiadas. Los actuales planes de manejo regional para ALAs prohíben la cosecha mediante barroteo y restringen la recolección de algas varadas. Dada la difícil fiscalización de una largísima línea de costa entre Arica y Parinacotas hasta la región de Antofagasta, gran parte de baja accesibilidad, las restricciones de cosecha y recolección no están siendo efectivas. Prueba de lo anterior es el aumento de los desembarques, los cambios demográficos de las poblaciones, disminución de adultos reproductivos, desaparición de varaderos naturales, entre otros.

Considerando los resultados alcanzados en este proyecto, cuyo principal objetivo es la evaluación de la distribución y abundancia de algas pardas de importancia económica (*standing stock* y *standing crop*; lo disponible y lo cosechable), el ejecutor se reunió con el Comité de Recursos Bentónicos de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Valparaíso 2 agosto 2018) y la Dirección Zonal de la Subsecretaría de Pesca de las Regiones XV, I y II (Iquique 25 de octubre 2018). En ambas reuniones el Director del proyecto FIPA 2017-52 informó de los resultados del proyecto.

Los resultados sugieren urgentes medidas de conservación y regulación de la extracción y recolección de los recursos objetivos. Entre las medidas regulatorias se

contemplan: (1) vedas extractivas, (2) vedas biológicas, (3) fiscalización de plantas más que fiscalización de extractores, (5) regulación de exportaciones.

5. CONCLUSIONES

El cumplimiento de los objetivos específicos del Proyecto FIP 2017-52 se realizó en función de dos campañas de muestreo, distribuidas en la estación de primavera-verano 2017 y otoño-invierno 2018. Estas campañas dan cuenta de la distribución y abundancia del recurso algas pardas en las regiones de Arica y Parinacotas, Tarapacá y de Antofagasta.

1. Los muestreos evidencian ambientes costeros intermareales con poblaciones de *Lessonia berteroana* sometidas a intensa y frecuente cosecha y recolección. Esto a pesar de las restricciones impuestas por la Subsecretaría de Pesca, quien mediante Res. Exenta prohíbe la cosecha y limita la recolección de algas varadas.
2. Como consecuencia de lo anterior, las poblaciones están compuestas por individuos juveniles, carentes de estructuras reproductivas, lo que debiera impactar negativamente el reemplazo de los adultos que son permanentemente barreteados.
3. En general, las poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana* evidencian reclutamientos permanentes, en consecuencia las poblaciones están estructuradas en alta densidad de individuos juveniles, con poco aporte a la biomasa por unidad de área.
4. Llama la atención la desaparición casi absoluta del paleográstrópodo *Scurria scurra*, simbioente que ha sido sugerido como organismo indicador de baja intervención humana. En este contexto, se espera que poblaciones de *Lessonia berteroana* sin intervención de cosecha mantengan altas densidades de *Scurria*. La cosecha permanente, intensa y frecuente impide el reclutamiento y crecimiento de este molusco en discos y estipes de *Lessonia*.



5. Para *Lessonia berteroana*, los índices de demográficos sugeridos por Vega y colaboradores (2014), caracterizan poblaciones con intensa presión de extracción. Los índices demográficos sugieren cosechar solo cuando la biomasa disponible es superior al 30%, el número de esporofitos reclutas es menor al 5% y la biomasa disponible mayor a 25 kg m². En este contexto, en la mayoría de las localidades evaluadas, estos indicadores están bajo los niveles permisibles de cosecha.
6. Durante los muestreos no se detecto eventos de fiscalización en ninguna de las regiones y/o localidades de muestreo.
7. Existe un aumento significativo de recolectores de orilla ilegales, un porcentaje importante de estos corresponden a personas ajenas a la pesquería (migrantes, desempleados de la minería y construcción) que ven en la recolección de huiros su única fuente de sustento.
8. Aun cuando existe un evidente efecto de las cosechas ilegales en relación a la composición de las poblaciones intermareales de *Lessonia berteroana*, la cobertura de plantas es alta, no obstante, estas plantas corresponden a esporofitos juveniles que contribuyen poco a la biomasa cosechable.
9. Una de las consecuencias directas del aumento de recolectores, la baja fiscalización y el buen precio en playa de la materia prima para la extracción de alginatos, es la desaparición de los varaderos naturales de algas pardas. Los varaderos históricos han sido virtualmente invadidos por recolectores de orilla (legales e ilegales), quienes han cosntruido “rucos” para la recolección y venta permanente de algas pardas de las tres especies estudiadas. Esto a impedido la evaluación de la mortalidad natural (marcaje y recaptura), y la evaluación de las tasas de varado para cada una de las especies objetivo en las tres regiones de estudio.
10. Considerando la abundancia (biomasa y densidad) de *Lessonia berteroana*, existen diferencia entre áreas de libre acceso (ALA) y áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB). Las áres de libre acceso tienen mayor densidad



- de plantas (mayoritariamente juveniles) y menor biomasa que las áreas costeras bajo régimen de conservación AMERB.
11. Como consecuencia de la alta demanda por biomasa de algas pardas, las praderas intermareales de *Macrocystis pyrifera* y de distribución somera submareal hasta los 6-7 m de profundidad, están desapareciendo por cosecha directa con arañas lanzadas desde la costa.
 12. Para *Lessonia trabeculata* la distribución y abundancia de su densidad y biomasa, muestra poblaciones submareales con una alta disponibilidad (*Standing stock*) de plantas.
 13. La biomasa cosechable de *Lessonia trabeculata* (*Standing crop*) supera en las regiones en estudio el 50% de la biomasa disponible, generando grandes poblaciones en las tres regiones estudiadas.
 14. A diferencia de la presión de cosecha sobre las poblaciones intermareales, durante los muestreos de evaluación directa, no se detectó extracción de las poblaciones submareal de *Lessonia trabeculata*.
 15. La reducida presencia de *Macrocystis pyrifera* en toda el área de estudio se refleja además en la ausencia de varaderos naturales en las tres regiones estudiadas. La desaparición de varaderos históricos naturales de algas pardas es también resultado de la normativa de cosecha y recolección vigente para las regiones de Iquique y Antofagasta. Dada la prohibición de cosecha por barroteo, los pescadores orilleros están recolectando permanentemente las algas varadas a lo largo de todo el litoral del norte de Chile. El alto precio de algas en playa, el bajo precio del cobre que genera desempleo en la mediana y gran minería y la presencia de migrantes en la recolección ilegal, son eventos relevantes en la ausencia de varaderos de la mortalidad natural de algas pardas de importancia comercial.
 16. Los niveles de biomasa disponible y cosechable de *Lessonia berteroa* y *Macrocystis pyrifera*, sugieren mantener la prohibición de cosecha por barroteo y sesgado, y las restricciones de recolección de mortalidad natural.

17. No obstante el uso de drones para evaluación directa de poblaciones intermareales de alga pardas es una buena herramienta, los factores ambientales que condicionan la captura de imágenes son muy restrictivas. Entre estas: altura de marea, hora del día, dirección e intensidad de viento, luminosidad.
18. Dada la imposibilidad de mantener programas de fiscalización en el litoral de las regiones en estudio, se sugiere fiscalizaciones en plantas en función de los valores de deshidratación informados para *Lessonia berteroana*.
19. De igual manera se sugiere restringir los volúmenes de exportación de materia prima y de uso interno de *Lessonia berteroana* como materia prima para la extracción de alginatos.
20. Considerando los actuales niveles de abundancia (densidad y biomasa) de *Lessonia berteroana* y de la composición demográfica de sus poblaciones, es relevante considerar medidas de mayor efectividad en el manejo y conservación de esta especie en áreas de libre acceso.
21. Los resultados sugieren urgentes medidas de conservación y regulación de la extracción y recolección de los recursos objetivos. Entre las medidas regulatorias se contemplan: (1) vedas extractivas, (2) vedas biológicas, (3) fiscalización de plantas más que fiscalización de extractores, (5) regulación de exportaciones.
22. No obstante el evidente deterioro de las poblaciones naturales de algas pardas de importancia comercial producto de actividades de cosecha y recolección, las medidas de conservación y manejo deben ser consideradas en un escenario holístico, donde el impacto social debe ser altamente considerado.

7. COMPOSICION Y ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO PROFESIONAL Y TECNICO

7.1 Equipo profesional

7.2 Definición detalla de cargos y funciones

Nombre	Institución	Cargo en el proyecto	Funciones	Dedicación (horas hombre mensual)	\$/HH
Julio Vásquez	UCN	Director	Dirección, planificación y gestión de la propuesta. Manejo presupuestario, desarrollo, coordinación, informe. Planear, dirigir, controlar y ejecutar propuesta. Hacer que se cumplan las funciones administrativas y operativas. Hacer que los recursos económicos se utilicen de manera racional y eficiente de acuerdo al presupuesto. Autorizar los pagos de los compromisos adquiridos por el proyecto.	36	12.100
Fadia Tala	UCN	Director alterno	Reemplazar al director en la planificación y gestión de actividades y toma de decisiones	40	10.000
Alejandra Vargas	UCN	Coordinador General y encargada administrativa.	Coordinador de actividades y talleres de difusión, supervisor de monitores, apoyo en terreno y análisis de datos. Cumplir con los objetivos propuestos, tiempo y costos del proyecto. Planificar, coordinar, supervisar, monitorear y verificar que las actividades relacionadas con la planificación y formulación del proyecto estén de acuerdo a la programación. Elaborar diferentes informes de avances, requeridos	100	6.500

			por el Gobierno Regional, de las actividades planificadas en el proyecto.		
Jorge González	UCN	Análisis información histórica, planes de manejo, indicadores pesqueros	Diseminación de resultados a organizaciones de pescadores artesanales, análisis de datos y apoyo en terreno. Realizar informes técnicos.	90	6.500
Carolina Olivares	UCN	Muestreador terreno intermareal	Evaluación de la distribución, abundancia de biomasa disponible. Estimaciones de biomasa cosechable e indicadores biológicos	60	6.500
Tatiana Manzur	UCN	Análisis de información, muestreo de poblaciones intermareales y submareales	Evaluación de la distribución, abundancia de biomasa disponible. Estimaciones de biomasa cosechable e indicadores biológicos y variables oceanográficas.	60	6.500
Fernando González	UCN	Muestreador Terreno Submareal	Evaluación de la distribución, abundancia de biomasa disponible. Estimaciones de biomasa cosechable e indicadores biológicos.	60	6.500
Carlos Moraga	UCN	Muestreador Terreno Submareal	Evaluación de la distribución, abundancia de biomasa disponible. Estimaciones de biomasa cosechable e indicadores biológicos.	60	6.500
Claudio		Muestreador Terreno Submareal	Evaluación de la distribución, abundancia de biomasa disponible. Estimaciones de biomasa cosechable e indicadores biológicos.	60	6.500

Felipe Cabezas		Prof. Evaluación indirecta	Generación de modelo y análisis de imágenes, teledetección y SIG	60	8.300
NN		Especialista imágenes multiespectrales	Obtención de imágenes multiespectrales, mediante vehículo aéreo no tripulado, para posterior análisis.	60	6.500

9. BIBLIOGRAFIA

LITERATURA CONSULTADA

Informes Finales de los Proyectos FIPA en algas pardas, realizados durante los últimos 10 años entre los 18° y los 30° S, que incluyen las Región XV a la Región de Coquimbo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUARIO SERNAPESCA (2000-2014) Estadísticas pesqueras. República de Chile, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. <http://www.sernapesca.cl>.

Alveal K. Romo H. Avila M. 1982. Estudios del ciclo de vida de *Macrocystis pyrifera* de Isla Navarino, Chile. *Gayana Botanica* 39:1-12.

Alveal K. Romo H. Ávila M. 1973. Consideraciones ecológicas de las regiones de Valparaíso y de Magallanes. *Revista Biología Marina*. Valparaíso 15:1-29.

Buschmann A.H. Vásquez J.A. Osorio P. Reyes E. Filún L- Hernandez-González M. Vega J.M.L. 2004. The effect of water movement, temperature and salinity on abundance and reproductive patterns of *Macrocystis* spp (Phaeophyta) at different latitudes. *Marine Biology* 145:849-862.

Buschmann A.H. Moreno C. Vásquez J.A. Hernandez-Carmona M.C. 2006. Reproduction strategies of *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta) in southern Chile: the importance of population dynamics. *Journal of Applied Phycology* 18:575-582.

Camus P. A. 1990. Procesos regionales y fitogeografía en el Pacífico Suroriental: el efecto de. *Revista Chilena de Historia Natural* 63: 11-17.

Camus P. 1994a. Recruitment of the intertidal kelp *Lessonia nigrescens* Bory in northern Chile: successional constraints and opportunities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 184:171-81.

Camus P. 1994b. Dinámica geográfica en poblaciones de *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyta) en el norte de Chile: importancia de la extinción local durante eventos El Niño de gran intensidad. *Revista de investigación científica tecnológica. Serie Ciencias del Mar*. 3: 58-70.

Camus P. Vásquez E. González E. Gálaz L. 1994. Fenología espacial de la diversidad intermareal en el norte de Chile: patrones comunitarios de variación geográfica e

impacto de los procesos de extinción-recolonización post El Niño 82-83. *Medio Ambiente* 12(1):57-68.

Canales C. M. Hurtado C. Techeira C. 2018. "Implementing a model for data-poor fisheries based on steepness of the stock-recruitment relationship, natural mortality and local perception of population depletion. The case of the kelp *Lessonia berteroana* on coasts of north-central Chile." *Fisheries Research* 198. 31 - 42.

Cancino J, Santelices B. 1984. Importancia ecológica de los discos adhesivos de *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyta) en Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 56:23-33.

Castilla J.C. Camus P.A. 1992. The Humboldt-El Niño scenario: Coastal benthic resources and anthropogenic influences, with particular reference to the 1982/83 ENSO. In: A.I.L. Payne, K.H. Brink, K.H. Mann and R. Hilborn (eds.). *Benguela trophic functioning*, S. Afr. *Journal Marine Sciencie*. 12: 703-12.

Correa J.A. Lagos N. Medina M. Castilla J.C. Cerda M. Ramírez M. Martínez E. Faugeton S. Andrade S. Pinto R. Contreras L. 2006. Experimental transplants of the large kelp *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae) in high-energy wave exposed rocky intertidal habitats of northern Chile: experimental, restoration and management applications. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 335:13-18.

Dayton P.K. 1972. Toward an understanding of community resilience and the potential effects of enrichments to the benthos at McMurdo Sound, Antarctica. In: Parker BC (ed) *Proceedings of the Colloquium on Conservation Problems in Antarctica*. Allen Press, Virginia, pp 81-95.

Demes K. Graham M.H. Suskiewicz T. 2009. Phenotypic plasticity reconciles incongruous molecular and morphological taxonomies: giant kelp, *Macrocystis* (Laminariales, Phaeophyceae), is a monospecific genus. *Journal of Phycology* 45:1266-1269.

Edding M. Tala F. 1998. Investigación y Manejo para la Extracción de Huiros, III Región. Código BIP 20109880. Gobierno Regional de Atacama. Servicio Nacional de Pesca de Atacama. Universidad Católica del Norte. 197 pp.

Edding M. Venegas M. Orrego O. Fonck E. 1990. Culture and growth of *Lessonia trabeculata* (Phaeophyta, Laminariales) juvenile sporophytes in La Herradura de Guayacán Bay, northern Chile. *Hydrobiologia* 204/205: 361-366.

Edding M, Fonck E, Macchiavello J. 1994. *Lessonia*. In: Akatsuka I (ed) *Biology of economic algae*. SPB Publishing, The Hague, pp 407-446.

González, J. Tapia C. Wilson A. Garrido J. Ávila M. 2002. Estrategias de explotación sostenible algas pardas zona norte de Chile. Informe final: FIP 2000-19. Instituto Fomento Pesquero. Valparaíso. 376 pp.

González, J. Ortiz M. Berrios F. Muñoz L. 2011. Pesquería de algas pardas en la II Región de Antofagasta. Pesca de Investigación 2009 – 2010. Informe Final. Universidad de Antofagasta 33 pp.

González J. Ortiz M. 2012. Diseño, operación y asesoría al Plan de Manejo de algas pardas, II Región de Antofagasta”. Universidad de Antofagasta, Chile. 67 pp.

González J. Ortiz M. Avendaño M. Cantillanez M. 2012a. Estudio del manejo, cultivo y repoblamiento del recurso algas pardas en la Región de Antofagasta”. Universidad de Antofagasta, Chile. 114 pp.

González A.V. Beltrán J. Hiriart-Bertrand L. Flores V. de Reviers B. Correa J.A, Santelices B. 2012b. Identification of cryptic species in the *Lessonia nigrescens* complex (Phaeophyceae, Laminariales). *Journal of Phycology* 48:1153–1165.

Gutierrez A. Correa T. Muñoz V. Santibañez A. Marcos R, Cáceres C, Buschmann A.H. 2006. Farming of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in southern Chile for development of novel food products. *Journal of Applied Phycology* 18:259–267.

Hilbort R.J. Walter C. 1999. Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics and uncertainty. Chapman & Hall, New York, London. 570 pp.

Hoffmann A. Santelices B. 1997. Flora marina de Chile central. Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile. 432 p.

Jones C.G. Lawton H. Shachak M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69, 373–386.

Krumhansl K. A. Okamoto D. K. Rassweiler A. Novak M. Bolton J. J. Cavanaugh K. C. & Micheli F. 2016. Global patterns of kelp forest change over the past half-century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(48), 13785-13790.

Leinfelder U. Brunnenmeier F. Cramer H. Schiller J. Arnold K. Vasquez J.A. Zimmermann A. 2003. A highly sensitive cell assay for validation of purification regime of alginates. *Biomaterials* 24: 4161-4172.

Macaya, E. C. Zuccarello G. C. 2010. DNA barcoding and genetic divergence in the giant kelp *Macrocystis* (Laminariales). *Journal of Phycology*, 46(4), 736-742.

Martínez E. A. Cárdenas L. Pinto. R. 2003. Recovery and genetic diversity of the intertidal kelp *Lessonia nigrescens* (phaeophyceae) 20 years after El Niño 1982/831. *Journal of Phycology*, 39(3), 504-508.

Ojeda F. P. Santelices B. 1984. Invertebrate communities in holdfasts of the kelp *Macrocystis pyrifera* from southern Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 65-73.

Oróstica M.H. Aguilera M.A. Donoso G.A. Vásquez J.A. Broitman B.R. 2014. Effect of grazing on distribution and recovery of harvested stands of *Lessonia berteroa* kelp in northern Chile. *Marine Ecology Progress Series* 511: 71-82.

Ortiz M. 2003. Qualitative modelling of the kelp forest of *Lessonia nigrescens* Bory (Laminariales: Phaeophyta) in eulittoral marine ecosystems of the south-east Pacific: an approach to management plan assessment. *Aquaculture* 220: 423-436.

Ortiz M. 2008. Mass balanced and dynamic simulations of trophic models of kelp ecosystems near the Mejillones Peninsula of northern Chile (SE Pacific): Comparative network structure and assessment of harvest strategies. *Ecological Modelling* 216: 31-46.

Ortiz M. 2010. Dynamic and spatial models of kelp forest of *Macrocystis pyrifera* and *Lessonia trabeculata* (SE Pacific) for assessment harvest scenarios: short-term responses. *Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems*. 20: 494-506.

Ortiz M. Stotz W. 2007. Ecological and eco-social models for the introduction of the abalone *Haliotis discus hannai* into benthic systems of north-central Chile: sustainability assessment. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* 17: 89-105.

Palta E. Tapia C. Araya A. 2011. Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2010. Actividad 6: Seguimiento económico de las principales pesquerías nacionales, 2010. Instituto de Fomento Pesquero – IFOP. Informe Complementario al Informe Final. 60 pp + Anexos.

Pizarro P., C. Merino, D. Contreras, M. Tobar, J. Gallardo y A. Castañeda. 2014. Seguimiento biológico pesquero y evaluación económica, como insumo para plan de manejo de la pesquería de algas pardas II región, 2013-2014. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Informe final 174 p

Santelices B. 1989. Algas Marinas de Chile. Distribución, Ecología Utilización y Diversidad. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 399 pp.

Santelices B. Lopehandía J. 1981. Chilean seaweeds resources: a quantitative review of potential and present utilization. 10th Proc Int Seaweed Symp: 725-73.

Santelices B. Ojeda F.P. 1984a. Recruitment, growth and survival of *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta) at various tidal levels in exposed habitats of central Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 73-82.

Santelices B. Ojeda F.P. 1984b. Effects of canopy removal on the understory algal community structure of coastal forests of *Macrocystis pyrifera* from southern South America. *Marine Ecology Progress Series* 14:165–17.

Santelices B. 1981. Perspectivas de investigación en estructura y dinámica de comunidades intermareales rocosas de Chile central. I. Cinturones de macroalgas. *Medio Ambiente* 5:175-189. Santelices B. 1982. Bases Biológicas para el manejo de *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta, Laminariales) en Chile Central. *Monografías Biológicas* 2:135–150.

Santelices B. Castilla J.C. Cancino J. Schmiede P. 1980. Comparative ecology of *Lessonia nigrescens* and *Durvillaea antarctica* (Phaeophyta) in central Chile. *Marine Biology* 59(2): 119-132.

Santelices B. 1990. Patterns of reproduction, dispersal and recruitment in the seaweed. *Oceanography and Marine Biology and Annual Review* 28: 177-276.

Seijo J.C., O. Defeo & S. Salas. 1997. Bioeconomía pesquera: teoría, modelación y manejo. FAO, Doc. Téc. Pesca 368. 176 pp.

SERNAPESCA. 2000 - 2016. Anuario Estadístico de Pesca (1985–2006) Servicio Nacional de Pesca, Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción, Gobierno de Chile.

Tala F. Edding M. Vásquez J.A. 2004. Aspects of reproductive phenology of *Lessonia trabeculata* (Laminariales, Phaeophyceae) from three populations in northern Chile. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 38: 255 – 266.

Tala F. Edding M. 2005. Growth and loss of distal tissue in blades of *Lessonia nigrescens* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales). *Aquatic Botany* 82:39-54.

Tala F. Edding M. 2007. First estimates of productivity in *Lessonia trabeculata* and *Lessonia nigrescens* (Phaeophyceae, Laminariales) from the southeast Pacific. *Phycological Research*, 55(1), 66-79.

Tellier F. Meynard A.P. Correa J. A. Faugeton S. Valero M. 2009. Phylogeographic analyses of the 30°S south-east Pacific biogeographic transition zone establish the occurrence of a sharp genetic discontinuity in the kelp *Lessonia nigrescens*: Vicariance or parapatry?. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 53(3), 679-693.

Tellier F. Vega J.M.A. Broitman B.R. Vasquez J.A. Valero M. Faugeron S. 2011. The importance of having two species instead of one in kelp management: the *Lessonia nigrescens* species complex. *Cahiers de Biologie Marine* 52(4): 455-465.

Thiel M, EC Macaya, E Acuña, W Arntz, H Bastias, K Brokordt, P Camus, JC Castilla, L Castro, M Cortés, C Dumont, R Escribano, M Fernández, DA Lancellotti, JA Gajardo, CF Gaymer, I Gómez, AE González, HE Gonzalez, P Haye, JE Illanes, JL Iriarte, G Luna-Jorquera, C Luxoro, PH Manríquez, V Marín, P Muñoz, SA Navarrete, E Pérez, E Poulin, J Sellanes, A Sepúlveda, W Stotz, F Tala, A Thomas, CA Vargas, JA Vásquez & JMA Vega. 2007. The Humboldt Current System of northern central Chile - Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 45: 195-345.

Thomas F., Gonzalo O. M. Espíndola, D. Gutiérrez, A. Vega, V. Gudiño, E. Pérez G. Rojas 2016. Evaluación directa de macroalgas/impacto de la extracción sobre la comunidad bentónica, III Región. Informe Final FIP N° 2014-17. ECOS. Estudios Ecológicos y Estudios Pesqueros. 253 pp.

Vásquez J.A. 1990. Comunidades submareales dominadas por macroalgas. *Revista Chilena de Historia Natural* 63: 129-130.

Vásquez J.A. 1991. Variables morfométricas y relaciones morfológicas de *Lessonia trabeculata* en una población submareal del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 64: 271-279.

Vásquez J.A. 1992. *Lessonia trabeculata*, a subtidal bottom kelp in northern Chile: a case of study for a structural and geographical comparison. In: U. Seeliger (Ed.), *Coastal Plant Communities of Latin America*. Academic Press Inc., San Diego: 77-89.

Vásquez J.A. 1993a. Patrones de distribución de poblaciones submareales de *Lessonia trabeculata* (Laminariales, Phaeophyta) en el norte de Chile. *SERIE OCASIONAL Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte* 2, pp 187-211.

