

# Evaluación del uso de las algas lamilla (*Ulva lactuca* L.) y sargazo (*Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh) bajo distintos bioprocesos como fertilizantes y bioestimulantes en el cultivo de papa en Chiloé

Andrés Navarro, Natalia Venegas, Carlos Venegas

## 1. Introducción

Chiloé ha sido declarado por FAO como un Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM), debido a su patrimonio agrícola, saberes tradicionales y agrobiodiversidad. Prueba de ello son algunos métodos ancestrales derivados de la sinergia campo-mar propia de la cultura williche, como el uso de algas marinas en la fertilización orgánica de hortalizas y tubérculos. Sin embargo, la intensificación en el uso de fertilizantes sintéticos en el territorio ha ocasionado una pérdida progresiva de las prácticas de manejo sostenibles basadas en recursos locales.

Las algas marinas presentan en su composición diversos elementos con características de macro y micronutrientes esenciales para los cultivos. Existen diferencias entre las concentraciones de estos elementos en algas verdes, pardas y rojas, así como también entre algas de una misma especie colectadas en zonas distintas, debido a factores ambientales que influyen en su acumulación (Astorga-España et al., 2015). Estas macroalgas poseen, además de nutrientes, moléculas con funciones sobre el crecimiento, respuesta al estrés y procesos fisiológicos de los vegetales en general, conocidas como reguladores de crecimiento (Stirk & van Staden, 2014).

Los extractos de algas, principalmente pardas, se usan ampliamente en horticultura debido a sus efectos positivos sobre el crecimiento y la tolerancia a condiciones ambientales de salinidad, temperaturas extremas, deficiencia de nutrientes y sequía (Battacharyya et al., 2015). Diversas investigaciones han demostrado los múltiples roles de estos extractos en la salud vegetal, la fortificación y calidad de los cultivos, y el mejoramiento de las propiedades del suelo, a través de mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares (Sangha et al., 2014).

Por otro lado, el compostaje de macroalgas ha sido evaluado hasta ahora como un método de estabilización de residuos algales en ambientes eutroficados. Las características de las algas imponen algunas dificultades al proceso de compostaje: baja relación C/N, asociada a pérdidas de nitrógeno; alta humedad y baja porosidad, que en conjunto dificultan la aireación; y un producto potencialmente salino y rico en metales pesados. Para enfrentar estas dificultades, comúnmente se recomienda emplear materiales de co-compostaje (Han et al., 2014).

El mercado de fertilizantes a base de algas marinas tiene amplias perspectivas de expansión en la actualidad, considerando las tendencias globales de producción limpia e inocuidad alimentaria. Sin embargo, la demanda acoplada de esta industria y otras ya consolidadas (extracción de hidrocoloides, abalonicultura, alimentación humana) puede exceder las capacidades de regeneración de las poblaciones naturales, siendo imposible proyectar un crecimiento sostenible sino en base a la repoblación de las especies de interés y su acuicultura intensiva (Buschmann et al., 2014).

El objetivo de este estudio es evaluar el potencial del uso de algas bajo distintos bioprocesos como fertilizantes y/o bioestimulantes en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en un suelo volcánico de la Isla Grande de Chiloé.

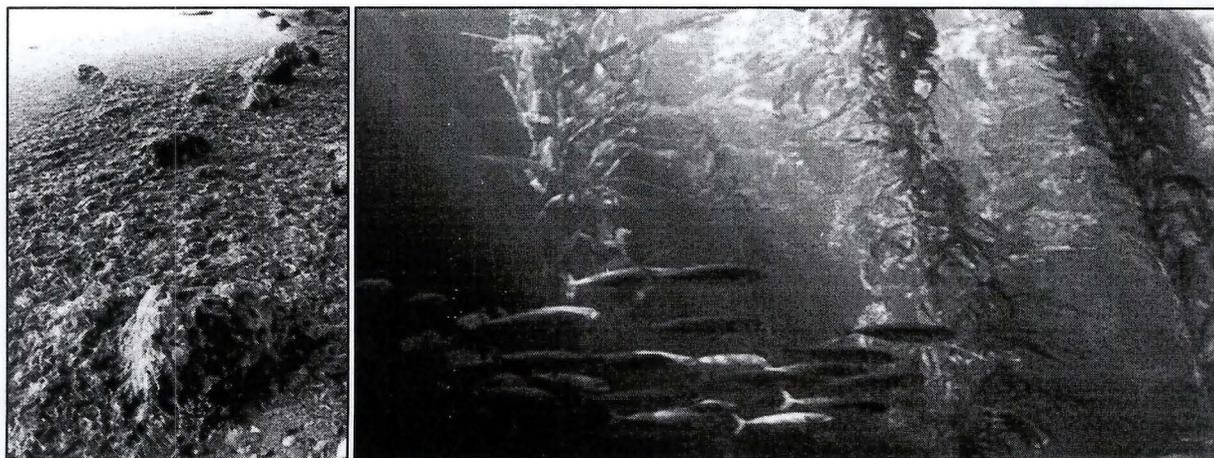


Figura 1. Varazón de lamilla (izquierda) y bosque de sargazo (derecha).