Vásquez J.A. 1993b. Natural mortality of giant kelp *Macrocystis pyrifera* affecting the fauna associated with its holdfasts. *Pacific Science* 47:180-184.

Vásquez J.A. 1995. Ecological effects of brown seaweed harvesting. *Botanica Marina* 38: 251-257.

Vásquez J.A. 1999. The effects of harvesting of brown seaweeds: a social, ecological and economical important resource. *World Aquaculture* 30: 19-22.

Vásquez J. A. 2004a. Evaluación de la biomasa de Algas Pardas (Huiros) en la costa de la III y IV Región, norte de Chile. Informe Final Pesca de Investigación. Comité de productores de algas marinas (COPRAM) de la sociedad nacional de pesca (SONAPESCA).

Vásquez J. A. 2004b. Informe Final Pesca de Investigación –Evaluación de la biomasa de algas pardas (Huiros) en la costa de la III y IV Región, norte de Chile. Universidad Católica del Norte.

Vásquez J.A. 2006. Distribución y abundancia de algas pardas en el Área Marina y Costera Protegida Isla Grande de Atacama, III Región.

Vásquez J. A. 2007. Informe Pesca de Investigación –Caracterización de la pesquería de algas pardas de las regiones I-IV 2005-2007. Universidad Católica del Norte.

Vásquez J. A. 2008. Production, use and fate of Chilean brown seaweeds: resources for a sustainable fishery. *Journal of Applied Phycology*, 20(5), 457.

Vásquez J.A. 2009. Estudio de investigación de poblaciones y de las condiciones de viabilidad ecológica de las actividades extractivas de algas pardas e invertebrados en la zona costera sur, en apoyo a la investigación y desarrollo del Instituto del mar del Perú (IMARPE). Informe Final ICON-Institut GMBH Private Sector. 90 pp.

Vásquez J.A. 2013. Implementación de un sistema piloto de auto-atención electrónica, para la acreditación de origen de recursos pesqueros. Informe Final Proyecto 11BPC 10060. INNOVA-CORFO Chile. 125 pp.

Vásquez J. A. 2016. The Brown Seaweeds Fishery in Chile. In *Fisheries and Aquaculture in the Modern World*. InTech.

Vásquez J.A. Santelices B. 1984. Comunidades de macroinvertebrados en discos adhesivos de *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyta) en Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 57:131-154.

Vasquez J.A. Santelices B. 1990. Ecological effects of harvesting *Lessonia* (Laminariales, Phaeophyta) in central Chile. *Hidrobiologia* 204/205: 41–47.

Vasquez J.A. Westermeier R. 1993. Limiting factors in optimizing seaweed yield in Chile. *Hydrobiologia* 260/261: 180-187.

Vásquez J.A. Fonck E. 1993. Algas productoras de ácido algínico en Sudamérica: diagnóstico y proyecciones. In: Documento de Campo No 13 Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe. FAO- ITALIA. Programa Cooperativo Gubernamental, pp 17–26

Vásquez J.A. González J. 1995. Métodos de evaluación de macroalgas submareales. In: *Manual de métodos ficológicos* K. Alveal, M.E. Ferrario, E.C. Oliveira y E. Sar (eds.). Universidad de Concepción, Concepción. Chile. 643-666 pp.

- Vásquez J.A. Tala F. 1995. Experimental repopulation of *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta, Laminariales) in intertidal areas of northern Chile. *Journal of Applied Phycology* 7: 347–349.
- Vásquez J.A. Buschmann A. 1997. Herbivory-kelp interactions in subtidal Chilean communities: a review. *Revista Chilena de Historia Natural* 70:41-52.
- Vásquez J.A. Pardo L.M. Veliz D. 2001a. Vida bajo las grandes algas. In: K Alveal & T Antezana (eds). *Sustentabilidad de la Biodiversidad. Un problema actual: Bases científico técnicas, teorizaciones y proyecciones*. Universidad de Concepción. Chile. 351-365.
- Vásquez J.A. Véliz D. Pardo L. M. 2001b. Biodiversidad bajo las grandes algas. In: Alveal K, Antezana T (eds) *Sustentabilidad de la biosiversidad. Un problema actual, bases científico-técnicas, teorizaciones y perspectivas*. Universidad de Concepción-Concepción, pp 293–308.
- Vásquez J.A. Vega J.M.A. 2004. El Niño 1997–1998 en el norte de Chile: Efectos en la estructura y en la organización de comunidades submareales dominadas por algas pardas. In Avaria S, Carrasco J, Rutland J, Yañez E (eds.), *El Niño-La Niña 1997-2000 y sus efectos en Chile* Comité Oceanográfico Nacional, Chile, 119–135.
- Vásquez J.A. Vega J.M.A. Buschmann A.H. 2006. Long term studies on El Niño-La Niña in northern Chile: effects on the structure and organization of subtidal kelp assemblages. *Journal of Applied Phycology* 18:505–519.
- Vásquez J.A. Vega J.M.A. Buschmann A.H. 2006. Long term variability in the structure of kelp communities in northern Chile and the 1997-98 ENSO. *Journal of Applied Phycology* 18: 505-519.
- Vásquez J.A. Tala F. Vega J.M.A. Edding M. Guerrero M. Piaget N. Bodini A. Rojas R. Yañez D. Valera R. Bastías H. Díaz F. Miranda L. Araya A. 2008. Bases ecológicas y evaluación de usos alternativos para el manejo de praderas de algas pardas de la III y IV regiones. Informe final FIP2005-22. 282pp.
- Vásquez J., F. Tala, A Vega, M. Edding, A.M Guerrero, N. Piaget. 2008. “Diagnóstico biológico pesquero del recurso algas pardas en la V y VI región, bases para la formulación de un plan de administración”. Informe final proyecto FIP N° 2006-25. 117 pp.
- Vásquez J.A. Piaget N. Tala F. Vega J.M.A. 2010. “Evaluación de la biomasa de praderas naturales y prospección de potenciales lugares de repoblamiento de algas pardas en la costa de la XV, I y II regiones. FIP 2008 – 38. 160 pp.
- Vásquez J. A. Piaget N. Vega, J. A. 2012. The *Lessonia nigrescens* fishery in northern Chile: “how you harvest is more important than how much you harvest”. *Journal of applied phycology*, 24(3), 417-426.

Vásquez J.A. Zuñiga S. Tala F. Piaget N. Rodriguez D.C. Vega J.M.A. 2014. Economic evaluation of kelp forest in northern Chile: values of good and service of the ecosystem. *Journal of Applied Phycology* 26:1081–1088.

Vega J.M.A. 2005. Dinámica poblacional de *Macrocystis integrifolia* (Laminariales, Phaeophyta) en el norte de Chile. Tesis Universidad Católica del Norte. Facultad de Ciencias del Mar. 211 pp.

Vega J.M.A. Vásquez J.A. Buschmann A.H. 2005. Population biology of the subtidal kelps *Macrocystis integrifolia* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales, Phaeophyceae) in an upwelling ecosystem of northern Chile: Interannual variability and El Niño 1997-98. *Revista Chilena de Historia Natural*. 78: 33-50.

Vega J.M.A. Broitman B.R. Vásquez J.A. 2014. Monitoring the sustainability of *Lessonia nigrescens* (Laminariales, Phaeophyceae) in northern Chile under strong harvest pressure. *Journal of Applied Phycology* 26(2): 791-801.

Vega J.M.A. Asorey C.M. Piaget N. 2016. Scurria-*Lessonia* association as an indicator of ecological integrity in exploited kelp beds of *Lessonia berteroa* (ex *L.nigrescens*) in northern Chile. *Rev. Biol. Mar. Ocean*. 51 (2), 337–345.

Venegas M. Tala F. Fonck E. Vásquez J.A. 1992. Sporangial sori on stipes of *Lessonia nigrescens* Bory (Laminariaceae, Phaeophyta): a high frequency phenomenon in intertidal populations of northern Chile. *Botanica Marina* 35:573–578.

Villegas M.J. LAUDIEN J. Sielfeld W. 2008. *Macrocystis integrifolia* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales; Phaeophyceae) kelp habitat structures and associated macrobenthic community off northern Chile. *Helgoland Marine Research* 62: S33-S43.

Villouta E. Santelices B. 1984. Estructura de la comunidad submareal de *Lessonia* (Phaeophyta, Laminariales) en Chile norte y central. *Revista Chilena de Historia Natural* 57:111–122.

Villouta E. Santelices B. 1986. *Lessonia trabeculata* sp. Nov. (Laminariales: Phaeophyta), a new kelp from Chile. *Phycologia* 25:81–86.

Westermeier R. Muller D.G. Gomez I. Rivera P. Wenzel H.1994. Population biology of *Durvillaea antarctica* and *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta) on the rocky shores of southern Chile. *Marine Ecology Progress Series* 110: 187-194.

Westermeier R. Patiño D. Piel M.I. Maier I. Mueller D.G. 2006. A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedlings from

gametophyte cultures of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis pyrifera*. *Aquaculture Research* 37:164–171.

Westermeier R. Patino D. Muller D.G. 2007. Sexual compatibility and hybrid formation between the giant kelp species *Macrocystis pyrifera* and *M. integrifolia* (Laminariales, Phaeophyceae) in Chile. *Journal of Applied Phycology* 19: 215-221.

Westermeier R. Murúa P. Patiño D.J. Muñoz L, Atero C. Müller D.G. 2014. Repopulation techniques for *Macrocystis integrifolia* (Phaeophyceae: Laminariales) in Atacama, Chile. *Journal of Applied Phycology*. 26:511–518.

Zimmermann U. Leinfelder U. Hillgartner M. Manz B. Zimmerman H. Brunmeier R. Weber M. Vásquez J.A. Volke F. Hendrich C. 2003. Homogenously cross-linked Scaffolds based on clinical-grade alginates for transplantations and tissue engineering. In: *Tissue Engineering and Immunoisolated Transplantation*. Hoffmann M, Kaplan D, Zimmermann H. (eds). Academic Press: 77-86.

Zúñiga-Jara S. Tala F. Vega A. Piaget N. Vásquez J.A. 2009. Valor económico de los bosques de algas pardas en las costas de la III y IV Región de Chile. *Gestión Ambiental* 18:63–86

9. ANEXOS

ANEXO 1: EVALUACIÓN INDIRECTA USO DE VUELOS NO TRIPULADOS

INFORME 1

Evaluación Indirecta uso de vuelos no tripulados

1. Tipos y modelos de Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Considerando las características geomorfológicas y climáticas de los sitios de estudio se utilizaron cuadricópteros, así las imágenes tomadas a baja altura resultan con menor interferencia en vibración y son menos sensibles a condiciones de viento ascendente. También, se estimó relevante emplear tecnología utilizada en agricultura de alta precisión y de estimaciones de biomasa forestal.

PHANTOM 4 PRO



AERONAVE

Peso (batería y hélices incluidas) 1 388 g

Tamaño diagonal (sin hélices) 350 mm

Velocidad de ascenso máx. Modo-S: 6 m/s (19.7 ft/s)

Modo-P: 5 m/s (16.4 ft/s)

Velocidad máx. 72 km/h (45 mph) (modo-S)

58 km/h (36 mph) (modo-A)

50 km/h (31 mph) (modo-P)

Ángulo de inclinación máx. 42° (Modo-S)

35° (Modo-A)

25° (Modo-P)

Velocidad angular máx. 250°/s (Modo-S)

150°/s (Modo-A)

Altura máx. de servicio sobre el nivel del mar 6 000 m (19 685 pies)

Resistencia al viento máx. 10 m/s

INSPIRE 1 PRO/RAW



AIRCRAFT

Model T600

Weight 3400 g (batería y hélices incluidas)

Max Takeoff Weight 3500 g

Hovering Accuracy (P Mode) Vertical: 0.5 m

Horizontal: 2.5 m

Max Angular Velocity Pitch: 300°/s

Yaw: 150°/s

Max Tilt Angle 35°

Max Ascent Speed 5 m/s

Max Descent Speed 4 m/s

Max Speed 18 m/s (ATTI mode, no wind)

Max Service Ceiling Above Sea Level 4,500 m

Max Wind Speed Resistance 10 m/s

2. TIPOS DE SENSORES (CÁMARAS)

Los UAV fueron equipados con dos tipos de cámara: una RGB (Rojo, Verde, Azul) y una cámara NDVI, para obtener imágenes para fotogrametría de cada sitio, contrastando parámetros y valores de ambas cámaras. Las imágenes son obtenidas con ambas cámaras (sensores), lo que permite la construcción de orto imágenes.

La cámara NDVI utilizada, se ocupa para la detección de vegetación en forma remota Green-Red-NIR 800-900nm, graba video 4K a 30FPS o video 1080P a 60FPS, es capaz de producir imágenes fijas de 12 megapíxeles con un lente: 9 elementos en 9 grupos, incluyendo un elemento esférico. Está dotada de un Sensor CMOS de 1 / 2.3 pulgadas, FOV de gran angular 94°, Rango completo de 360°, brindando libertad ilimitada. Esta cámara provee imágenes para fotogrametría con los espectros de banda NDVI vegetativo. Para contrastar información y realizar cuadratura, se utiliza una cámara RGB, rediseñada para usar con un sensor Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) de 1 pulgada y 20 megapíxeles. Este sensor es una lente diseñada a medida compuesta por ocho elementos, organizada en siete grupos, y corresponde a una DJI que utiliza obturador mecánico, eliminando la distorsión que cuando se toman imágenes de objetos en movimiento o se vuela a alta velocidad.

Las características fundamentales de ambas cámaras (sensores) radican en que son aerotransportadas y configuradas en forma remota para la fotogrametría, permitiendo pre-programar las variables de vuelo y de toma de imágenes.

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS VUELOS

Se realizó fotogrametría en los distintos tipos de sitios de estudio, configuramos la metodología aeronáutica en forma idéntica para cada uno de los vuelos, basándonos en el análisis de terreno y características de vuelo como son la altura, viento y orientación del viento, para obtener la mejor resolución de imágenes.

- Camarones
- Camarones NDVI



- Pisagua Norte
- Pisagua Sur
- Urco
- Urco NDVI
- *Macrocystis pyrifera*

Característica de los vuelos:

Camaronas	
Fecha vuelo	30/03/2018
Área cubierta	404505 metros cuadrados
Altura vuelo	75 metros
Duración vuelo	47 minutos
Cantidad de vuelos	14
Cantidad de cámaras	2

Pisagua Norte	
Fecha vuelo	30/02/2018
Área cubierta	2640000 metros cuadrados
Altura vuelo	100 metros
Duración vuelo	40 minutos
Cantidad de vuelos	6
Cantidad de cámaras	2



Pisagua sur	
Fecha vuelo	30/02/2018
Área cubierta	6780000 metros cuadrados
Altura vuelo	100 metros
Duración vuelo	40 minutos
Cantidad de vuelos	6
Cantidad de cámaras	2

Urco	
Fecha vuelo	29/03/2018
Área cubierta	737347 metros cuadrados
Altura vuelo	75 metros
Duración vuelo	50 minutos
Cantidad de vuelos	6
Cantidad de cámaras	2

Caleta Camarones



Figura 1.-Relacion espacial configuracion fotogrametria

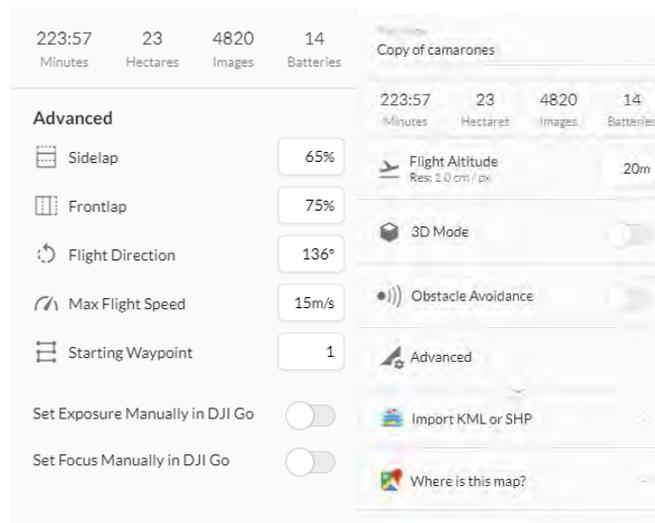


Figura 2.- Configuracion fotogrametria

Caleta Pisagua

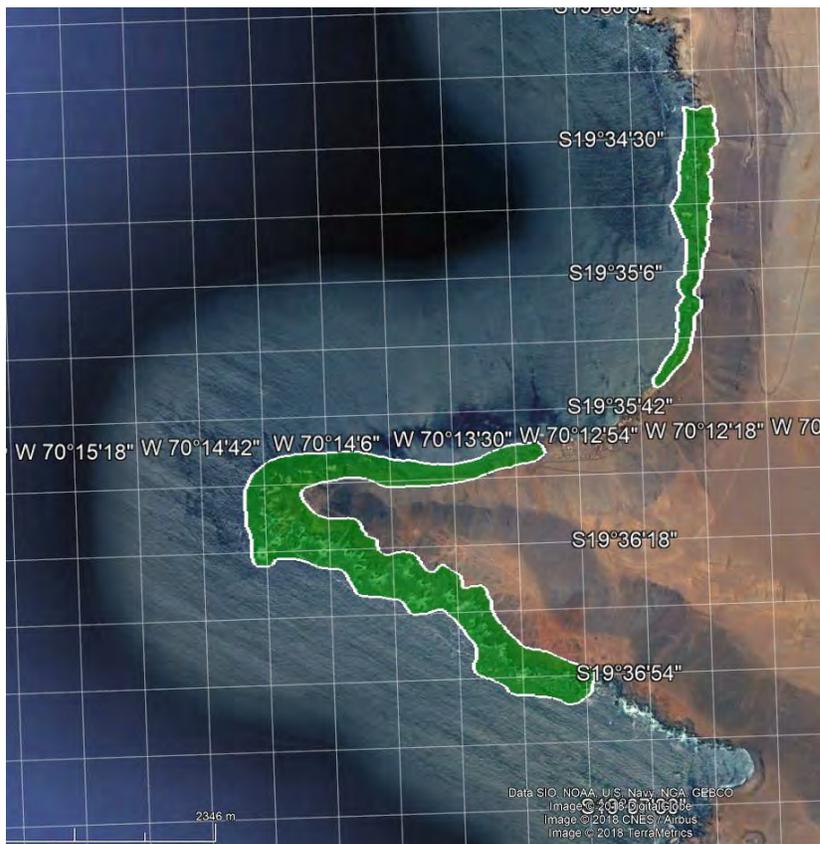


Figura 3.- Relacion espacial configuracion fotogrametria

Caleta Urco



Figura 4.- Relacion espacial configuracion fotogrametria

Resultados Fotogrametría por Caleta

- Camarones RGB

Resultado Fotogrametría Orto Imagen Corregida:

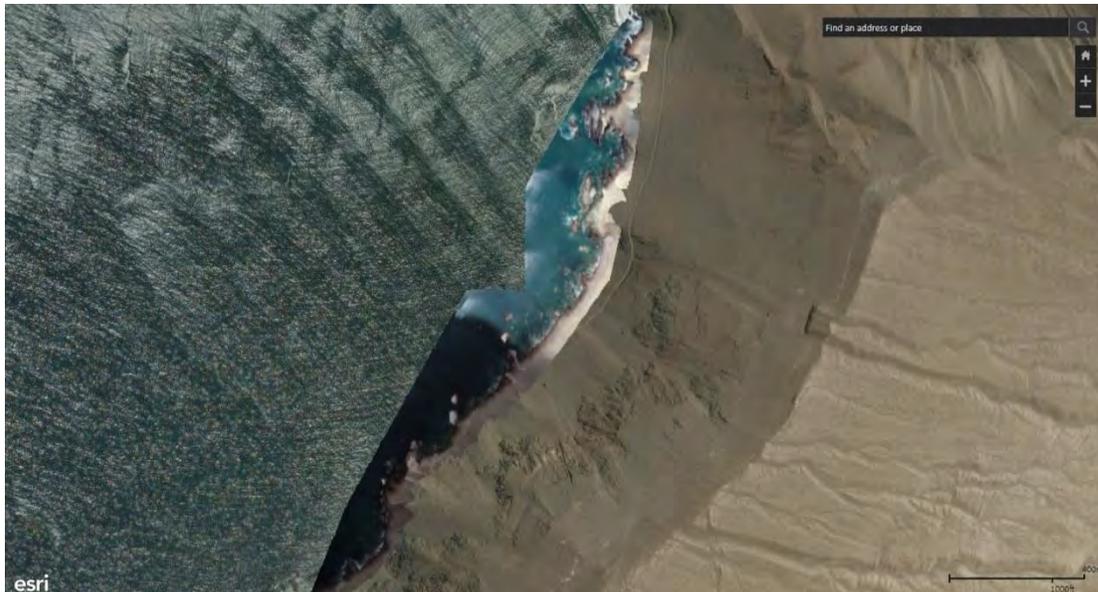


Figura 5.- Resultado Fotogrametría Camarones RGB



Figura 6.- Resultado Fotogrametria Camarones RGB

Fotogrametria Con contorno:

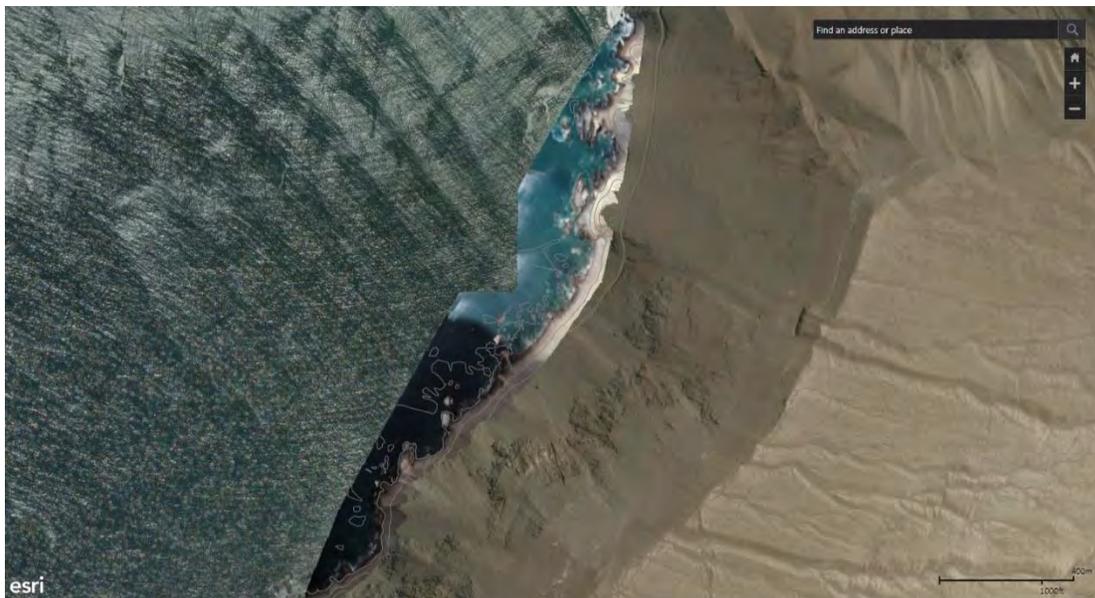


Figura 7.- Resultado Fotogrametria Camarones RGB



Figura 8.- Resultado Fotogrametria Camarones RGB

NDVI sobre RGB:

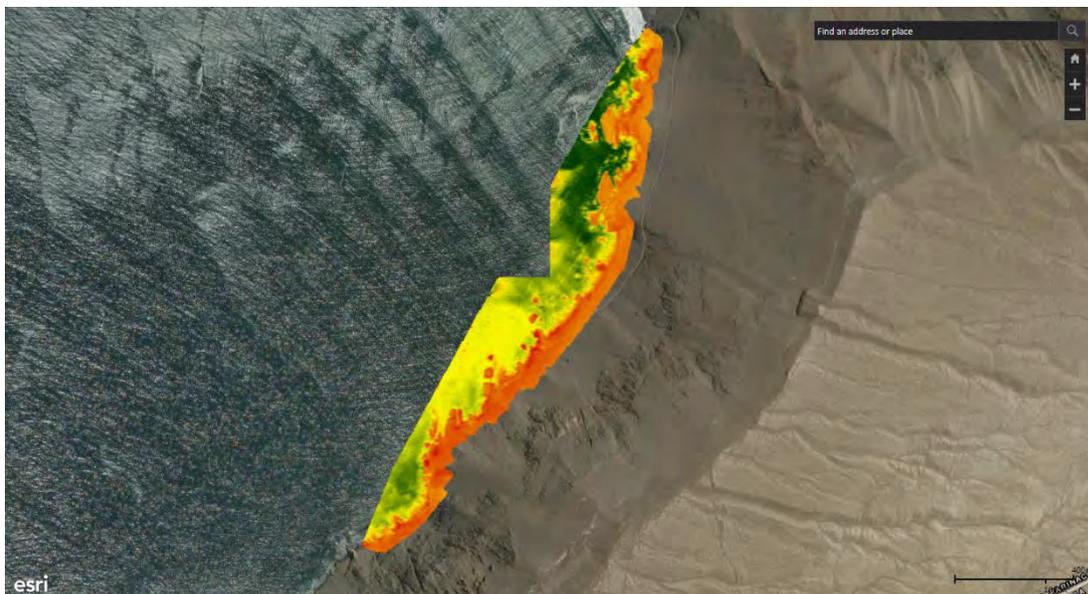


Figura 9.- Resultado Fotogrametria Camarones RGB

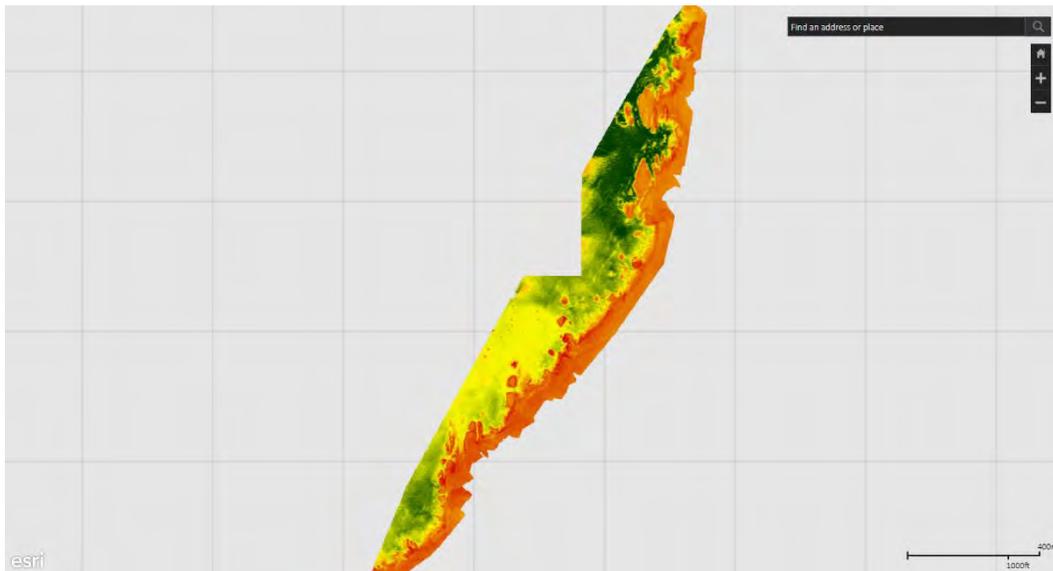


Figura 10.- Resultado Fotogrametria Camarones RGB

DTM:



Figura 11.- Resultado Fotogrametria Camarones RGB



Figura 12.- Resultado Fotogrametria Camarones RGB

DSM:



Figura 13.- Resultado Fotogrametria Camarones RGB

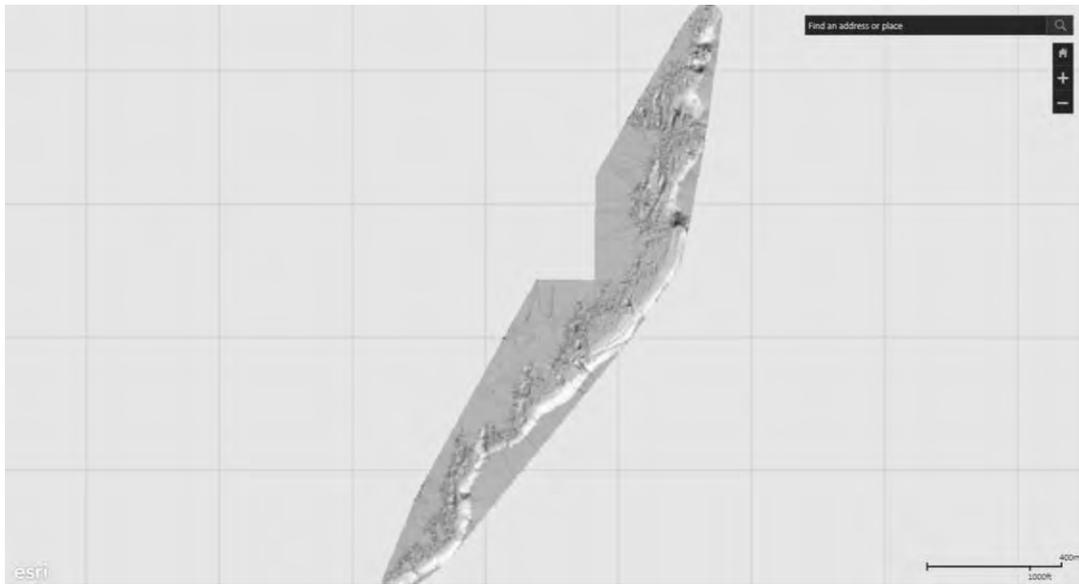


Figura 14.- Resultado Fotogrametria Camarones RGB

➤ Camarones NDVI

Resultado Fotogrametria Orto Imagen Corregida :



Figura 15.- Resultado Fotogrametria Camarones NDVI



Figura 16.- Resultado Fotogrametria Camarones NDVI

Fotogrametria Con contorno:



Figura 17.- Resultado Fotogrametria Camarones NDVI



Figura 18.- Resultado Fotogrametria Camarones NDVI

DTM:



Figura 19.- Resultado Fotogrametria Camarones NDVI

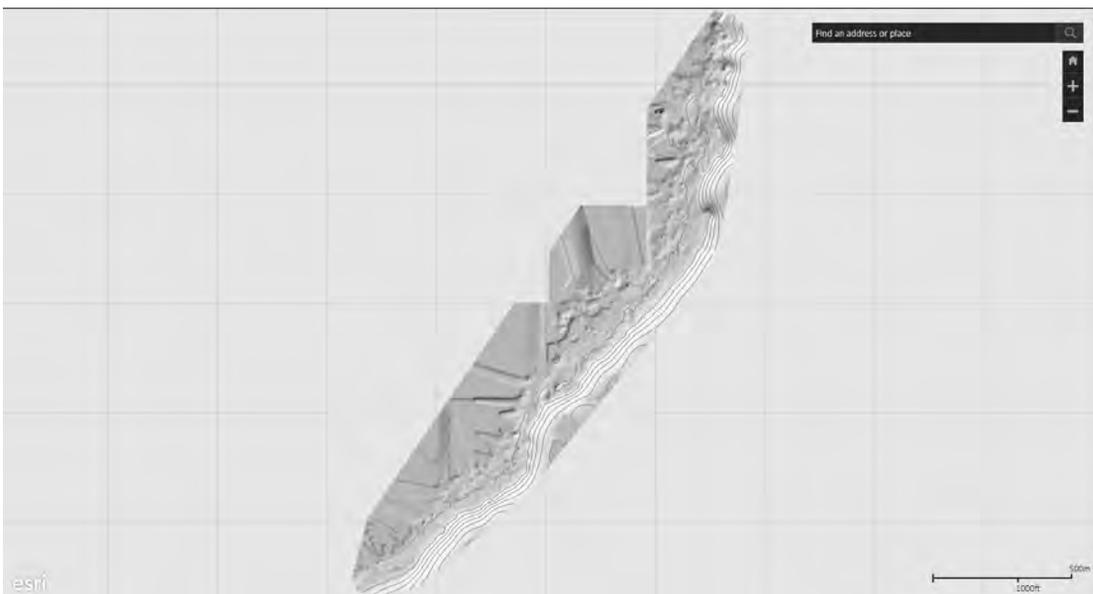


Figura 20.- Resultado Fotogrametria Camarones NDVI

DSM:



Figura 21.- Resultado Fotogrametria Camarones NDVI

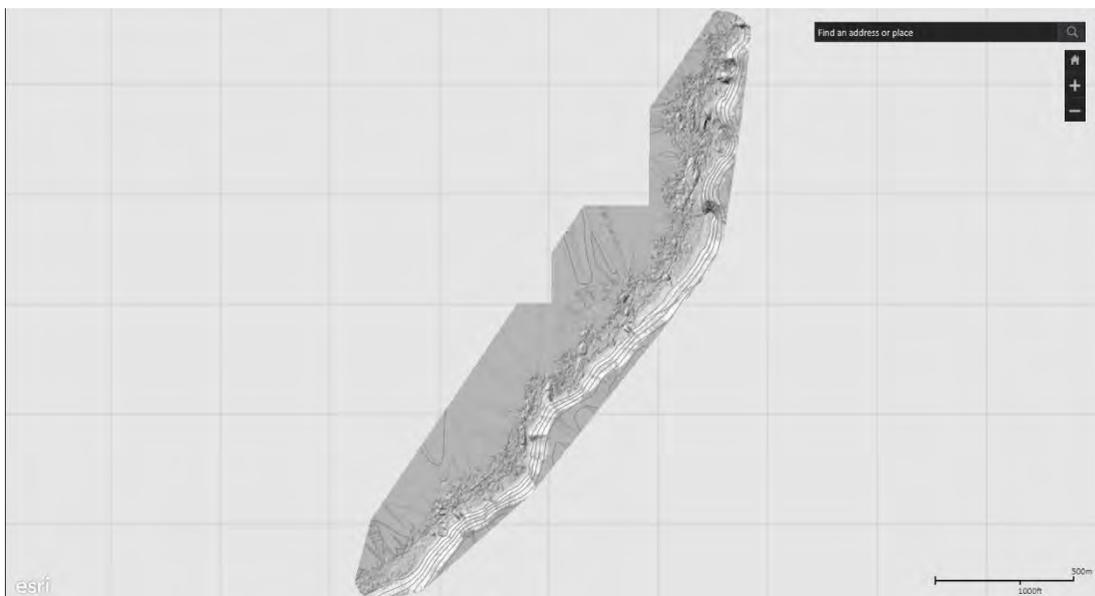


Figura 22.- Resultado Fotogrametria Camarones NDVI

➤ Pisagua Norte RGB

Resultado Fotogrametria Orto Imagen Corregida:



Figura 23.- Resultado Fotogrametria Pisagua Norte RGB

NDVI sobre RGB:



Figura 24.- Resultado Fotogrametria Pisagua Norte RGB

➤ Pisagua Sur RGB

Resultado Fotogrametria Orto Imagen Corregida :

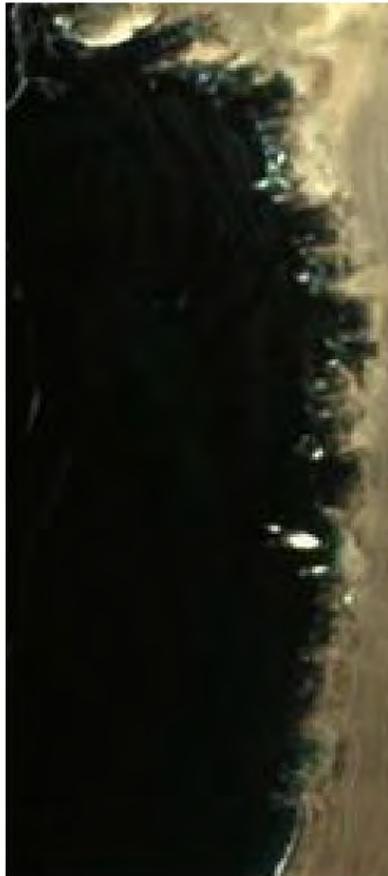


Figura 25.- Resultado Fotogrametria Pisagua sur RGB

NDVI sobre RGB:

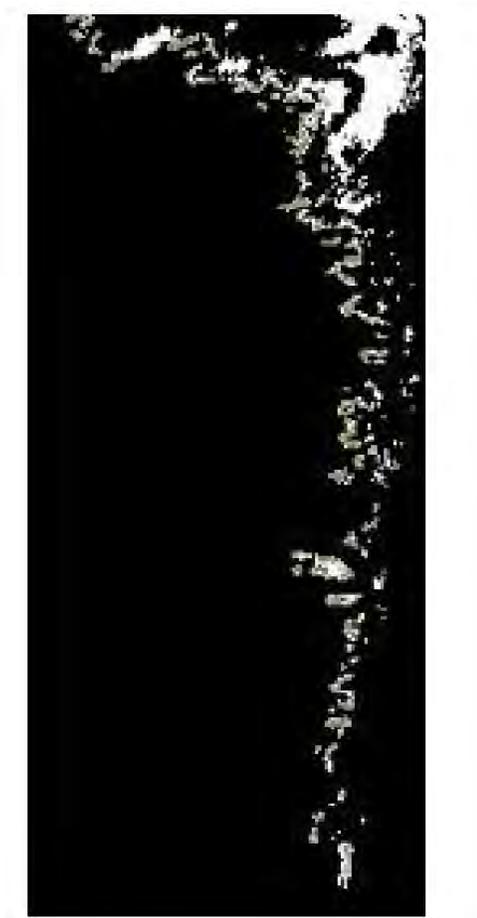


Figura 26.- Resultado Fotogrametria Pisagua sur NDVI

➤ Urco RGB

Resultado Fotogrametria Orto Imagen Corregida:



Figura 27.- Resultado Fotogrametria Urco RGB



Figura 28.- Resultado Fotogrametria Urco RGB

Fotogrametría Con contorno:

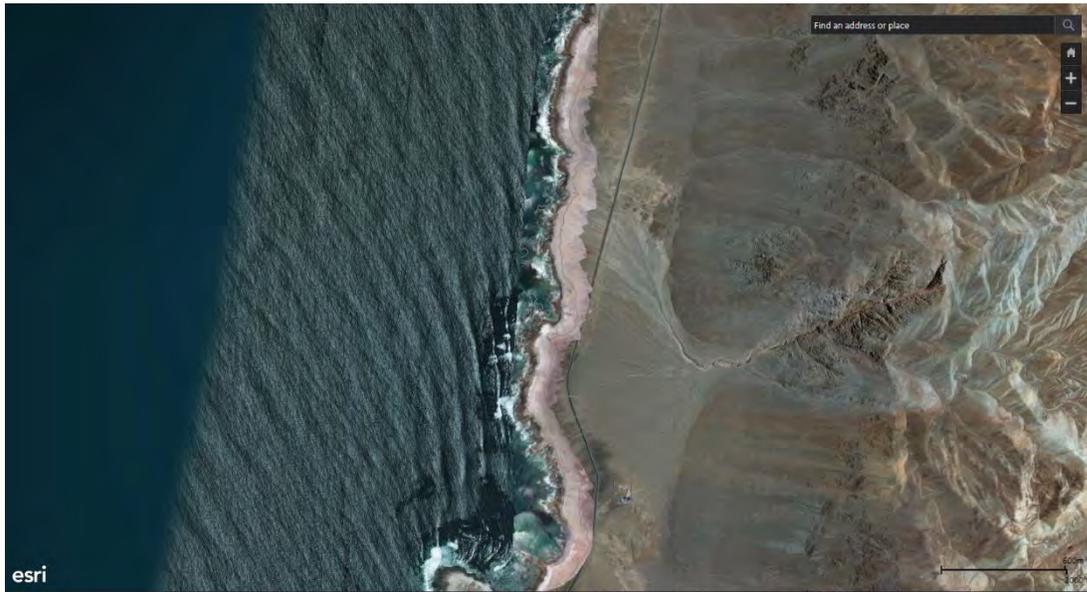


Figura 29.- Resultado Fotogrametría Urco RGB



Figura 30.- Resultado Fotogrametría Urco RGB

DTM:



Figura 31.- Resultado Fotogrametria Urco RGB

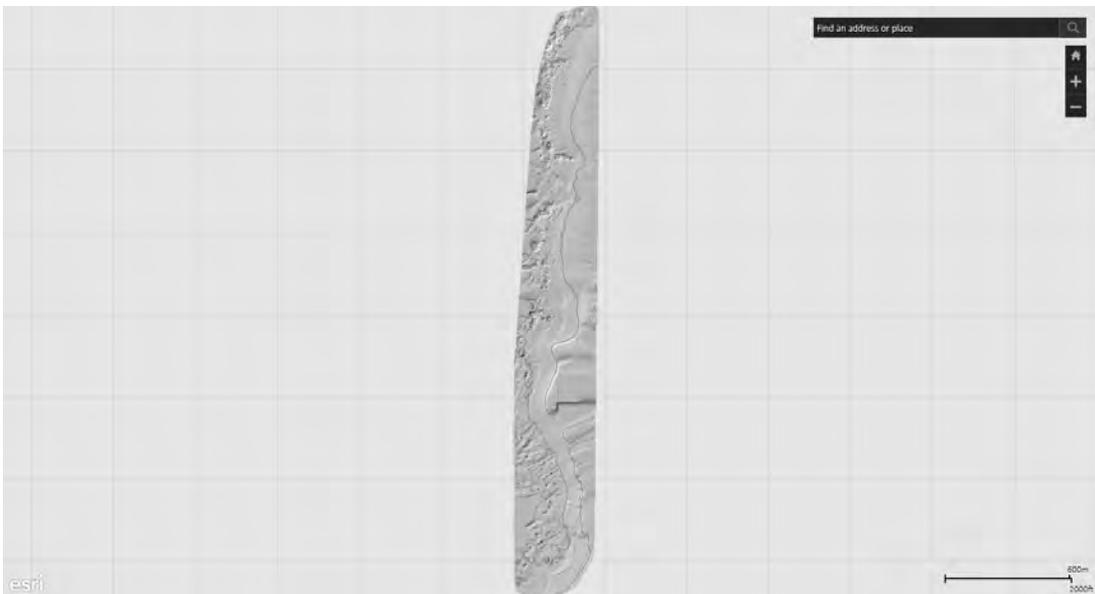


Figura 32.- Resultado Fotogrametria Urco RGB

DSM:

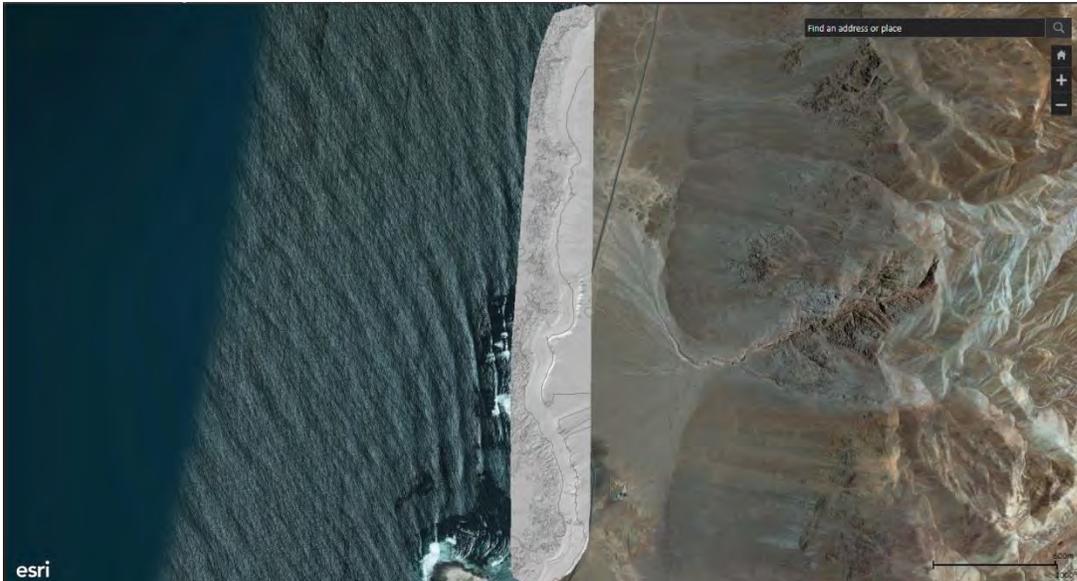


Figura 33.- Resultado Fotogrametria Urco RGB



Figura 34.- Resultado Fotogrametria Urco RGB

➤ Urco NDVI

Resultado Fotogrametria Orto Imagen Corregida :



Figura 35.- Resultado Fotogrametria Urco NDVI



Figura 36.- Resultado Fotogrametria Urco NDVI

Fotogrametría Con contorno:

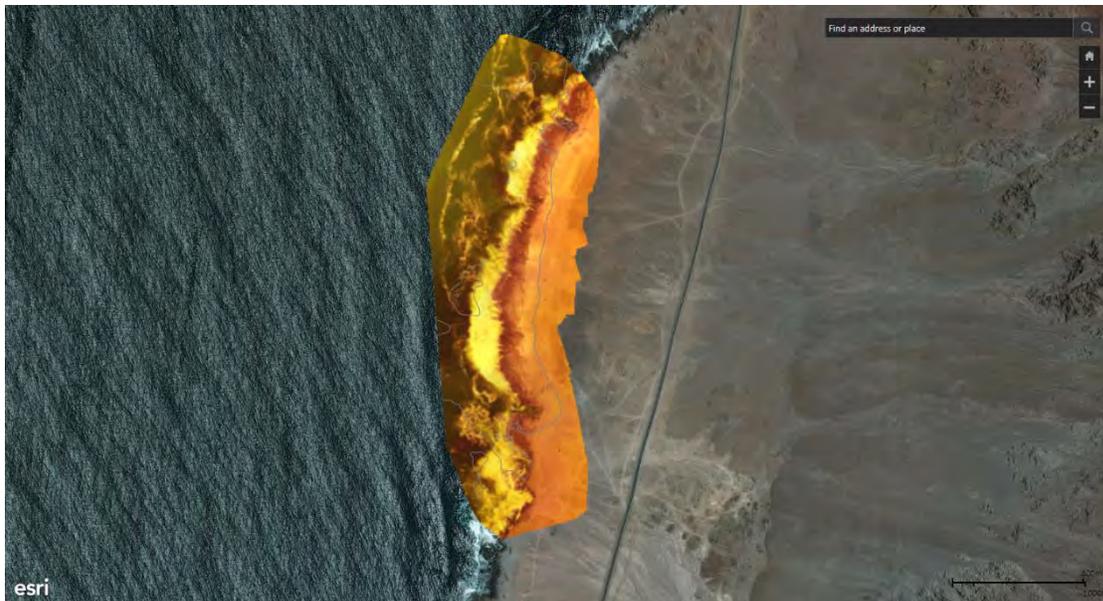


Figura 37.- Resultado Fotogrametría Urco NDVI



Figura 38.- Resultado Fotogrametría Urco NDVI

DTM:



Figura 39.- Resultado Fotogrametria Urco NDVI



Figura 40.- Resultado Fotogrametria Urco NDVI

DSM:



Figura 41.- Resultado Fotogrametria Urco NDVI

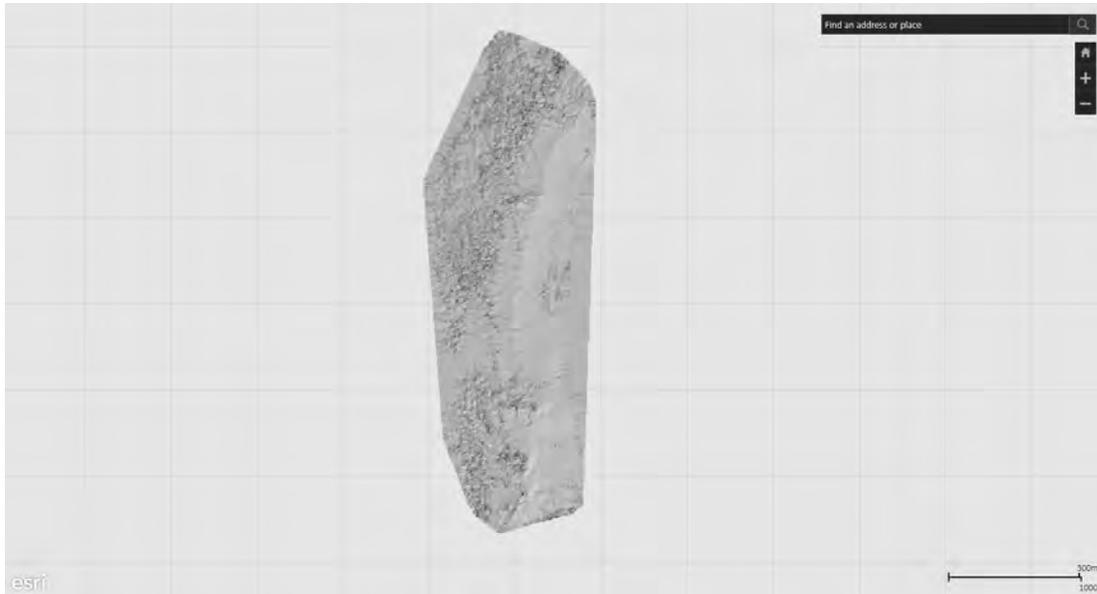


Figura 42.- Resultado Fotogrametria Urco NDVI

➤ Huiro NDVI

Resultado Fotogrametria Orto Imagen Corregida :