## 2. Materiales y métodos

Debido a su abundancia y tradición de uso en el territorio, las especies de macroalgas seleccionadas fueron el alga verde *Ulva lactuca* L., localmente conocida como “lamilla”, y el alga parda *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh, cuyo nombre común es “sargazo” (Figura 1). Las algas fueron recolectadas manualmente en el borde costero de la península de Lacuy, comuna de Ancud. Estas fueron almacenadas en sacos y transportadas hacia un galpón techado en el sector, para ser procesadas artesanalmente *in situ* durante el período invernal.

Ambas especies de algas fueron mezcladas en partes iguales y co-compostadas con otros materiales, para optimizar humedad, relación C/N y contenido de nutrientes. La mezcla incluyó algas frescas (50%), pasto ensilado (35%), estiércol ovino (15%) y suelo, dispuestos en capas hasta formar una pila de 10 m<sup>3</sup>. Se dispusieron tubos de PVC perforados a lo largo de la pila para favorecer la aireación pasiva de la mezcla, la cual fue volteada dos veces en forma manual durante el proceso de compostaje (Figura 2). Al cabo de 3 meses se produjo la descomposición de gran parte del material y una reducción de volumen del 70% aproximadamente. El compost no presentó olores, aunque se reconocieron fragmentos de pasto sin descomponer, por lo que el producto fue tamizado a 10 mm (con una consiguiente pérdida de material) para luego ser envasado en sacos de 80 L.



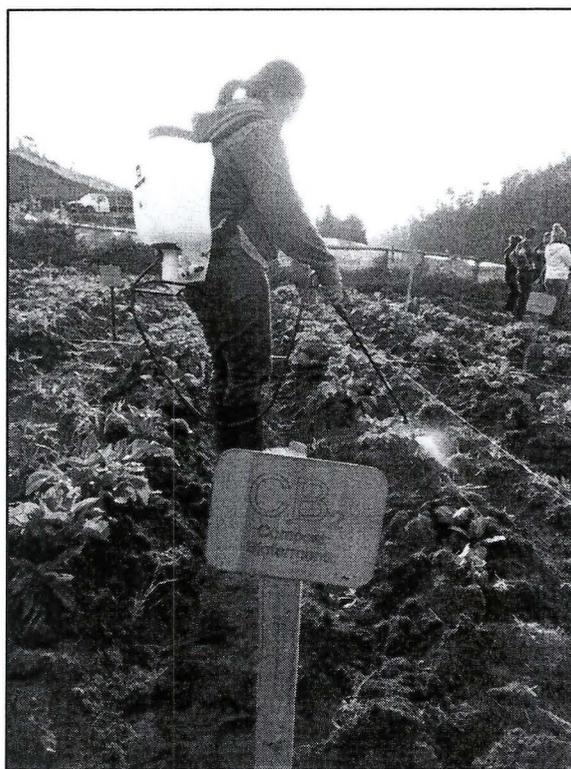
**Figura 2.** Volteo manual de pila de compost.

En paralelo a lo anterior se llevó a cabo una fermentación aeróbica de algas en agua, también combinadas con otros materiales. En 3 estanques de 200 L se dispuso una mezcla de agua (150 L), algas frescas (20 kg), estiércol ovino (5 kg), mantillo de bosque (1 kg), leche (2 L), chancaca y levadura de pan. Sin embargo, cada estanque contó con una composición diferente de algas: 50% *U. lactuca* + 50% *M. pyrifera* (UM), 100% *U. lactuca* (U) y 100% *M. pyrifera* (M). Dichas mezclas fueron agitadas diariamente durante un período de 30 días, al cabo del cual fueron tamizadas a 1 mm y envasadas por separado en bidones plásticos de 5 L.

Se realizaron análisis de laboratorio en muestras de *U. lactuca*, *M. pyrifera*, estiércol ovino, compost de algas y extractos líquidos de algas (UM, U y M) para determinar sus características químicas y fisico-químicas.