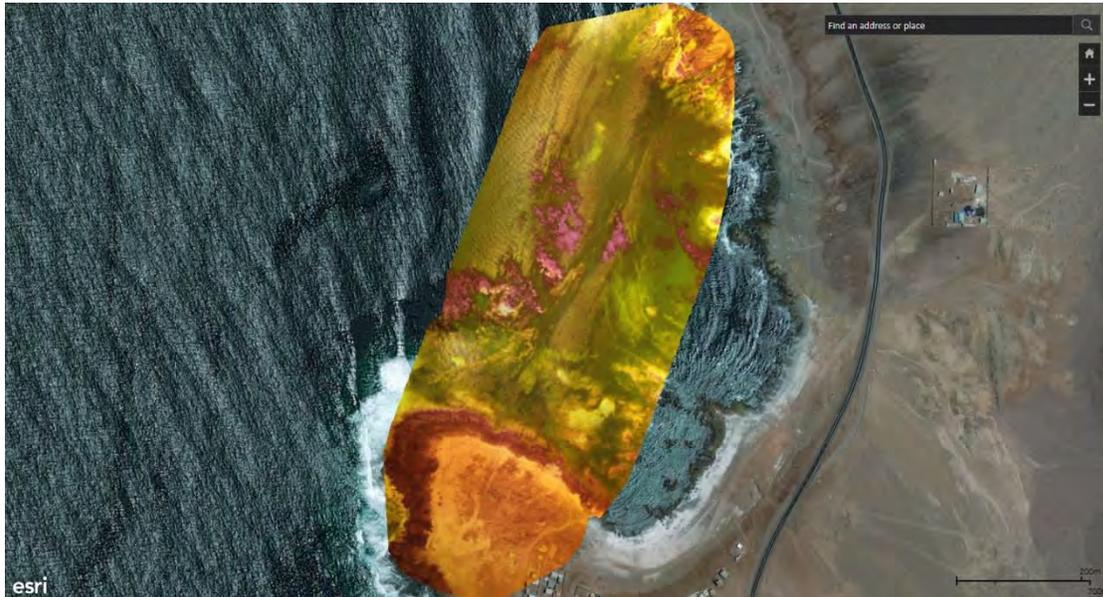


Figura 43.- Resultado Fotogrametria Huiro NDVI



Figura 44.- Resultado Fotogrametria Huiro NDVI

DTM:



Figura 45.- Resultado Fotogrametria Huiro NDVI

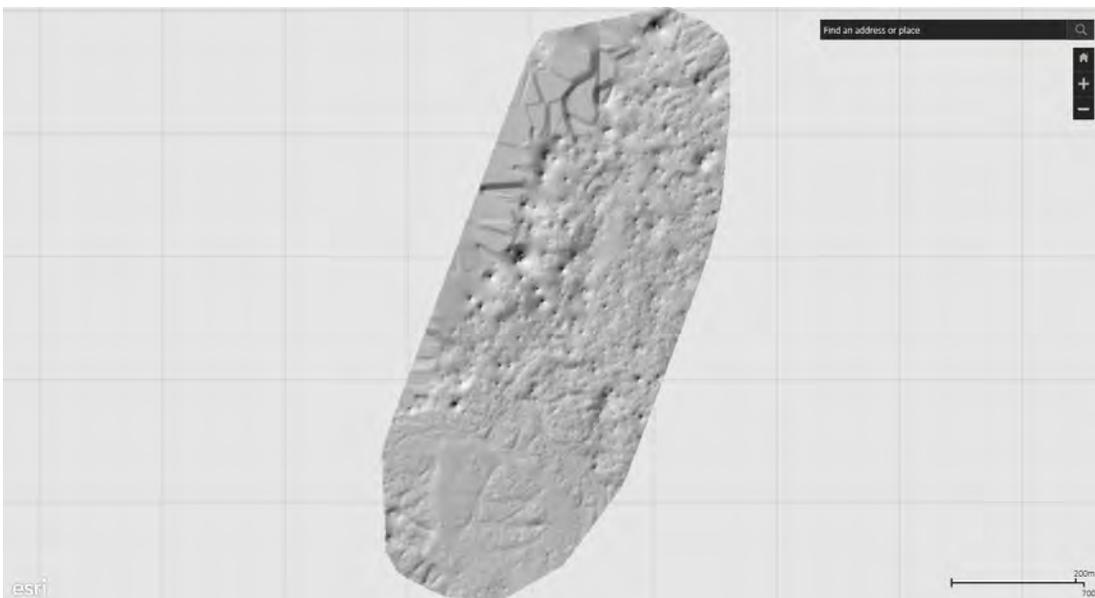


Figura 46.- Resultado Fotogrametria Huiro NDVI

DSM:



Figura 47.- Resultado Fotogrametria Huiro NDVI

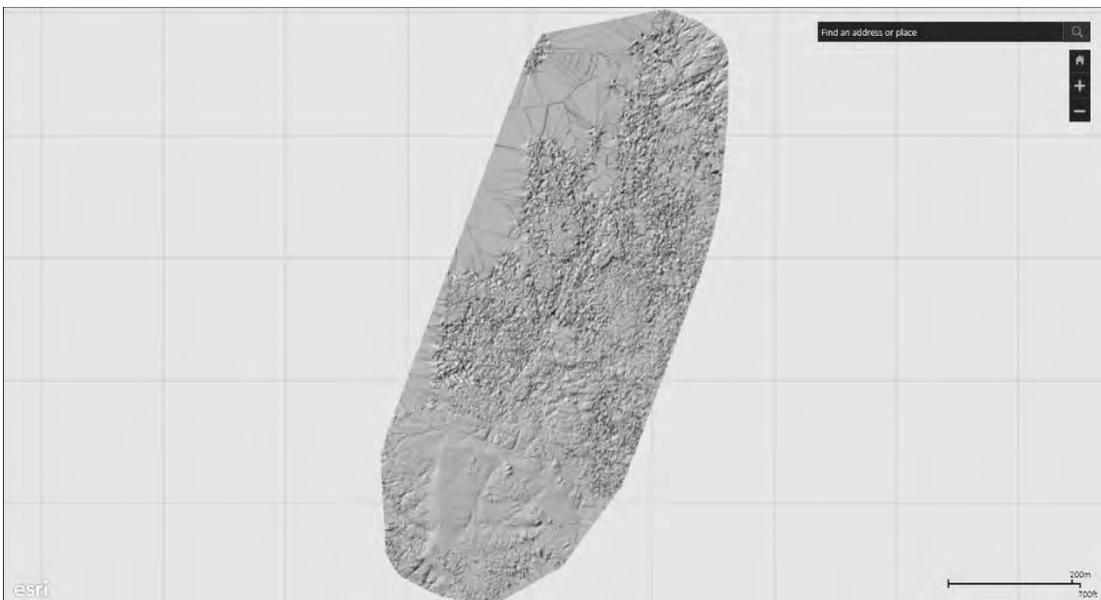


Figura 48.- Resultado Fotogrametria Huiro NDVI

Resultado Cartografía GIS

CAMARONES



Figura 49.- Resultado Cartografico Camarones Orto Imagen Corregida



Figura 50.- Resultado Cartografico Camarones Orto Imagen Corregida NDVI



Figura 51.- Resultado Cartografico Camarones

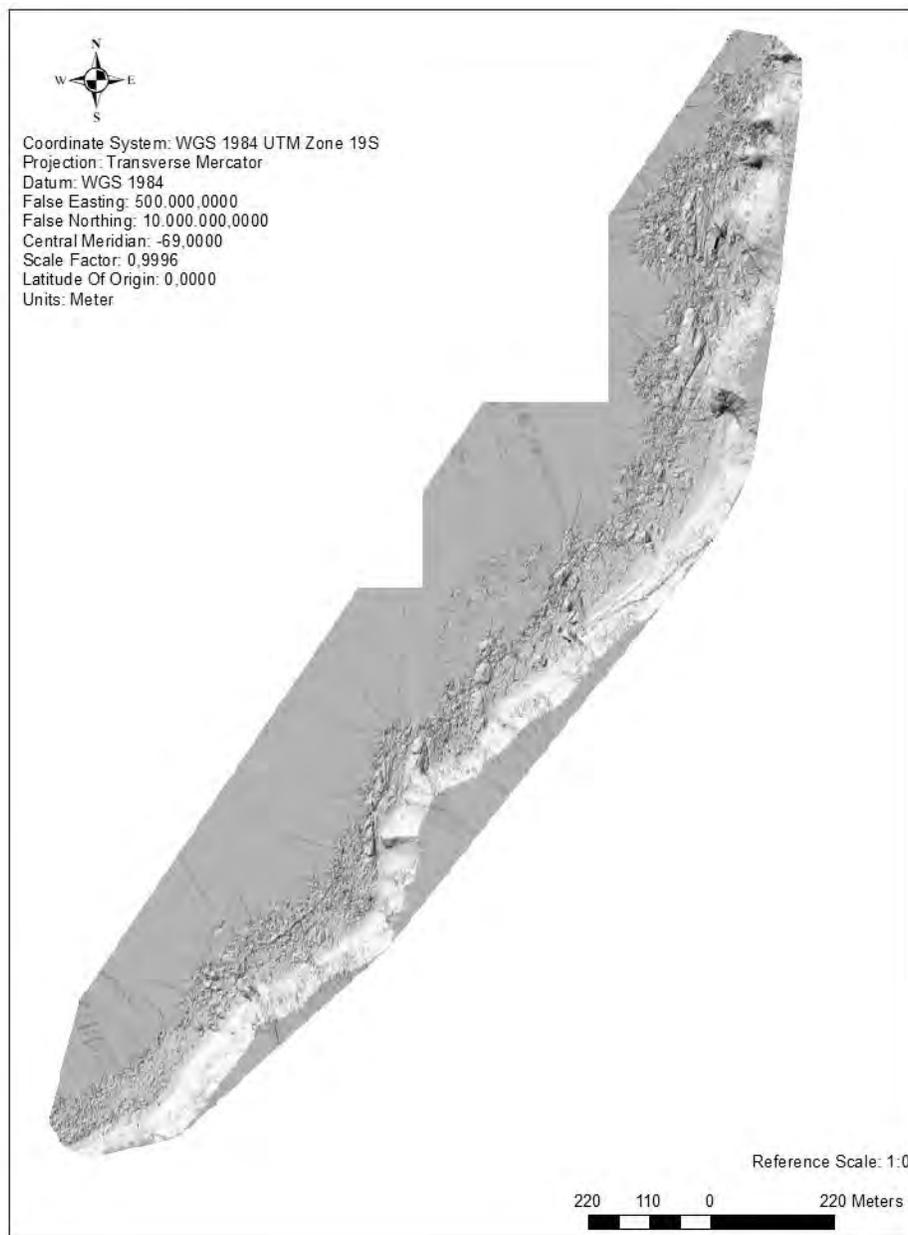


Figura 52.- Resultado Cartografico Camarones



Figura 53.- Resultado Cartografico Camarones

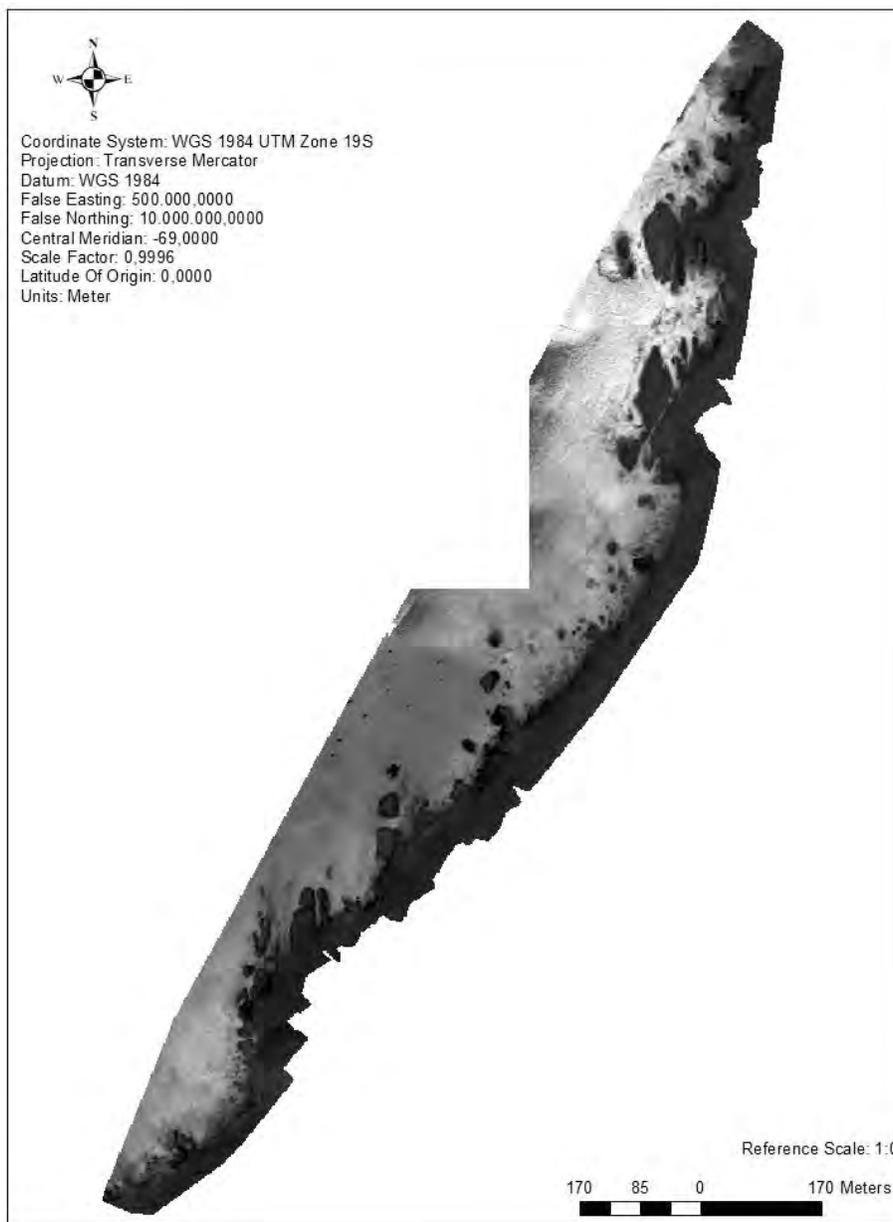


Figura 54.- Resultado Cartografico Camarones

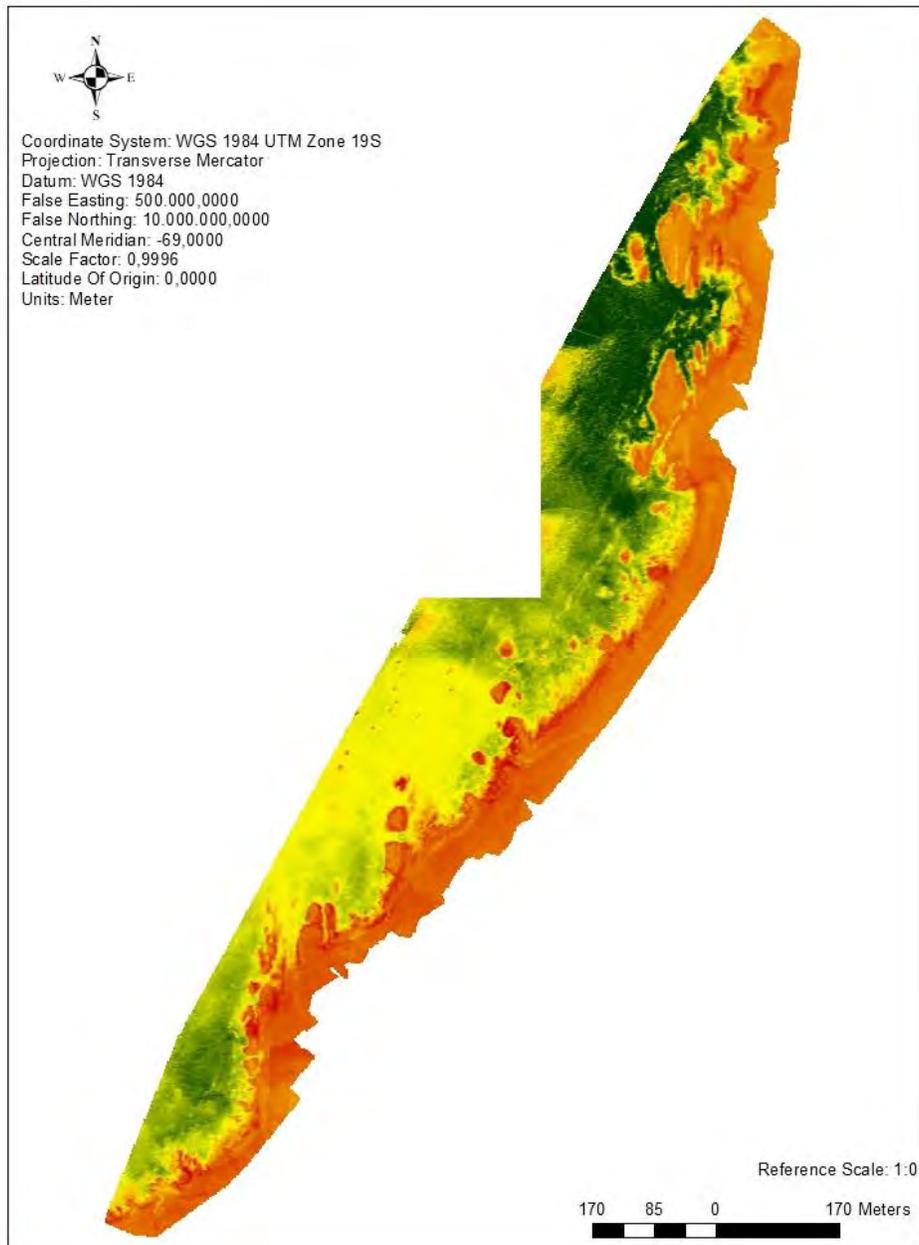


Figura 55.- Resultado Cartografico Camarones



Figura 56.- Resultado Cartografico Camarones

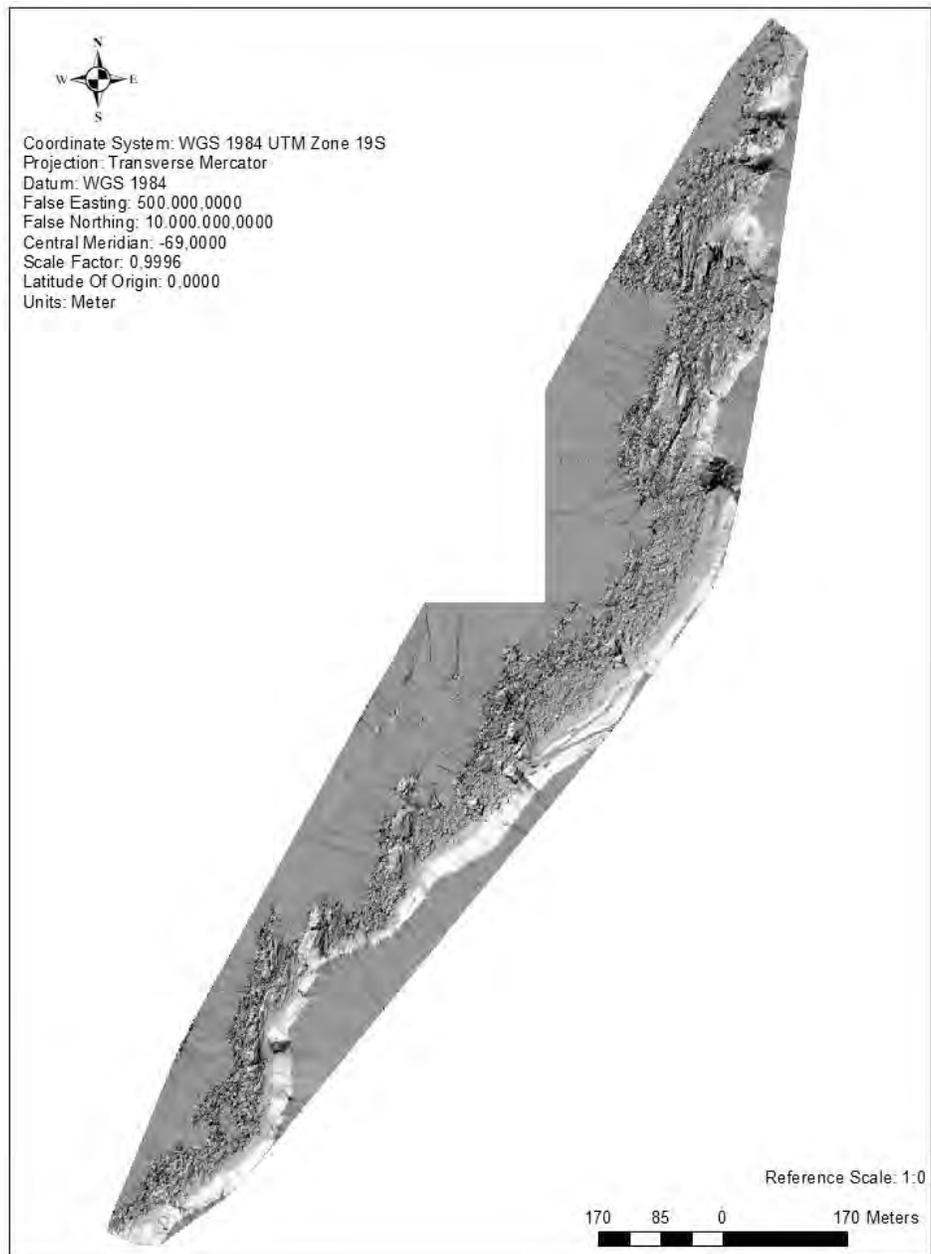


Figura 57.- Resultado Cartografico Camarones

PISAGUA NORTE



Figura 58.- Resultado Cartografico Pisagua Orto Imagen Corregida

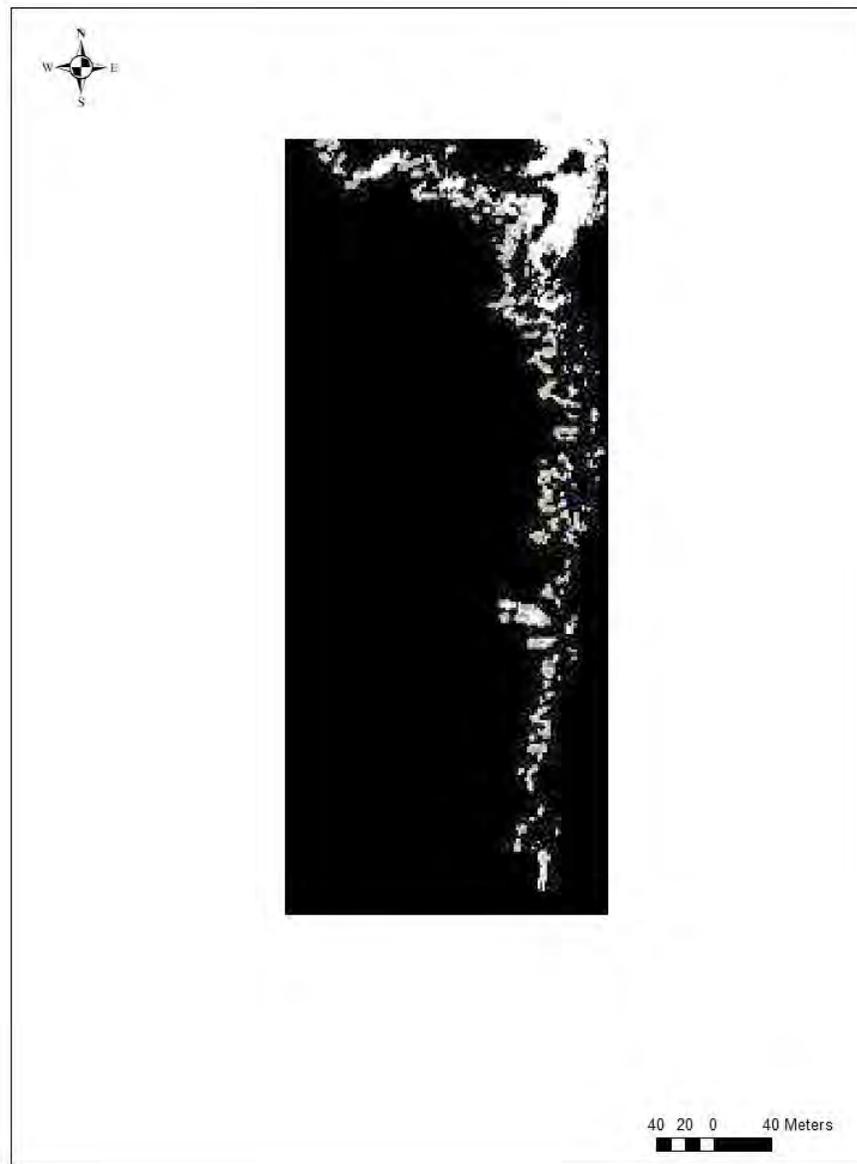


Figura 59.- Resultado Cartografico pisagua NDVI



Figura 60.- Resultado Cartografico pisagua Orto Imagen Corregida

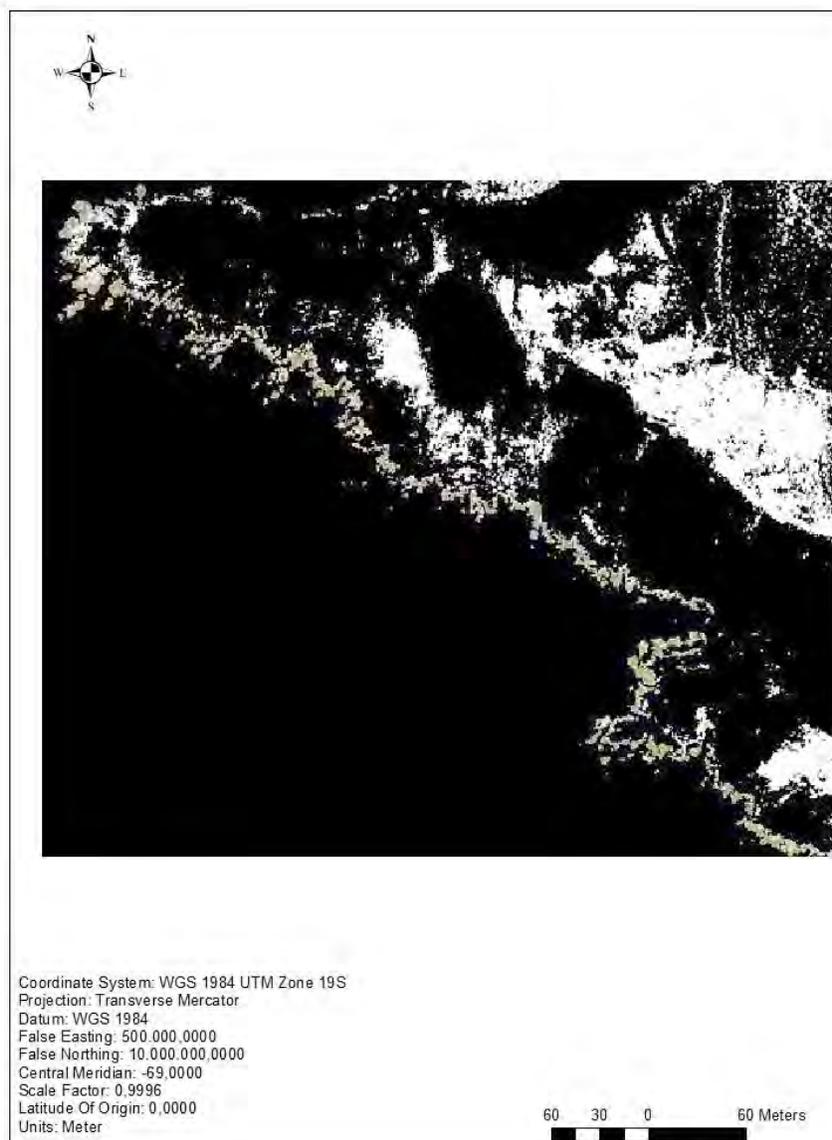


Figura 61.- Resultado Cartografico pisagua NDVI N

CALETA URCO



Figura 62.- Resultado Cartografico Urco Orto Imagen Corregida



Figura 63.- Resultado Cartografico Urco



Figura 64.- Resultado Cartografico Urco

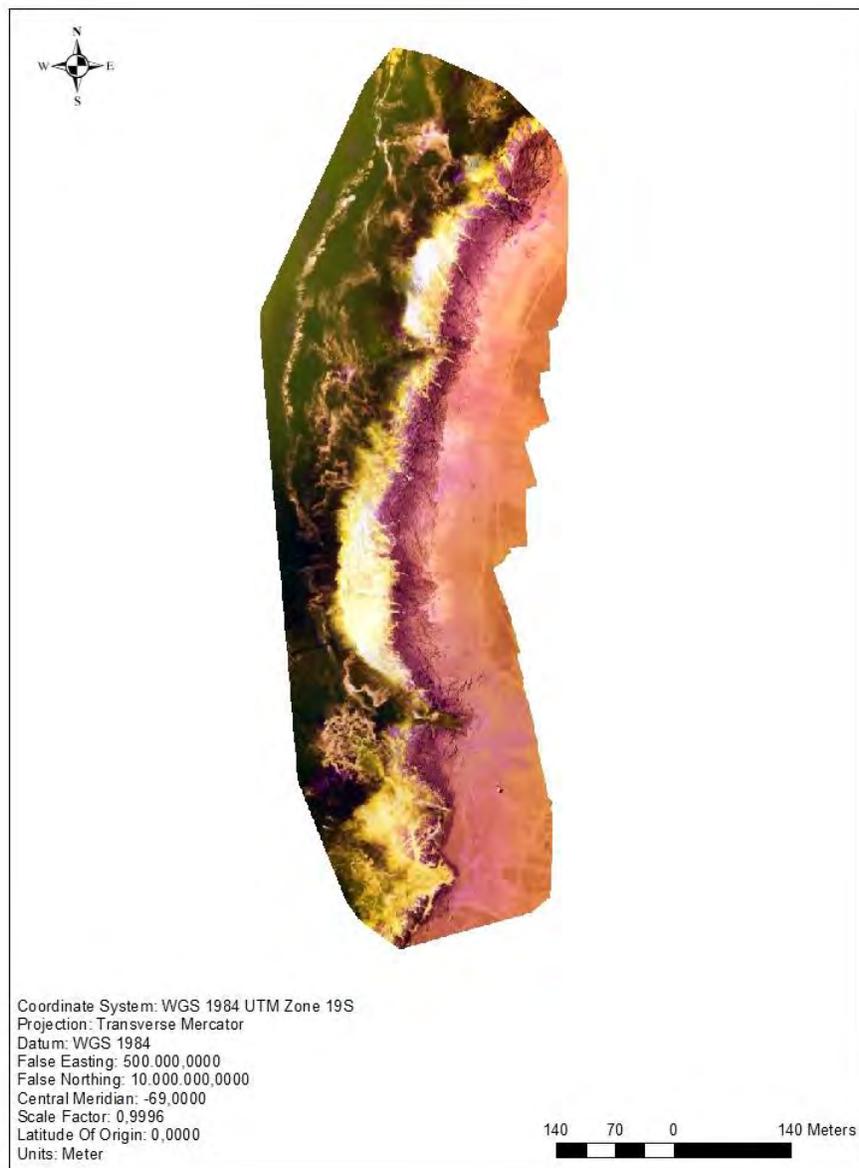


Figura 65.- Resultado Cartografico Urco Orto Imagen Corregida NDVI

MACROCYSTIS PYRIFERA (URCO)



Figura 66.- Resultado Cartografico *Macrocyctis pyrifera* Orto Imagen Corregida

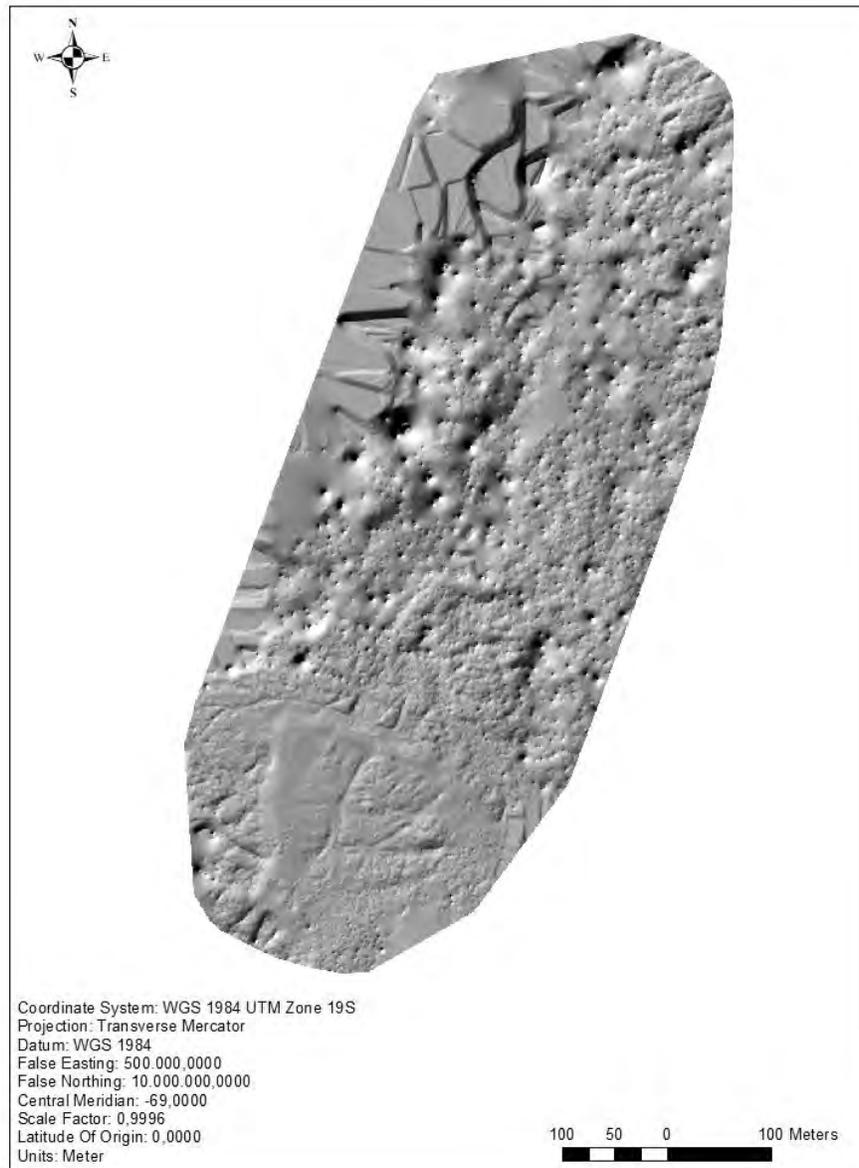


Figura 67.- Resultado Cartografico *Macrocystis pyrifera*

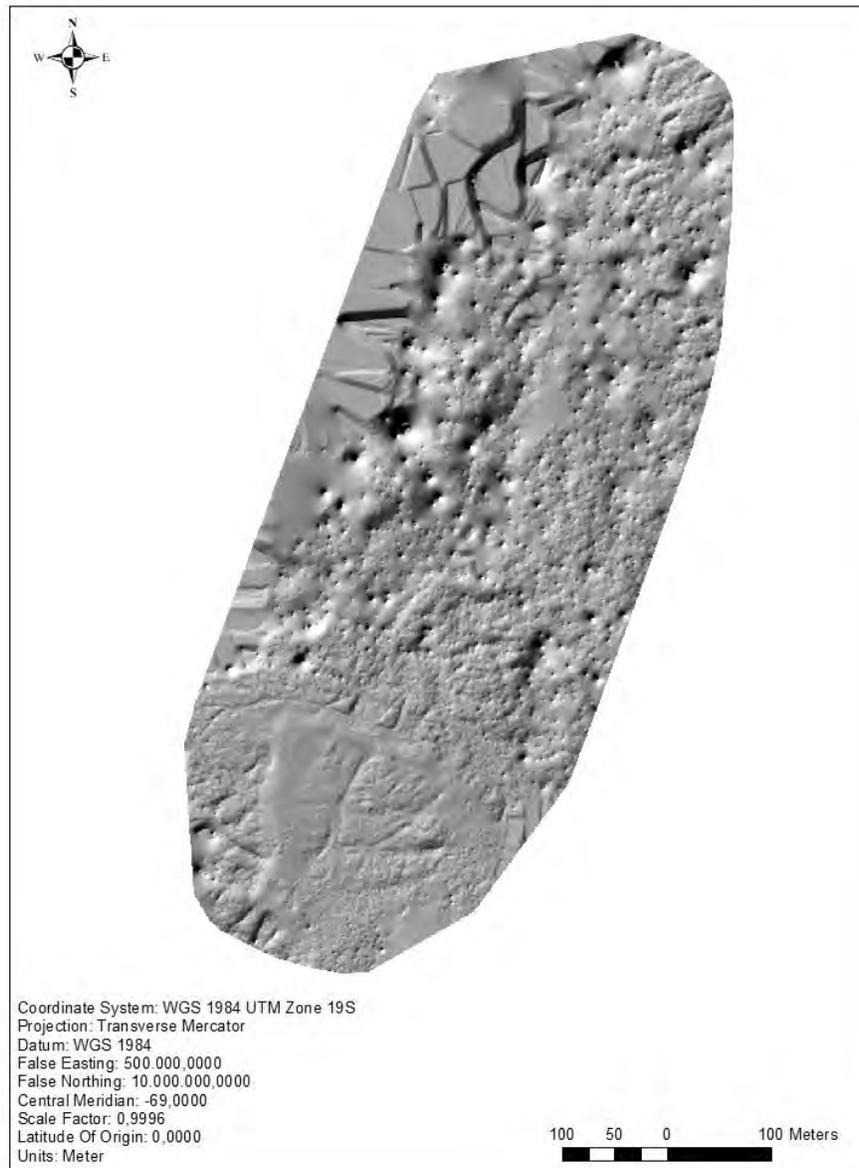


Figura 68.- Resultado Cartografico *Macrocystis pyrifera*

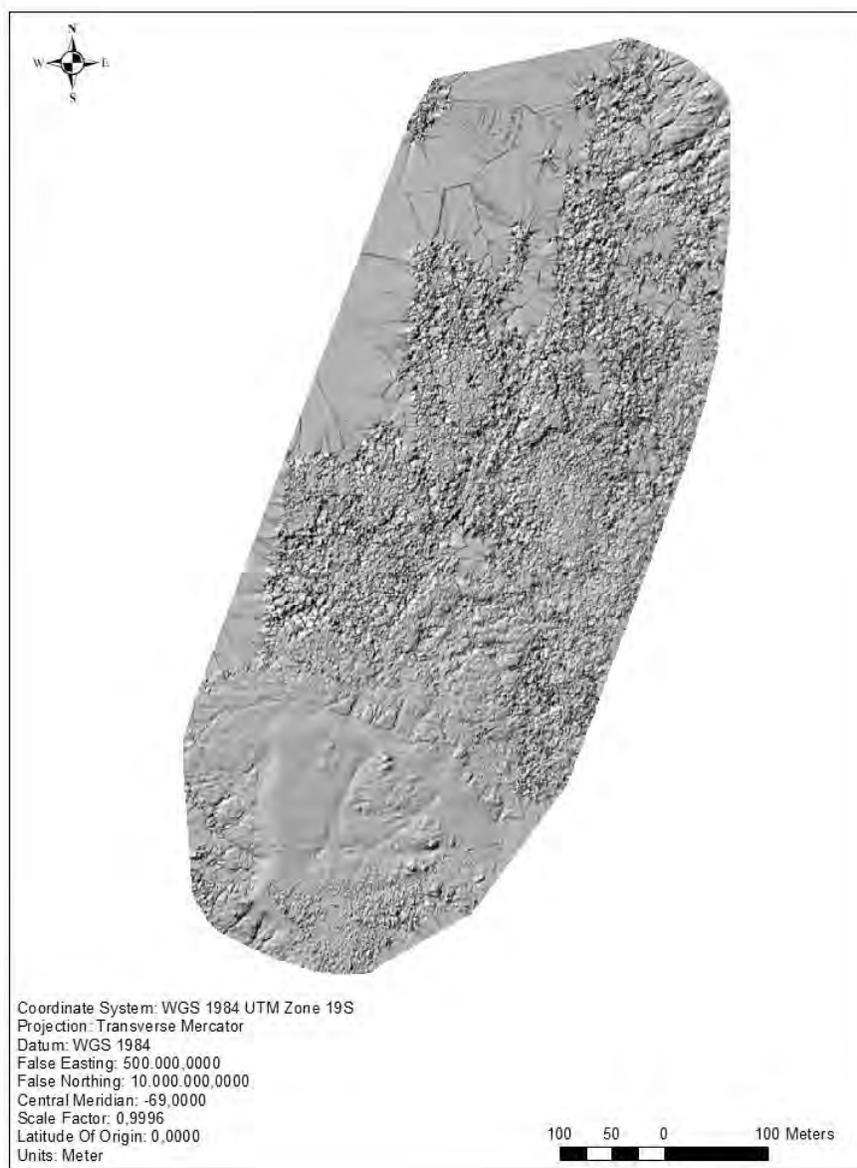


Figura 69.- Resultado Cartografico Población de *Macrocyctis pyrifera*

Ecuaciones y sus variables

Ecuación calculo biomasa indirecta M1

Descripción de ecuación:

X = punto geo espacial en orto imagen

Y = punto geo espacial en orto imagen

N = cantidad de puntos en orto imagen

Área obtenida de los polígonos de imágenes orto rectificadas con volumen

$$A = \int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n + 2} + C \quad \text{Metros Cuadrados}$$

Altura con respecto a la orientación de la imagen y su volumen

$$H = H = (D \times \text{tg} \alpha) + A \quad \text{Centímetros}$$

Perímetro de polígono en imagen orto rectificada, valor obtenido de imagen 2d

$$P = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Volumen del polígono en imagen orto rectificada

$$\text{Volumen} = \int (x^2 + y^3) dxy$$

Factores de cálculo para determinar valores constantes de la ecuación

Selección de Elipsoide:	a (semieje mayor)	b (semieje menor)
WGS84	6378137	6356752,314

Excentricidad	2ª Excentric. (e')
0,081819191	0,082094438

e'²	c (radio polar de curvatura)
0,006739497	6399593,626

$$\ln(M) = \ln(a) \pm B \ln(D) \pm e_i = aD^b + e_i \quad [3]$$

1,6129 =

Desarrollo de la ecuación.

$$\text{Biomasa M1} = \int (x^2 + y^3) dxy - 1,6129 * \left(\frac{\int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n+2} + C}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2}} * \right.$$

$$\left. 9,8 \right) * \int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n+2} + C$$

Kilogramos por metro cuadrado

Ecuación calculo biomasa Winrock (MacDicken K. 1997)

Descripción de ecuación:

X = punto geo espacial en orto imagen

Y = punto geo espacial en orto imagen

N = cantidad de puntos geo espacial en orto imagen

Área obtenida de los polígonos de imágenes orto rectificadas con volumen

$$A = \int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n + 2} + C \quad \text{Metros Cuadrados}$$

Altura con respecto a la orientación de la imagen y su volumen

$$H = (D \times \text{tg}(\alpha)) + A \quad \text{Centímetros}$$

Factores de cálculo para determinar valores constantes de la ecuación

Tipo de bosque	Modelo seleccionado	R ² aj(%)	SEE	IF	n	FC
Bosque secundario	Bra = exp(-3,98702 + 2,48739*ln(d))	91,25	0,5053	—	122	1,14
	Bf = exp(-2,03527 + 2,1305*ln(d))	92,98	0,3655	—	152	1,07
	Bh = exp(-4,63349 + 2,26866*ln(d))	83,04	0,6537	—	146	1,24
	Log(Br) = -4,28411 + 2,59073*ln(d)	88,25	0,6038	2,5	139	1,20
	Log(Bt) = -1,80246 + 2,28927*ln(d)	95,68	0,3056	7,7	147	1,05

Desarrollo ecuación:

$$\text{Winrok} = \int (x^2 + y^3) dxy * 0,22582367 * \frac{2,4049471}{3,6} * H = (D \times \text{tg}(\alpha)) + A \quad \text{Kilogramos por metro cuadrado}$$

Ecuación calculo biomasa Método Existencias (IPCC 1996).

Descripción de ecuación:

X = punto geo espacial en orto imagen

Y = punto geo espacial en orto imagen

N = cantidad de puntos geo espacial en orto imagen

Área obtenida de los polígonos de imágenes orto rectificadas con volumen

$$A = \int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n + 2} + C \quad \text{Metros Cuadrados}$$

Altura con respecto a la orientación de la imagen y su volumen

$$H = H = (D \times \text{tg} \alpha) + A \quad \text{Centímetros}$$

Perímetro de polígono en imagen orto rectificada, valor obtenido de imagen 2d

$$P = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Volumen del polígono en imagen orto rectificada

$$\text{Volumen} = \int (x^2 + y^3) dxy$$

Factores de cálculo para determinar valores constantes de la ecuación

Selección de Elipsoide:	a (semieje mayor)	b (semieje menor)
WGS84	6378137	6356752,314



Excentricidad	2ª Excentric. (e')
0,081819191	0,082094438

e' 2	c (radio polar de curvatura)
0,006739497	6399593,626

$$\ln(M) = \ln(a) \pm B \ln(D) \pm e_i = aD^B + e_i \quad [3]$$

$$1,6129 =$$

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad (a)$$

donde:

$$0,5 = C = \sum_{i,j} \{A_{i,j} \cdot V_{i,j} \cdot BCEF_{S_{i,j}} \cdot (1 + R_{i,j}) \cdot CF_{i,j}\} \quad (b)$$

Desarrollo ecuación:

$$\text{biomasa Método Existencias} = \left(\int (x^2 + y^3) dxy - 1,6129 * \right.$$

$$\left. \left(\frac{\int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n+2} + C}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2}} * 9,8 \right) * \left(\int (ax + by)^n dxy = \frac{x \cdot y \cdot (ax + by)^n}{n+2} + C \right) * \right.$$

0,5 Kilogramos por metro cuadrado

RESULTADOS

Resultado Análisis por Caleta

➤ Camarones

Tabla de Datos

Descripción	Total	Indicador
Área sobrevolada	404505	Metros Cuadrados
suma de área analizada	433	suma total Metros cuadrados
suma biomasa Indirecta M1 observada	68038	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Winrock observada	39955	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Método Existencias	34019	suma total KG/metro cuadrado
promedio biomasa indirecta M1 observada	37	KG/metro cuadrado
Promedio biomasa Winrock observada	22	KG/metro cuadrado
promedio biomasa Método Existencias	19	KG/metro cuadrado

Descripción	Total
Desviación estándar Promedio Biomasa indirecta M1	9
Desviación estándar Promedio biomasa Winrock	6
Desviación estándar Promedio biomasa Método Existencias	5
Descripción	Total
Error estándar Promedio Biomasa M1	2
Error estándar Promedio biomasa Winrock	1
Error estándar Promedio biomasa Método Existencias	1

Información Muestra

Descripción	Total	Indicador
Cantidad Polígonos	24771	Polígonos plantas
Cantidad Puntos en Polígonos	2521559	Clasificaciones/ observaciones
Cantidad Capas	16	Descripciones
Área Mínima	0,002883	Metros cuadrados
Área Máxima	592	Metros cuadrados

➤ Urco

Tabla de Datos

Descripción	Total	Indicador
Área sobrevolada	737347	Metros Cuadrados
suma de área analizada	960	suma total Metros cuadrados
suma biomasa Indirecta M1 observada	166736	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Winrock observada	50518	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Método Existencias	83368	suma total KG/metro cuadrado
promedio biomasa M1 observada	37	KG/metro cuadrado
promedio biomasa Winrock observada	11	KG/metro cuadrado
promedio biomasa Método Existencias	18	KG/metro cuadrado

Descripción	Total
Desviación estándar Promedio Biomasa M1	9
Desviación estándar Promedio biomasa Winrock	11
Desviación estándar Promedio biomasa Método Existencias	5

Descripción	Total
Error estándar Promedio Biomasa M1	1
Error estándar Promedio biomasa Winrock	3
Error estándar Promedio biomasa Método Existencias	1