Para conocer el potencial agronómico de los productos obtenidos se llevó a cabo un ensayo de campo mediante un cultivo de papa, en una superficie de 250 m<sup>2</sup> ubicada en el sector de Chauman, península de Lacuy. A fines de octubre de 2016 se sembró el cultivar comercial Romano, escogido debido a su popularidad entre los agricultores locales. El ensayo se desarrolló en un suelo franco arcilloso, profundo, de baja horizonación y sin estratas limitantes, características físicas y morfológicas poco comunes en los suelos de Chiloé. No obstante lo anterior, su alta acidez, saturación de aluminio y contenido orgánico se ajustan plenamente a las del conjunto de suelos volcánicos del sur de Chile. Las propiedades químicas

y físico-químicas se describen con más detalle en el Cuadro 3. El extracto UM fue seleccionado para su aplicación foliar durante el ensayo (Figura 3), con independencia de su contenido nutricional y hormonal. Esta decisión apunta a un manejo diversificado de la nutrición vegetal, que no implique la dependencia exclusiva de una especie de alga y, por otro lado, que no conlleve a la sobre-explotación de dicho recurso en el largo plazo. La importancia de los bosques de sargazo en cuanto a biodiversidad y amortiguación climática ha sido ampliamente descrita (Vásquez et al., 2014).

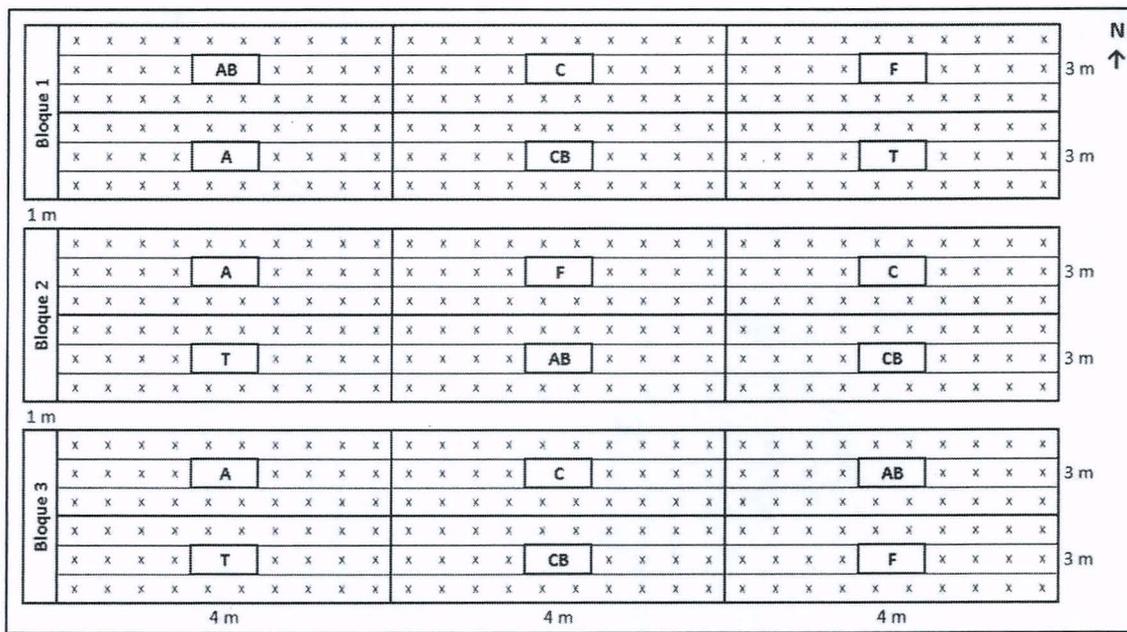


**Figura 3.** Aplicación foliar de extracto líquido.

La unidad experimental del ensayo consistió en un conjunto de 3 hileras de 4 m de longitud adyacentes entre sí, con un marco de siembra de 0,3 m sobre hilera y 1 m entre hileras, lo que dio como resultado un total aproximado de 30 plantas de papa en 12 m<sup>2</sup>. El experimento tuvo un diseño en bloques completamente aleatorizados y constó de 6 tratamientos con 3 repeticiones, descritos en detalle en el Cuadro 1. Lo anterior dio como resultado 18 unidades experimentales, cuya disposición espacial se muestra en la Figura 4.

**Cuadro 1.** Diseño experimental del ensayo.

| Tratamiento | Material                         | Dosis     | Vía    | Momento                     |
|-------------|----------------------------------|-----------|--------|-----------------------------|
| T           | Testigo, sin aplicación          |           |        |                             |
| A           | Estiércol ovino                  | 8,3 Mg/ha | Suelo  | A la siembra                |
|             | <i>M. pyriferá</i> fresca        | 8,3 Mg/ha | Suelo  | A la siembra                |
|             | <i>U. lactuca</i> fresca         | 8,3 Mg/ha | Suelo  | A los 15 días desde siembra |
| AB          | Estiércol ovino                  | 8,3 Mg/ha | Suelo  | A la siembra                |
|             | <i>M. pyriferá</i> fresca        | 8,3 Mg/ha | Suelo  | A la siembra                |
|             | <i>U. lactuca</i> fresca         | 8,3 Mg/ha | Suelo  | A los 15 días desde siembra |
|             | Extracto líquido UM              | 40 L/ha   | Foliar | Desde aporca, cada 15 días  |
| C           | Compost de algas                 | 20 Mg/ha  | Suelo  | A la siembra                |
| CB          | Compost de algas                 | 20 Mg/ha  | Suelo  | A la siembra                |
|             | Extracto líquido UM              | 40 L/ha   | Foliar | Desde aporca, cada 15 días  |
| F           | Fertilizante mineral NPK 8-25-15 | 3,3 Mg/ha | Suelo  | A la siembra                |



**Figura 4.** Distribución de tratamientos y dimensiones del ensayo.

A los 35 días desde la siembra, una vez establecido el cultivo y realizada la aporca, se marcaron 5 plantas mediales de la hilera central de cada unidad experimental para la medición periódica de altura y diámetro de tallos. Al cabo de 60 días desde la siembra, en el momento de mayor desarrollo radical, se evaluó la variación en las propiedades químicas y físico-químicas del suelo frente a la aplicación de los diferentes fertilizantes. A pesar de las aplicaciones preventivas de polisulfuro de calcio, un fungicida aceptado por la normativa nacional de producción orgánica, comenzaron a manifestarse en este punto daños en la parte aérea de las plantas por tizón tardío de la papa (*P. infestans*), situación que venía presentándose en toda la provincia producto de una temporada con coincidencia de eventos de precipitación y altas temperaturas. Dicha incidencia alcanzó un nivel severo y homogéneo entre tratamientos, deteniendo el crecimiento del cultivo y amenazando dañar los tubérculos, lo cual llevó a tomar la decisión de adelantar la cosecha para evitar mayores pérdidas en producción. De este modo, la cosecha se realizó 30 días antes de lo esperado inicialmente, momento en el cual se evaluó el rendimiento y la distribución de calibres. También se realizaron observaciones no estadísticas en contenido de calcio, metales pesados y sanidad de tubérculos.

El tratamiento estadístico de los datos consistió en ANDEVA al 5%, y pruebas de comparaciones múltiples de Fisher para establecer diferencias significativas entre tratamientos.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Características de los productos a base de algas

En el Cuadro 2 se presenta la caracterización de los distintos materiales orgánicos utilizados en el ensayo de eficacia de insumos orgánicos formulados en base a algas.

##### 3.1.1 Compost de algas

En Chile existe una norma referente a los estándares de calidad de un producto que se comercializa como compost, conocida como la NCh 2880 (Instituto Nacional de Normalización, 2015). Dicha regulación define límites y rangos tolerables para diversas características físicas, químicas, físico-químicas y biológicas de un compost, algunas de las cuales no fueron evaluadas en esta investigación. No obstante, se puede establecer si el producto obtenido cumple o no con los estándares más relevantes para ser clasificado como tal en el mercado nacional.

El compost obtenido presentó una humedad ligeramente superior a 45%, el máximo normativo en Chile. Esto tiene implicancias en la eficiencia de transporte del producto en grandes volúmenes, y puede estar relacionado con el tiempo de maduración y/o condiciones ambientales de su almacenamiento.