Información Muestra

Descripción	Total	Indicador
Cantidad Polígonos	24771	Polígonos plantas
Cantidad Puntos en Polígonos	2521559	Clasificaciones/ observaciones
Cantidad Capas	16	Descripciones
Área Mínima	0,002620	Metros cuadrados
Área Máxima	354	Metros cuadrados

➤ *Macrocystis pyrifera* (Urco) Tabla de Datos

Descripción	Total	Indicador
Área sobrevolada	300112	Metros Cuadrados
suma de área analizada	350	suma total Metros cuadrados
suma biomasa Indirecta M1 observada	48949	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Winrock observada	28577	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Método Existencias	24475	suma total KG/metro cuadrado
promedio biomasa M1 observada	39	KG/metro cuadrado
promedio biomasa Winrock observada	23	KG/metro cuadrado
promedio biomasa Método Existencias	19	KG/metro cuadrado

Descripción	Total
Desviación estándar Promedio Biomasa M1	10
Desviación estándar Promedio biomasa Winrock	5
Desviación estándar Promedio biomasa Método Existencias	5

Descripción	Total
Error estándar Promedio Biomasa M1	2
Error estándar Promedio biomasa Winrock	1
Error estándar Promedio biomasa Método Existencias	1

Información Muestra

Descripción	Total	Indicador
Cantidad Polígonos	14230	Polígonos plantas
Cantidad Puntos en Polígonos	2521559	Clasificaciones/ observaciones
Cantidad Capas	16	Descripciones
Área Mínima	0,002703	Metros cuadrados
Área Máxima	1550	Metros cuadrados

➤ Pisagua Norte

Tabla de Datos

Estadística General

Descripción	Total	Indicador
Área sobrevolada	2.64	Kilómetros Cuadrados
suma de área analizada	375	suma total Metros cuadrados
suma biomasa M1 observada	30579	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Winrock observada	25845	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Método Existencias	15289	suma total KG/metro cuadrado
promedio biomasa M1 observada	64	KG/metro cuadrado
promedio biomasa Winrock observada	54	KG/metro cuadrado
promedio biomasa Método Existencias	32	KG/metro cuadrado

Descripción	Total
Desviación estándar Promedio Biomasa M1	7
Desviación estándar Promedio biomasa Winrock	0
Desviación estándar Promedio biomasa Método Existencias	3

Descripción	Total
Error estándar Promedio Biomasa M1	1
Error estándar Promedio biomasa Winrock	0
Error estándar Promedio biomasa Método Existencias	1

Información Muestra

Descripción	Total	Indicador
Cantidad Polígonos	560	Polígonos plantas
Cantidad Puntos en Polígonos	2521559	Clasificaciones/ observaciones
Cantidad Capas	16	Descripciones
Área Mínima	0,640381	Metros cuadrados
Área Máxima	20	Metros cuadrados

➤ Pisagua Sur

Tabla de Datos

Descripción	Total	Indicador
Área sobrevolada	6,78	Kilómetros Cuadrados
suma de área analizada	219	suma total Metros cuadrados
suma biomasa M1 observada	17264	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Winrock observada	0	suma total KG/metro cuadrado
suma biomasa Método Existencias	8632	suma total KG/metro cuadrado
promedio biomasa M1 observada	66	KG/metro cuadrado
promedio biomasa Winrock observada	0	KG/metro cuadrado
promedio biomasa Método Existencias	33	KG/metro cuadrado

Descripción	Total
Desviación estándar Promedio Biomasa M1	10
Desviación estándar Promedio biomasa Winrock	0
Desviación estándar Promedio biomasa Método Existencias	5



Descripción	Total
Error estándar Promedio Biomasa M1	1
Error estándar Promedio biomasa Winrock	0
Error estándar Promedio biomasa Método Existencias	1

Información Muestra

Descripción	Total	Indicador
Cantidad Polígonos	368	Polígonos plantas
Cantidad Puntos en Polígonos	2521559	Clasificaciones/ observaciones
Cantidad Capas	16	Descripciones
Área Mínima	0,640381	Metros cuadrados
Área Máxima	29	Metros cuadrados

Puntos de Referencia valores observados directamente

Información Proporcionada

Tabla de datos - Puntos de referencia

id	Fecha	Region	Sitio	Medio	Cuadrante	Numero_plant	Diametro promedio (cm)	ES Diametro Promed	Biomasa (kg)	Cobertura (%)	Altura (cm)	Latitud	Longitud
1	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	1	16	11,375	1,11756804	26,17025816	30	28,33333333	19°35'53.3"	70°13'14.4"
2	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	2	10	14	1,95505044	28,39275647	37,5	21,33333333	19°35'53.3"	70°13'14.6"
3	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	3	17	17,3529412	2,84390625	115,2655691	38,75	26	19°35'53.2"	70°13'15.0"
4	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	4	17	11,2941176	1,55715782	33,62798916	39,75	25	19°35'53.2"	70°13'15.2"
5	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	5	17	10,0909091	1,65943334	15,35432437	45	19,33333333	19°35'53.1"	70°13'15.2"
6	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	6	13	12,5384615	1,38033526	27,06102903	46,25	26,33333333	19°35'53.9"	70°13'15.5"
7	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	7	13	11,0769231	1,17920844	19,79993859	47,5	28	19°35'52.9"	70°13'15.9"
8	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	8	14	14,2857143	1,28571429	37,59553588	47,5	17,25	19°35'53.1"	70°13'16.0"
9	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	9	6	12,1666667	2,16666667	11,5743629	48,75	21,33333333	19°35'53.1"	70°13'15.9"
10	29/01/2018	Iquique	Pisagua	ALA	10	13	9,30769231	1,1000269	13,29634705	50	21,33333333	19°35'53.3"	70°13'15.4"
11	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	1	5	21,6	3,26496554	36,18874241	52,5	29	19°34'49.1"	70°12'24.4"
12	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	2	4	17	2,67706307	15,63714297	56,25	27,33333333	19°34'49.1"	70°12'24.5"
13	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	3	6	15,1666667	3,21886799	21,81664211	61,25	26,66666667	19°34'49.1"	70°12'24.8"
14	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	4	11	16,3636364	1,1776149	37,84220017	62,5	29,66666667	19°34'49.2"	70°12'24.8"
15	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	5	12	16	1,85047087	45,29124635	68,75	29,33333333	19°34'49.2"	70°12'24.9"
16	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	6	15	14,1333333	1,88696447	47,49245853	68,75	29,33333333	19°34'49.2"	70°12'24.9"
17	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	7	5	21,8	3,02324329	36,15306884	75	24,66666667	19°34'49.1"	70°12'24.9"
18	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	8	6	16,3333333	2,61618892	23,16135707	75	22	19°34'49.4"	70°12'25.1"
19	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	9	4	15,25	3,4247871	13,2418607	85	27,66666667	19°34'49.5"	70°12'25.0"
20	29/01/2018	Iquique	Pisagua	AMERB	10	10	16,5	1,80277564	38,35121835	88,75	32,66666667	19°34'49.5"	70°12'25.0"
21	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	1	24	5,5625	0,61628893	8,155776853	1,5	7,33333333	21°44'01.9"	70°08'59.6"
22	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	2	16	3,5625	0,79565879	3,044135361	3	5	21°44'01.8"	70°08'59.7"
23	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	3	43	3,75581395	0,51240754	10,21641	8,325	11,5	21°44'01.9"	70°08'59.8"
24	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	4	24	4,16666667	0,62094093	5,309286488	19	4,66666667	21°44'01.8"	70°08'59.9"
25	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	5	3	6,66666667	3,17979734	1,947465309	20	8,66666667	21°44'01.6"	70°08'59.8"
26	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	6	3	13,3333333	2,60341656	6,50920926	30	8	21°44'01.6"	70°08'59.8"
27	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	7	3	10	7,54983444	8,990899176	45	6	21°44'01.6"	70°08'59.8"
28	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	8	37	4,89189189	0,55315609	11,43637485	50	7	21°44'01.5"	70°08'59.6"
29	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	9	15	6,53333333	0,74236858	6,663061495	50	6,33333333	21°44'01.5"	70°08'59.6"
30	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	10	12	2,83333333	0,72387147	1,230469948	56,25	13	21°43'58.5"	70°08'58.4"
31	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	11	18	5,72222222	0,75755694	6,764033637	65	7,33333333	21°43'58.5"	70°08'58.3"
32	29/03/2018	Antofagasta	Urco	ALA	12	20	3,3	0,50705548	2,254744592	90	7,66666667	21°43'58.5"	70°08'58.3"
33	30/03/2018	Arica	Camarones	ALA	1	46	5,01086957	0,7385992	24,70442872	17,5	13,33333333	19°12'42.7"	70°16'36.4"
34	30/03/2018	Arica	Camarones	ALA	2	16	7,875	1,40200749	16,35056137	37,5	8	19°12'42.7"	70°16'36.4"
35	30/03/2018	Arica	Camarones	ALA	3	9	10,2222222	2,91798912	19,71924034	55	10,66666667	19°12'42.6"	70°16'36.3"
36	30/03/2018	Arica	Camarones	ALA	4	27	4,07407407	0,93739338	11,12017104	60	17,66666667	19°12'42.6"	70°16'36.2"
37	30/03/2018	Arica	Camarones	ALA	5	23	6,13043478	0,86042628	12,26118433	67,5	9,33333333	19°12'42.5"	70°16'35.9"
38	30/03/2018	Arica	Camarones	ALA	6	22	9,78636364	0,95795361	27,20134552	75	25	19°12'42.6"	70°16'35.9"
39	30/03/2018	Arica	Camarones	ALA	7	21	9,34285714	1,13270791	26,21409722	77,5	11,66666667	19°12'42.6"	70°16'35.8"
40	30/03/2018	Arica	Camarones	ALA	8	30	6,85	0,78606762	19,25011089	93,75	8,66666667	19°12'42.7"	70°16'35.8"
41	30/03/2018	Arica	Camarones	ALA	9	20	6,725	0,71218252	9,966467332	95	14,33333333	19°12'42.9"	70°16'35.8"

Identificación Marcadores y Mediciones

Camarones

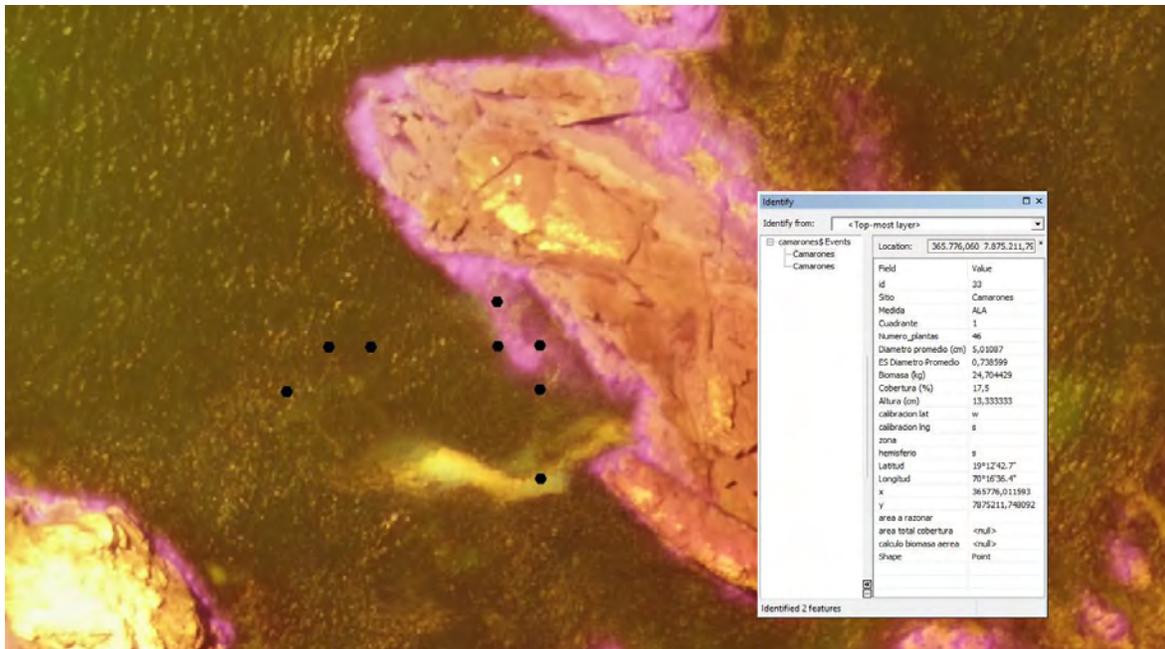


Figura 70.- Resultado Puntos Referencia

Punto id 33, 35, 36, 41, 40 sobre agua no se observan características espectrales ni vectoriales, por ende, es un punto con biomasa =0

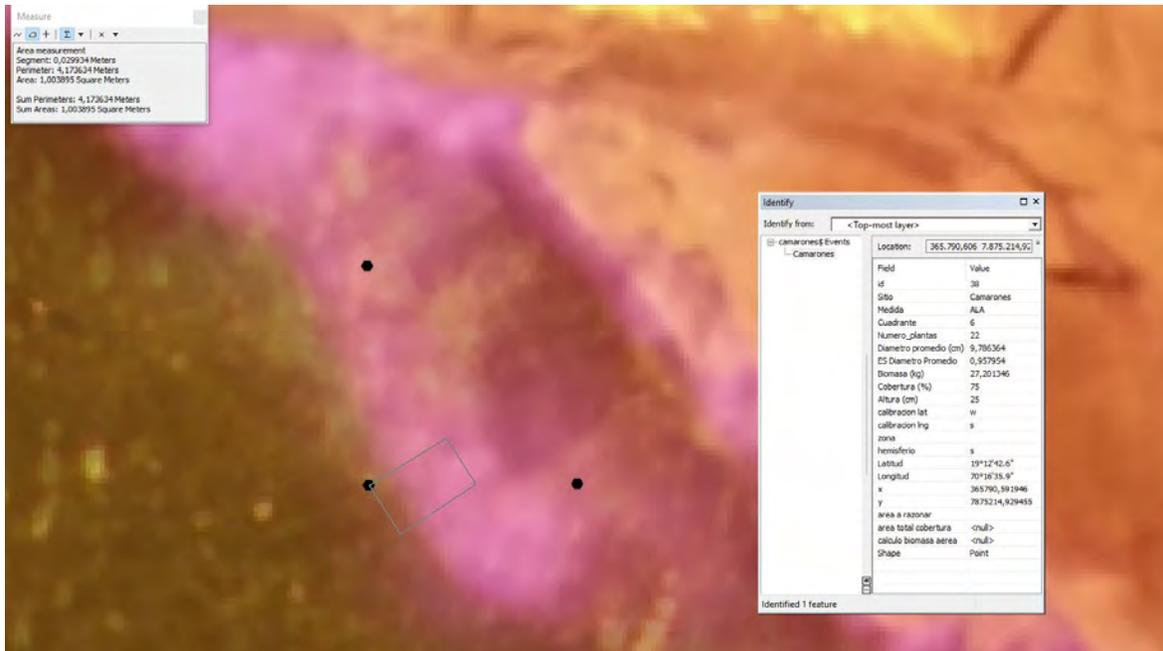


Figura 71.- Resultado Puntos Referencia

Medicion de 1 metro cuadrado

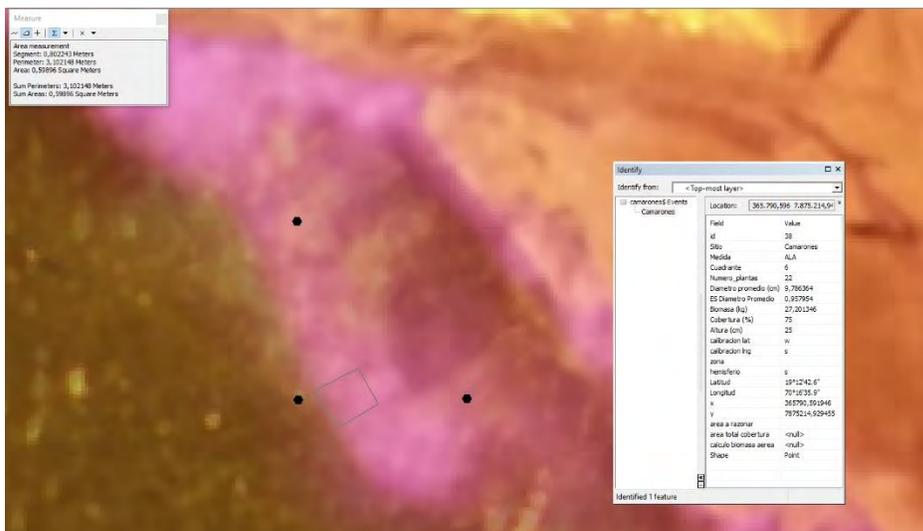


Figura 72.- Resultado Puntos Referencia

Calculo sobre punto identificado con características espectrales y vectoriales

Tabla de datos sobre punto identificado

Id	área metros cuadrados	perímetro	altura polígono cm	biomasa M1 KG/metros cuadrado	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Método Existencias KG/metros cuadrado
38	0,59	3,10	12	49,03	24,70	24,51

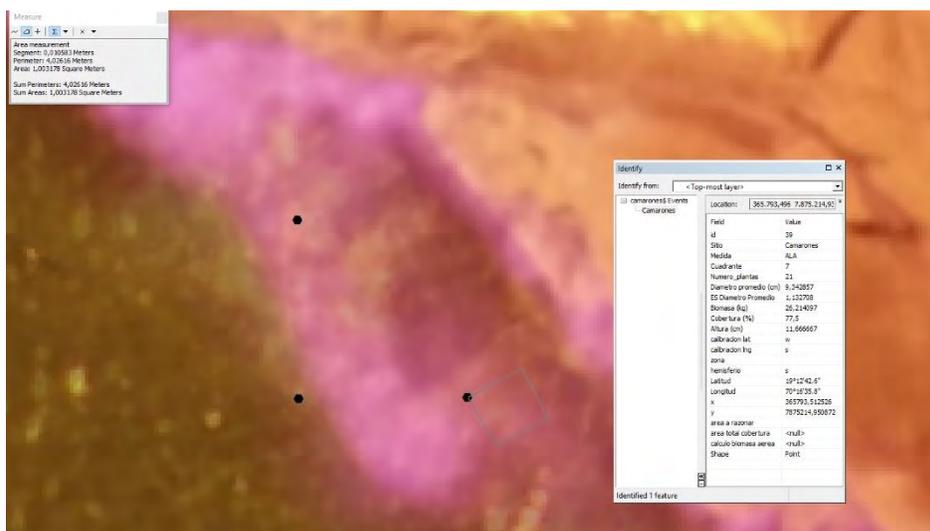


Figura 73.- Resultado Puntos Referencia

Medición de 1 metro cuadrado

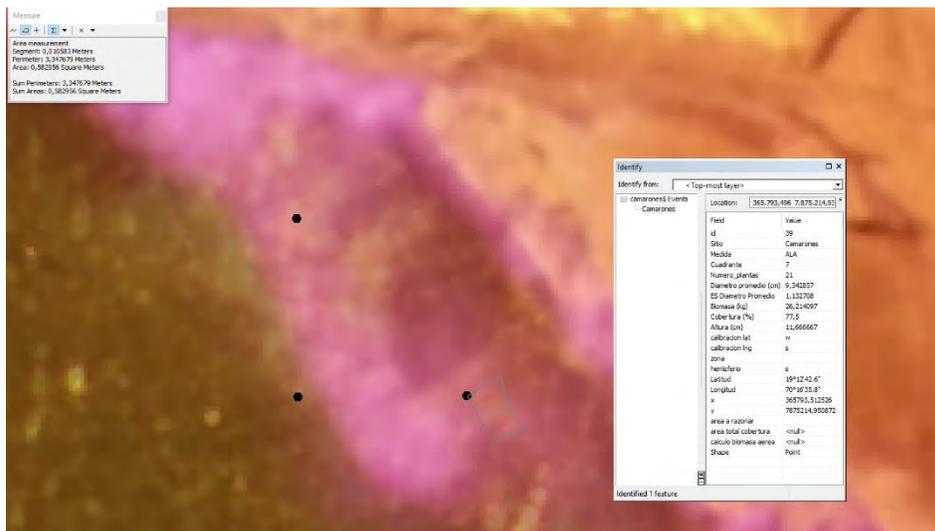


Figura 74.- Resultado Puntos Referencia

Tabla de datos sobre resultados identificados

I d	área metros cuadrados	perímetro	altura polígono cm	biomasa M1 KG/metros cuadrado	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Método Existencias KG/metros cuadrado
39	0,58	3,34	13,4	52,91	32,21	26,45

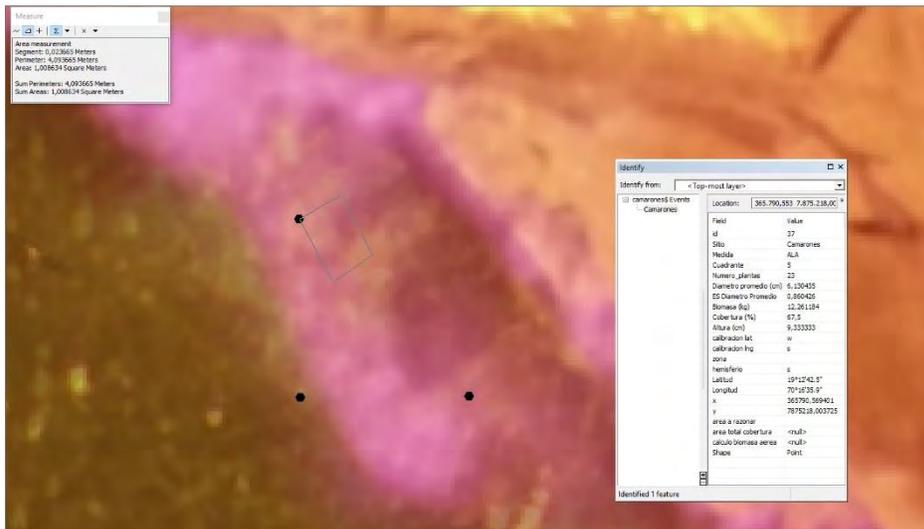


Figura 75.- Resultado Puntos Referencia

Medicion de 1 metro cuadrado

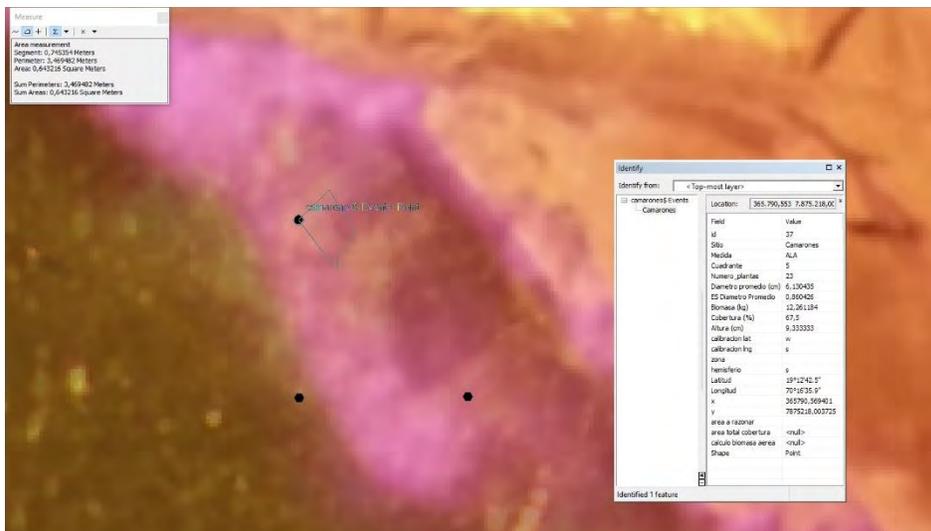


Figura 76.- Resultado Puntos Referencia

Tabla de datos sobre resultados identificados

Id	área metros cuadrados	perímetro	altura polígono cm	biomasa M1 KG/metros cuadrados	Biomasa Winrock KG/metros cuadrados	Biomasa Método Existencias KG/metros cuadrados
37	0,64	3,46	13,4	54,84	32,21	27,42

Consolidado de datos para camarones

Tabla de datos Consolidado de datos para camarones

id	Cuadrante	Biomasa (kg)	Altura (cm)	m2 aéreo	perímetro	altura polígono cm	BIOMASA Aérea	WINROCK	Método Existencias
34	2	16,3505614	8	0,643216	3,469482	13,4	54,8400897	32,2176884	27,4200448
38	6	27,2013455	25	0,59896	3,102148	12	49,0338542	24,7081807	24,5169271
39	7	26,2140972	11,6666667	0,582956	3,347679	13,4	52,9148203	32,2176884	26,4574102

Comparación Camarones

Tabla de datos Comparación de datos para camarones

id	Cuadrante	Biomasa Directa	BIOMASA Indirecta	WINROCK	Método Existencias
34	2	16,3505614	54,8400897	32,2176884	27,4200448
38	6	27,2013455	49,0338542	24,7081807	24,5169271
39	7	26,2140972	52,9148203	32,2176884	26,4574102

Identificación Marcadores y Mediciones

URCO



Figura 77.- Resultado Puntos Referencia

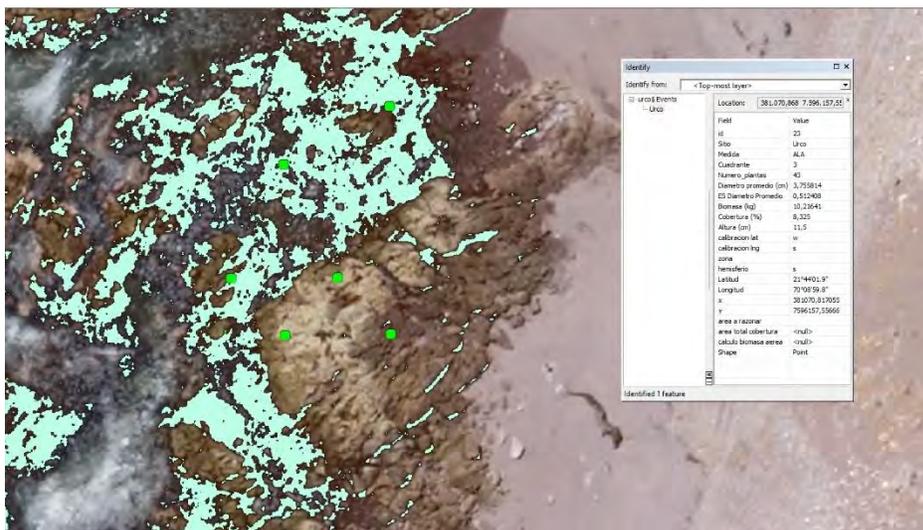


Figura 78.- Resultado Puntos Referencia

Punto id 21,22,23,30,31 sobre tierra o roca no se observan características espectrales ni vectoriales, por ende, es un punto con biomasa =0

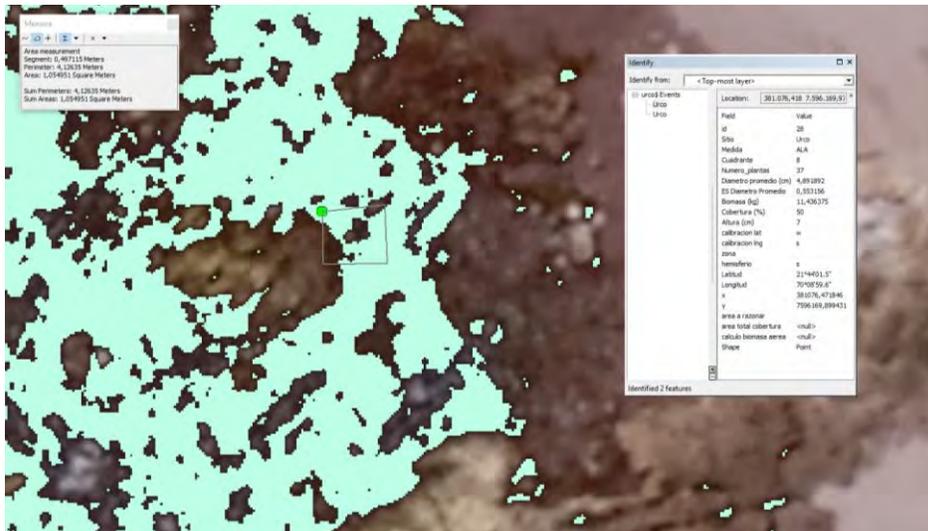


Figura 79.- Resultado Puntos Referencia

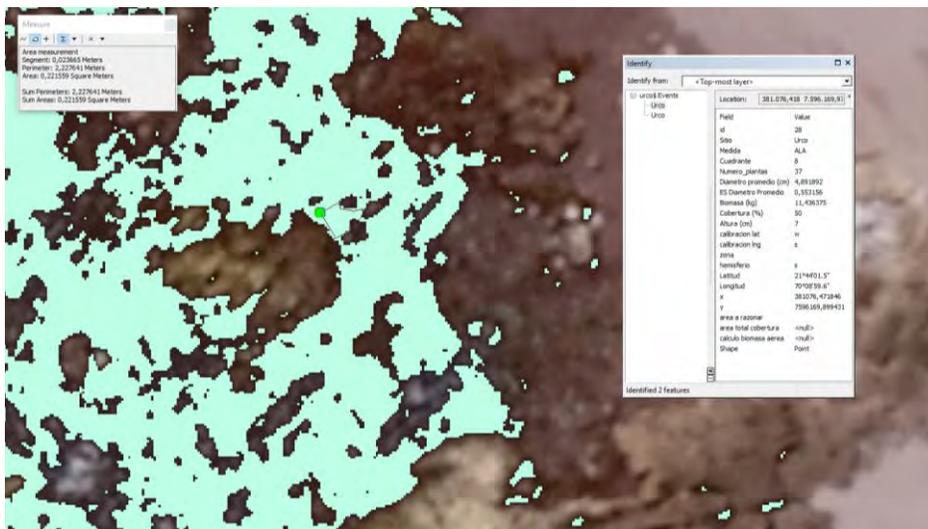


Figura 80.- Resultado Puntos Referencia

Tabla de datos Comparación de datos para URCO

Id	área metros cuadrados	perímetro	altura polígono cm	biomasa M1 KG/metros cuadrado	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Métodos Existencias KG/metros cuadrado
28	0,22	2,22	13,4	35,21	32,21	17,60

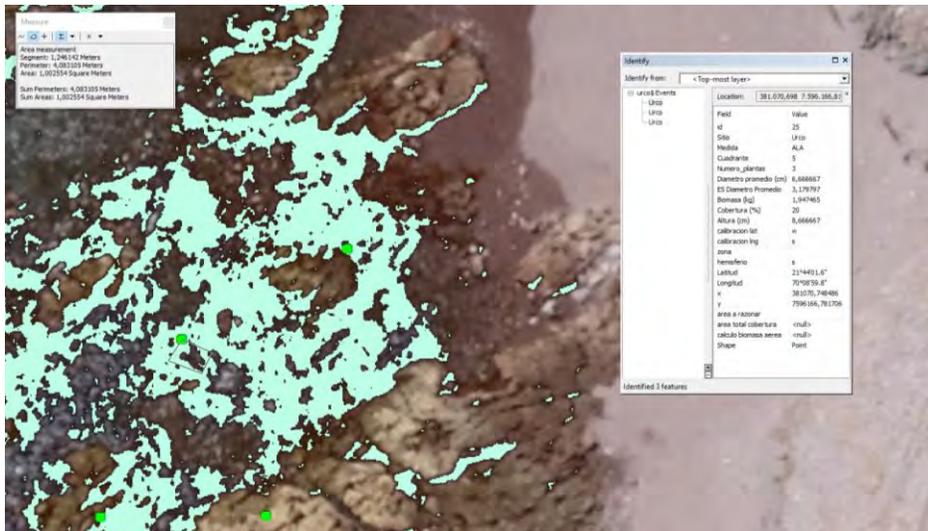


Figura 81.- Resultado Puntos Referencia

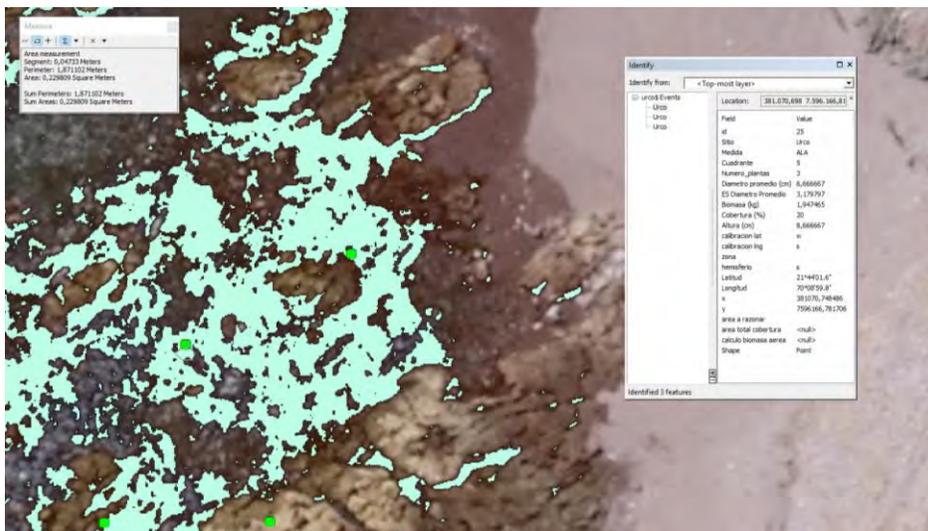


Figura 82.- Resultado Puntos Referencia

Tabla de datos Comparación de datos para URCO

Id	área metros cuadrados	perímetro	altura polígono cm	biomasa M1 KG/metros cuadrado	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Método Existencias KG/metros cuadrado
25	0,22	1,08	9	17,18	12,37	8,59

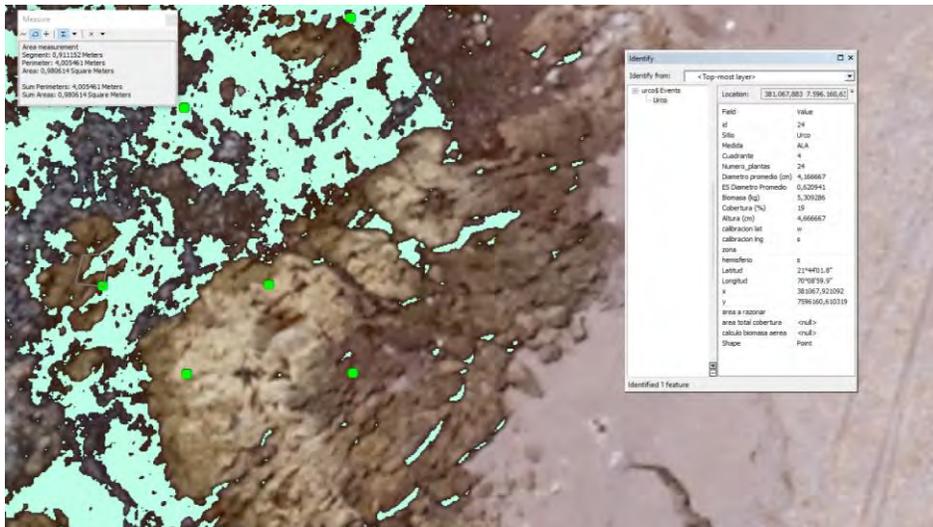


Figura 83.- Resultado Puntos Referencia

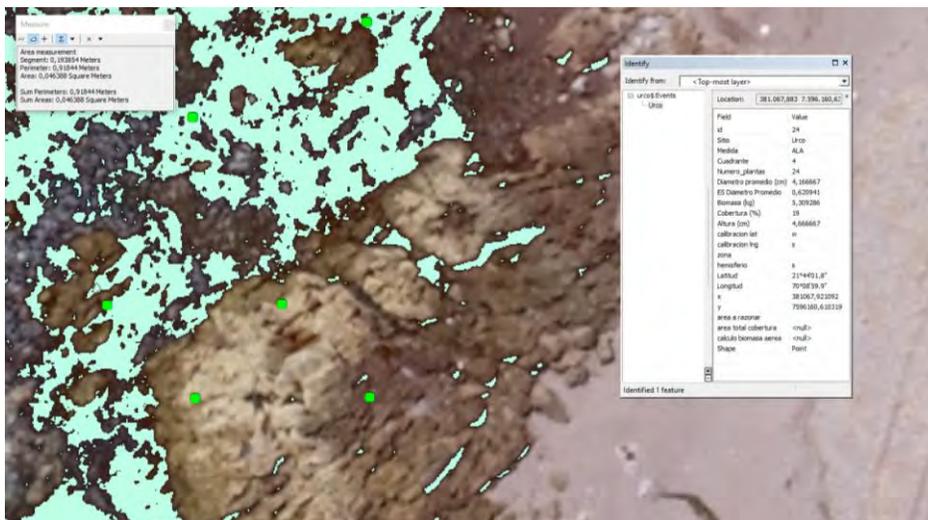


Figura 84.- Resultado Puntos Referencia

Tabla de datos Comparación de datos para URCO

Id	área metros cuadrados	perímetro	altura polígono cm	biomasa M1 KG/metros cuadrados	Biomasa Winrock KG/metros cuadrados	Biomasa Método Existencias KG/metros cuadrados
24	0,04	0,98	9	15,51	12,37	7,75

Consolidado de datos para URCO

Tabla de datos URCO

id	Cuadrante	Biomasa (kg)	Altura (cm)	m2 aéreo	perímetro	altura polígono cm	BIOMASA Aérea	WINROCK	Método Existencias
24	4	5,30928649	4,66666667	0,046388	0,981844	9	15,5194386	12,3700005	7,75971932
25	5	1,94746531	8,66666667	0,229809	1,0871102	9	17,1833204	12,3700005	8,5916602
28	8	11,4363749	7	0,221559	2,227641	13,4	35,2110293	32,2176884	17,6055146

Comparación URCO

Tabla de datos Comparación URCO

id	Cuadrante	Biomasa (kg)	BIOMASA indirecta	WINROCK	Método Existencias
24	4	5,30928649	15,5194386	12,3700005	7,75971932
25	5	1,94746531	17,1833204	12,3700005	8,5916602
28	8	11,4363749	35,2110293	32,2176884	17,6055146

Bibliografía.

Miguel Marabel García. (2016). Estimación de la biomasa aérea de herbáceas con sensores aerotransportados de alta resolución. España: Universidad de León.

Markelin, L., 2013. Radiometric Calibration, Validation and Correction of Multispectral Photogrammetric Imagery. Dissertation. Publications of the Finnish Geodetic Institute, 148.

Alspaugh, D., 2004. A brief history of photogrammetry. In: McGlone, J.C. (ed.) Manual of Photogrammetry, Fifth Edition. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, USA, 1-12.

García-Ferrer, A., 2013. Potencialidad y nuevas orientaciones en el uso de la teledetección en agricultura y silvicultura. *Ambienta: La revista del Medio Ambiente*, 105, 6-15.

García, C.E., Herrera, F.A., Erazo, E.O., 2014. Metodología básica para la generación de índices de vegetación mediante imágenes multiespectrales aerotransportadas aplicada en cultivos de caña de azúcar. In: XVI Simposio Internacional Selper 2014, Medellin, Selper, Memorias artículos CD-ROM.

Gómez-Molina, A., Arjonilla-Sampedro, F.J., Antolín-Sánchez, R., Pérez-García, J.L., Delgado-García, J., 2010. Aplicaciones medioambientales del sensor fotogramétrico de matriz lineal ADS40. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla, 135-147.

- Hadlei, B.C., García-Quijano, M., Jensen, J.R., 2005. Empirical versus model-based atmospheric correction of digital airborne imaging spectrometer hyperspectral data. *Geocarto International*, 20(4), 21-28.
- Marabel-García, M., Álvarez-Taboada, F., 2014. Estimación de biomasa en herbáceas a partir de datos hiperespectrales, regresión PLS y la transformación continuum removal. *Revista de Teledetección*, 42, 49-60.
- Santos-Pérez, L.J., 2006. Cámaras fotogramétricas aéreas digitales: ventajas e inconvenientes. Influencias en la ejecución de cartografía catastral. Dirección General de Catastro.
- Abdel-Rahman, E.M., Ahmed, F.B., Ismail, R., 2013. Random forest regression and spectral band selection for estimating sugarcane leaf nitrogen concentration using EO-1 Hyperion hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(2), 712-728.
- Ambrosia, V., Wegener, S., Sullivan, D., Buechel, S., Dunagan, S., Brass, J., et al., 2003. Demonstrating UAV-acquired real-time thermal data over fires. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(4), 391-402.
- Clevers, J., 1997. A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data. *Remote Sens. Environ.*, 61, 221-228.
- Clevers, J.G.P.W., Vonder, O.W., Jongschaap, R.F.E., Desprats, J.F., King, C., Prévot, L., Brugier, N., 2002. Using SPOT data for calibrating a wheat growth model under Mediterranean conditions. *Agronomie*, 22, 687-694.
- Clevers, J., van der Heijden, G., Verzakov, S., et al., 2007. Estimating grassland biomass using SVM band shaving of hyperspectral data. *Photogramm Eng Remote Sens*, 73, 1141.

- Clevers, J.G.P.W., Kooistra, L., Schaepman, M.E., 2008. Using spectral information from the NIR water absorption features for the retrieval of canopy water content. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.*, 10, 388-397.
- Chuvienco-Salineró, E., 1993. Integration of linear programming and GIS for land-use modeling. *International Journal of Geographical Information System* 7(I), 71-83.
- Chuvienco-Salineró, E., 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*, Madrid: Ed. Rialp, 568 p.
- Chuvienco-Salineró, E., 2000. *Fundamentos de teledetección espacial*. RIALP, 568 p.
- Chuvienco-Salineró, E., 2002. *Teledetección ambiental*, Ariel, 584 p.
- Chuvienco-Salineró, E., 2008. *Earth observation of global change. The role of satellite remote sensing in monitoring the global environment*. Springer Berlín Heidelberg New York.
- Chuvienco-Salineró, E., Huete, A., 2010. *Fundamentals of satellite remote sensing*. Boca Raton (FL), CRC Press. Boca Raton (USA), 302-310.
- Návar, J. 2009a. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 257:427-434.
- Návar, J. 2009b. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. *Annals of Forest Science* 66:208-216.
- Návar, J. 2010. Measurement and assessment methods of forest aboveground biomass: A literature review and the challenges ahead. In Momba, M; Bux, F. eds. *Biomass. Sciyo Open Access to Knowledge*. Intechopen. p. 27-64.

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

IPCC (2000). Watson R., Noble I.R., Bolin B., Ravindranath, N.H., Verardo D.J. and Dokken D.J. (Eds). Land use, Land-use Change, and Forestry: A Special Report. Cambridge University Press. Cambridge, UK. IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

Zianis, D; Mencuccini, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management* 187:311-332.

Harald Aalde (Noruega), Patrick Gonzalez (Estados Unidos), Michael Gytarsky (Federación Rusa), Thelma Krug (Brasil), Werner A. Kurz (Canadá), Rodol D. Lasco (Filipinas), Daniel L. Martino (Uruguay), Brian G. McConkey (Canadá), Stephen Ogle (Estados Unidos), Keith Paustian (EE.UU.), John Raison (Australia), N.H. Ravindranath (India), Dieter Schoene (FAO), Pete Smith (Reino Unido), Zoltan Somogyi (Comisión Europea/Hungría), Andre van Amstel (Países Bajos) y Louis Verchot (ICRAF/Estados Unidos) . (2006). METODOLOGÍAS GENÉRICAS APLICABLES A MÚLTIPLES CATEGORÍAS DE USO DE LA TIERRA. USA: IPCC.

MacDicken K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI). Consultado 22 ago. 2007. Disponible en <http://www.winrock.org/REEP/PUBSS.html>.

Malhi Y, J Grace. 2000. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. Trends in Ecology and Evolution 15(8): 332-336.

Márquez L. 1997. Validación de campo de los métodos del Instituto Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para cuantificar carbono en sistemas agroforestales. Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala. 45 p.

William Fonseca G a*, Federico Alice G a, José María Rey B b. (2009). Models for biomass estimation in native forest tree plantations and secondary forests in the Costa Rican Caribbean Region. Costa Rica: Bosque (Valdivia).

ANEXO 2: MEDICIÓN BIOMASA DRONES. COMPARACIÓN REGRESIONES

Informe 2

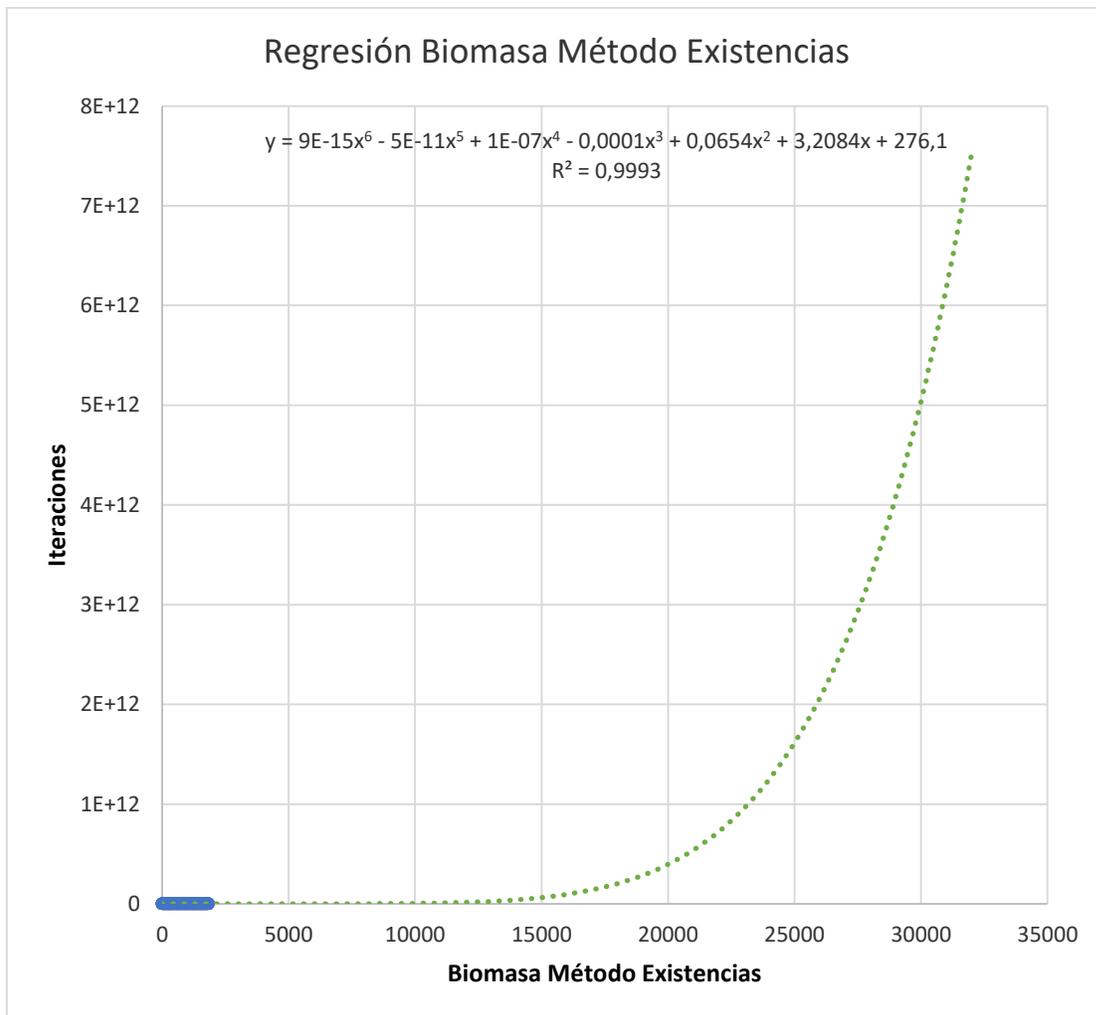
Medición Biomasa

Comparación

Regresiones

RESULTADOS Espacio Muestral

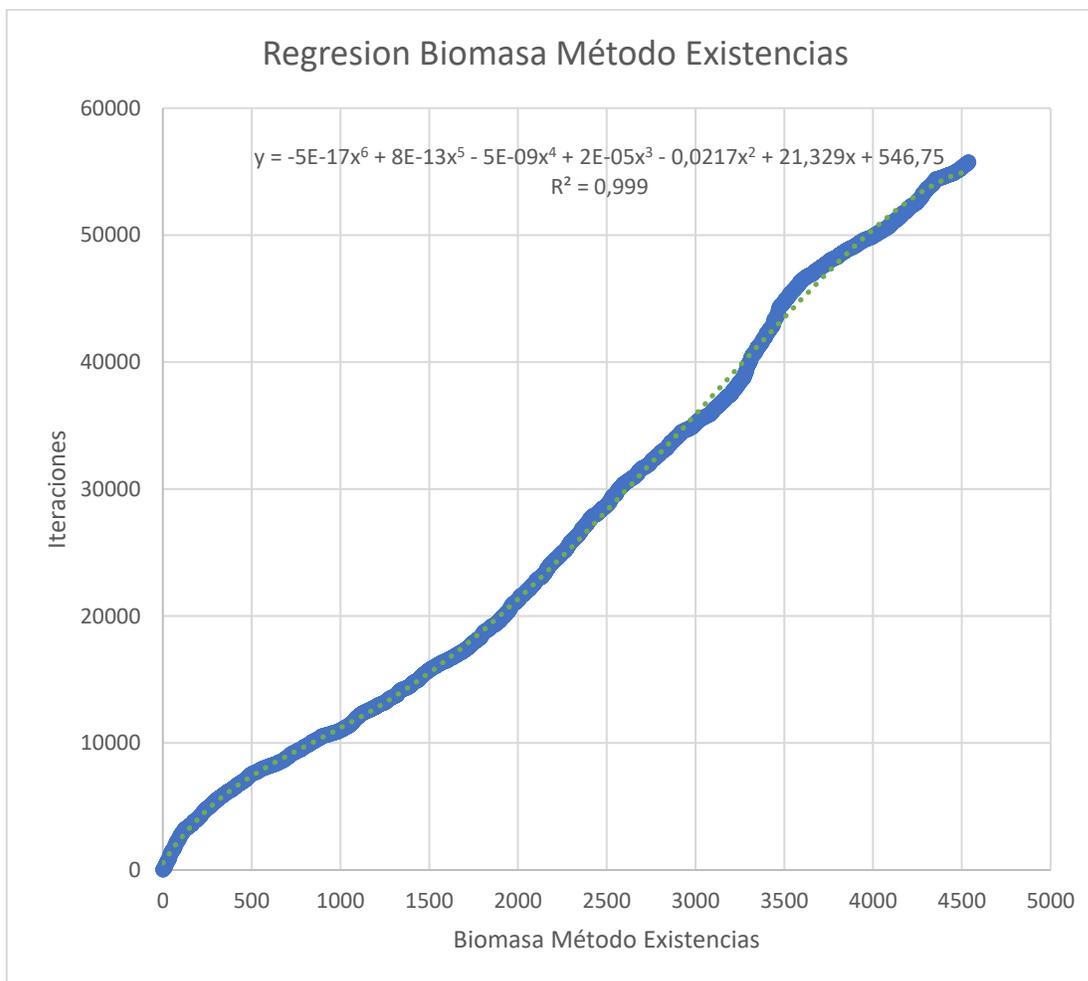
Camarones



$$y = 9E-15x^6 - 5E-11x^5 + 1E-07x^4 - 0,0001x^3 + 0,0654x^2 + 3,2084x + 276,1$$

$$R^2 = 0,9993$$

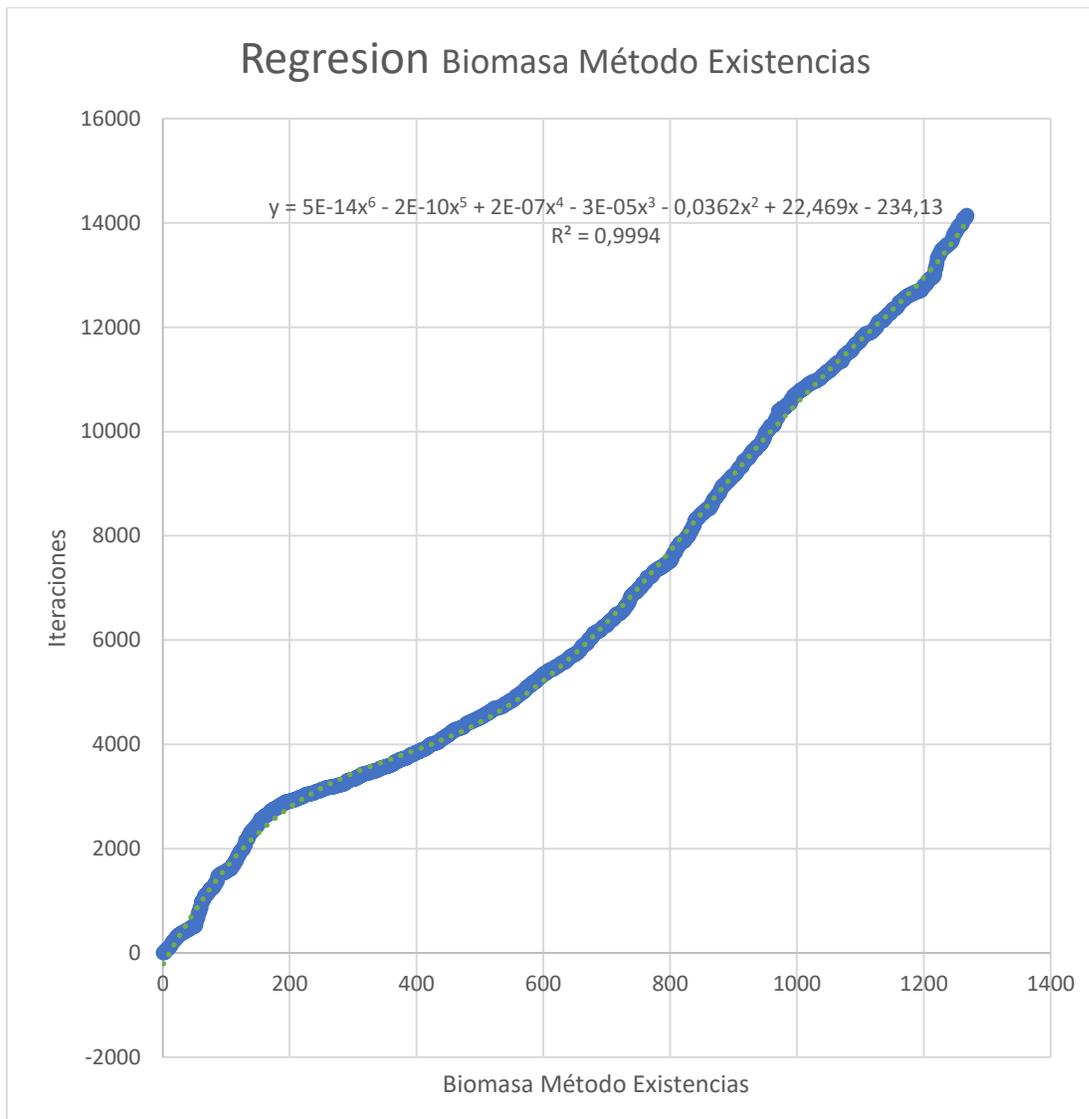
Urco



$$y = -5E-17x^6 + 8E-13x^5 - 5E-09x^4 + 2E-05x^3 - 0,0217x^2 + 21,329x + 546,75$$

$$R^2 = 0,999$$

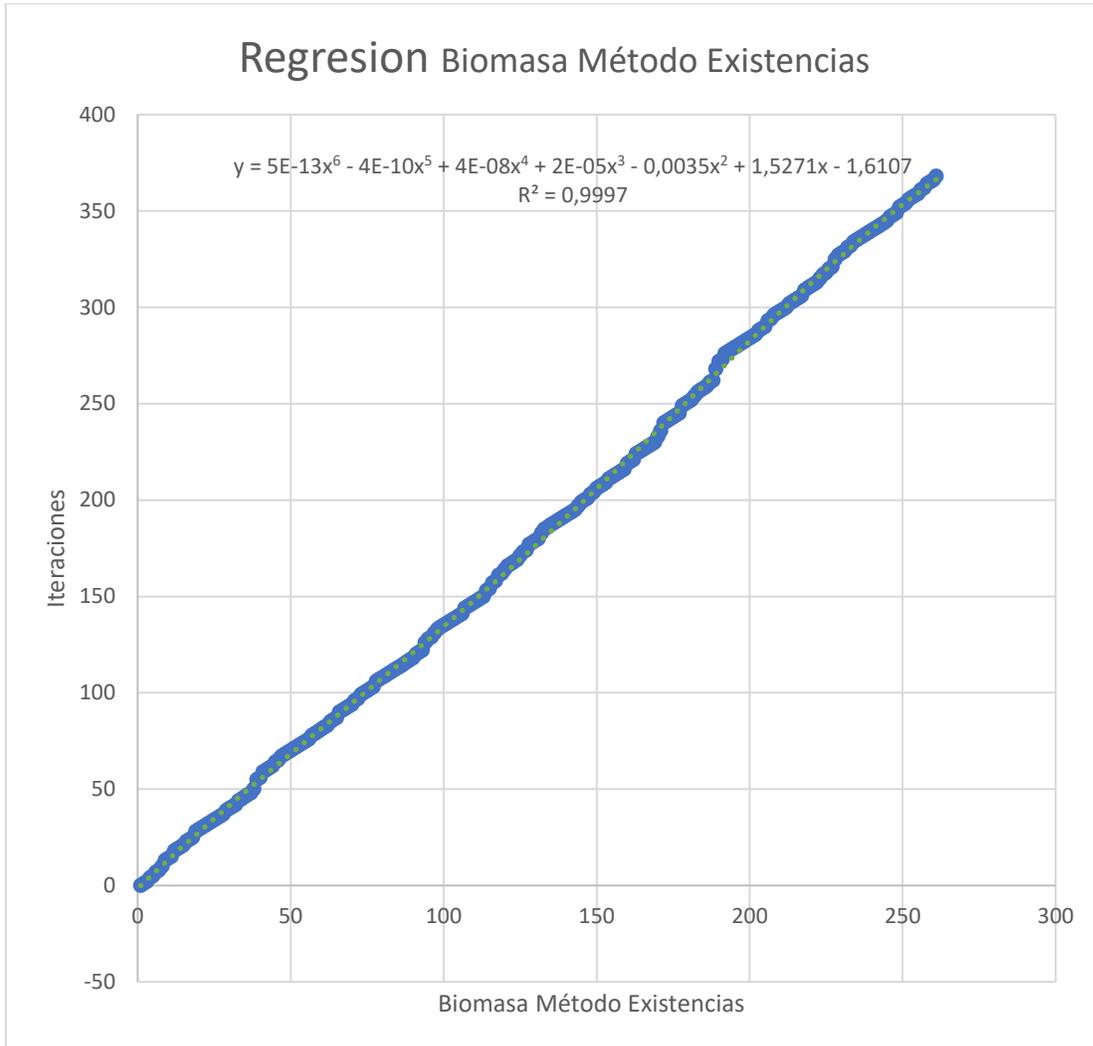
Huiro



$$y = 5E-14x^6 - 2E-10x^5 + 2E-07x^4 - 3E-05x^3 - 0,0362x^2 + 22,469x - 234,13$$
$$R^2 = 0,9994$$



Pisagua



$$y = 5E-13x^6 - 4E-10x^5 + 4E-08x^4 + 2E-05x^3 - 0,0035x^2 + 1,5271x - 1,6107$$
$$R^2 = 0,9997$$

RESULTADOS Comparación

Tablas

Camarones

i d	Cuad rante	Biomasa Directa (kg)	biomasa KG/metros cuadrado	M1	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Existencias KG/metros cuadrado	Método KG/metros cuadrado
41	9	9,96646733	0		0	0	
36	4	11,120171	52,9148203		32,2176884	26,4574102	
37	5	12,2611843	0		0	0	
34	2	16,3505614	54,8400897		32,2176884	27,4200448	
40	8	19,2501109	52,9148203		32,2176884	26,4574102	
35	3	19,7192403	0		0	0	
33	1	24,7044287	54,8400897		32,2176884	27,4200448	
39	7	26,2140972	52,9148203		32,2176884	26,4574102	
38	6	27,2013455	49,0338542		24,7081807	24,5169271	



Urco

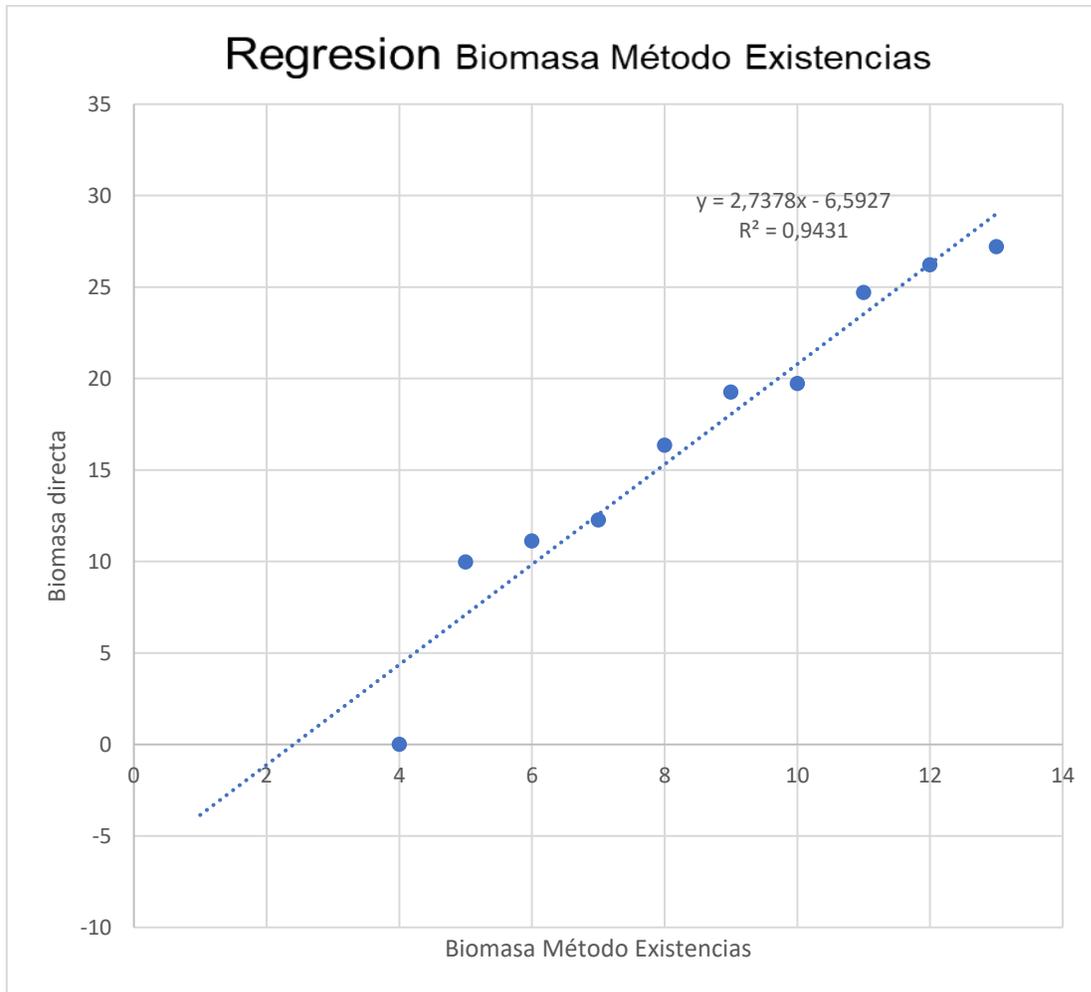
i d	Cuad rante	Biomasa Directa (kg)	biomasa KG/metros cuadrado	M1	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Existencias cuadrado	Método KG/metros cuadrado
30	10	1,23046995	0		0	0	
25	5	1,94746531	17,1833204		12,3700005	3,5916602	
32	12	2,25474459	17,1833204		12,3700005	4,5916602	
22	2	3,04413536	0		0	0	
24	4	5,30928649	15,5194386		12,3700005	7,75971932	
26	6	6,50920926	15,5194386		12,3700005	8,75971932	
29	9	6,6630615	35,2110293		32,2176884	17,6055146	
31	11	6,76403364	0		0	0	
21	1	8,15577685	0		0	0	
27	7	8,99089918	35,2110293		32,2176884	10,6055146	
23	3	10,21641	0		0	0	
28	8	11,4363749	35,2110293		32,2176884	17,6055146	

Pisagua

id	Cuadrante	Biomasa Directa (kg)	biomasa M1 KG/metros cuadrado	Biomasa Winrock KG/metros cuadrado	Biomasa Existencias KG/metros cuadrado	Método
9	9	11,57436 29	23,1837504	33,039109	11,5918752	
19	9	13,24186 07	26,4847632	12,3700005	13,2423816	
10	10	13,29634 7	26,5974629	12,3700005	13,2987315	
5	5	15,35432 44	30,7183547	31,3849621	15,3591773	
12	2	15,63714 3	34,2050929	18,9700445	17,1025464	
7	7	19,79993 86	49,03	24,71	24,52	
13	3	21,81664 21	47,1246283	12,3700005	23,5623142	
18	8	23,16135 71	56,4118485	12,3700005	28,2059242	
1	1	26,17025 82	63,1482285	18,4111767	31,5741143	
6	6	27,06102 9	54,84	32,22	27,42	
2	2	28,39275 65	49,03	24,71	24,52	
4	4	33,62798 92	54,84	32,22	27,42	
8	8	37,59553 59	0,00	0,00	0,00	

Gráficos Comparación

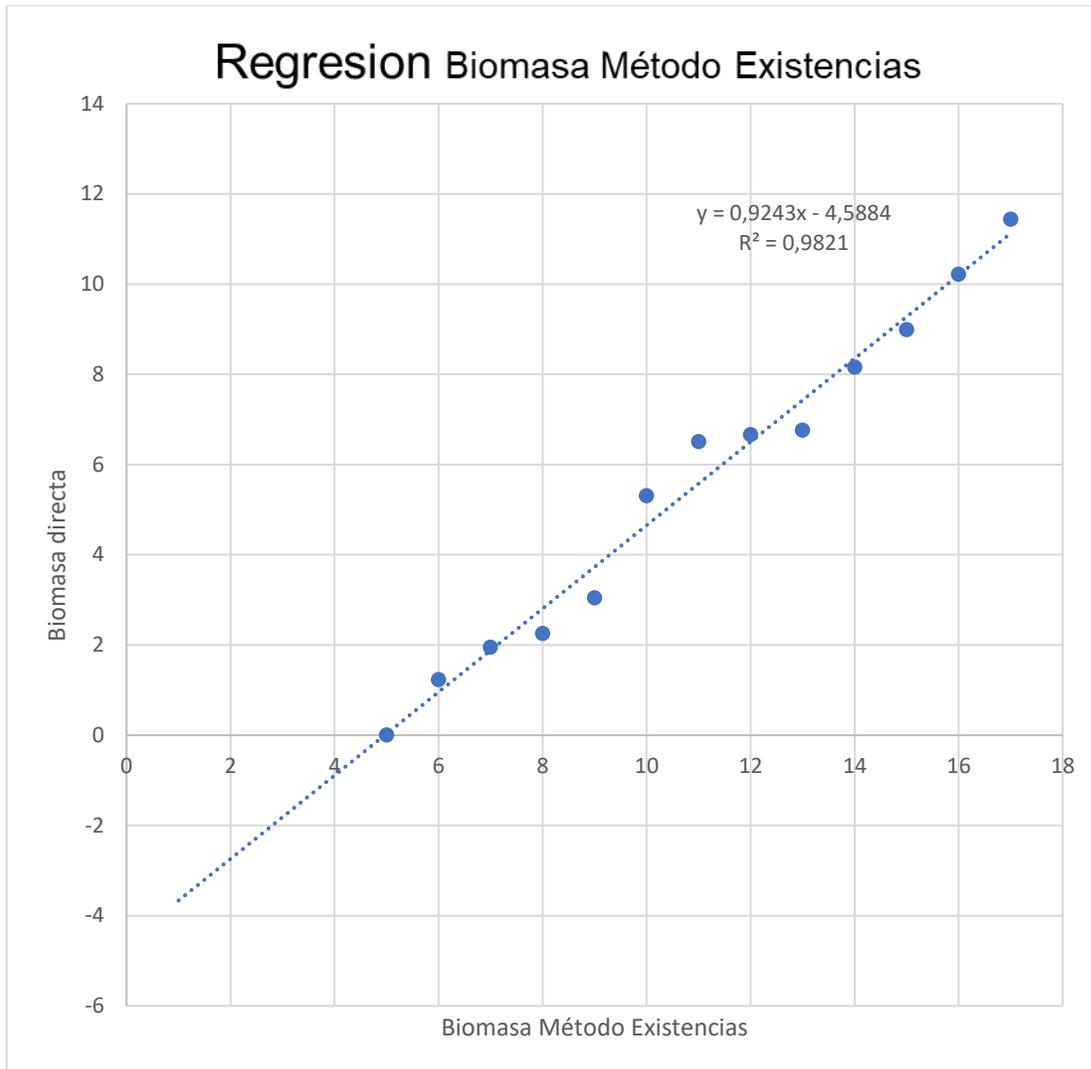
Camarones



$$y = 2,7378x - 6,5927$$

$$R^2 = 0,9431$$

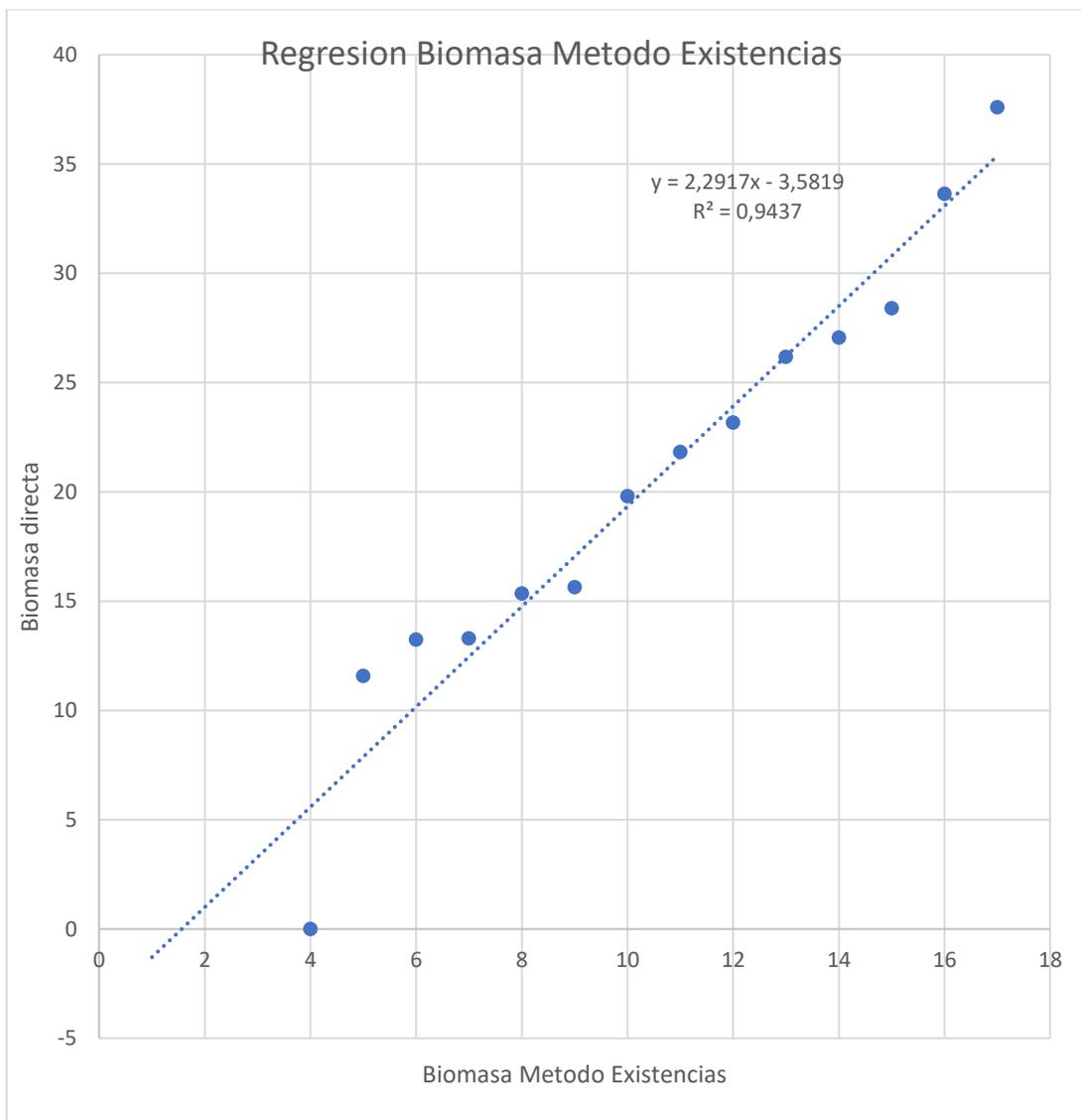
Urco



$$y = 0,9243x - 4,5884$$

$$R^2 = 0,9821$$

Pisagua



$$y = 2,2917x - 3,5819$$

$$R^2 = 0,9437$$