**Cuadro 2.** Propiedades químicas y físico-químicas de algas, estiércol, compost y extractos líquidos en base a peso seco.

| Parámetro                          | <i>U. lactuca</i> | <i>M. pyrifera</i> | Estiércol | Compost |                   | Extracto U | Extracto M | Extracto UM |                   |
|------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------|---------|-------------------|------------|------------|-------------|-------------------|
| Humedad                            | 83                | 84                 | 63        | 51      | %                 | -          | -          | -           | %                 |
| Materia seca                       | 17                | 16                 | 37        | 49      | %                 | -          | -          | -           | %                 |
| Densidad                           | -                 | -                  | -         | -       | g/cm <sup>3</sup> | 0,99       | 0,99       | 1,01        | g/cm <sup>3</sup> |
| pH                                 | 7,8               | 6,5                | 8,6       | 6,8     |                   | 4,9        | 5,4        | 5,0         |                   |
| CE                                 | 47,4              | 65,8               | 7,4       | 15,9    | dS/m              | 6,3        | 7,7        | 8,3         | dS/m              |
| MO                                 | 66,0              | 57,0               | 47,5      | 45,5    | %                 | 0,47       | 0,31       | 0,34        | %                 |
| CO                                 | 36,7              | 31,7               | 26,4      | 25,3    | %                 | 0,26       | 0,17       | 0,19        | %                 |
| N total                            | 6,06              | 2,35               | 1,96      | 1,94    | %                 | 0,04       | 0,03       | 0,03        | %                 |
| C/N                                | 6,1               | 13,5               | 13,5      | 13,0    |                   | 6,5        | 5,7        | 6,3         |                   |
| P total                            | 0,5               | 1,1                | 1,4       | 1,4     | %                 | 80         | 151        | 103         | mg/kg             |
| K total                            | 3,8               | 11,8               | 1,8       | 1,8     | %                 | 352        | 1650       | 1090        | mg/kg             |
| Ca total                           | 1,5               | 2,2                | 1,7       | 1,5     | %                 | 290        | 461        | 350         | mg/kg             |
| Mg total                           | 3,7               | 1,5                | 0,8       | 1,2     | %                 | 584        | 235        | 397         | mg/kg             |
| Fe total                           | 2390              | 2660               | 3275      | 3800    | mg/kg             | 71         | 26         | 54          | mg/kg             |
| Mn total                           | 45                | 45                 | 260       | 281     | mg/kg             | 3          | 2          | 2           | mg/kg             |
| B total                            | 105               | 148                | 52        | 92      | mg/kg             | 17         | 17         | 17          | mg/kg             |
| Cu total                           | 10                | 10                 | 41        | 32      | mg/kg             | 0,20       | 0,20       | < 0,01      | mg/kg             |
| Zn total                           | 17                | 18                 | 34        | 40      | mg/kg             | 1          | 3          | 3           | mg/kg             |
| GA <sub>3</sub> (giberelina)       | 0,05              | 0,22               | -         | -       | ng/g              | 17,2       | 22,3       | 21,0        | ng/mL             |
| GA <sub>4</sub> (giberelina)       | 0,19              | 0,54               | -         | -       | ng/g              | 10,5       | 17,2       | 14,3        | ng/mL             |
| IAA (auxina)                       | 0,19              | 0,47               | -         | -       | ng/g              | 20,7       | 53,0       | 14,1        | ng/mL             |
| ABA (ácido abscísico)              | 0,13              | 0,24               | -         | -       | ng/g              | 14,5       | 18,9       | 20,7        | ng/mL             |
| SA (ácido salicílico)              | 0,30              | 0,19               | -         | -       | ng/g              | 14,1       | 32,1       | 17,5        | ng/mL             |
| JA (ácido jasmónico)               | 0,17              | 0,15               | -         | -       | ng/g              | 15,2       | 33,4       | 22,3        | ng/mL             |
| Z (zeatina, citoquinina)           | 0,85              | 0,75               | -         | -       | ng/g              | 29,0       | 21,9       | 17,6        | ng/mL             |
| ZR (zeatina ribósido, citoquinina) | 0,22              | 0,72               | -         | -       | ng/g              | 31,6       | 84,5       | 8,9         | ng/mL             |

La regulación nacional señala que el pH de un compost debe encontrarse entre 5,5 y 8,0. Este producto no solo cumple con dicha exigencia, sino que su pH se acerca bastante a 7, en coincidencia con lo señalado por López-Mosquera et al. (2011) para compost de algas y considerado como valor ideal.

La CE de las algas y el compost obtenido resultó ser muy elevada, lo cual se infiere de su origen marino. Si bien los suelos en la zona sur de Chile no presentan problemas de salinidad y son constantemente lavados por la precipitación, la aplicación sostenida de este producto podría inducir procesos de salinización en el mediano plazo. En Chile la CE de un compost no puede superar los 8 dS/m, por lo que el manejo de las sales en este producto ha de ser una preocupación central en futuras innovaciones de proceso. Pareciera ser recomendable pre-lavar las algas con agua dulce, aunque algunos autores no encontraron diferencia entre esta práctica y el compostaje de algas sin lavar (Han et al., 2014). Al compostar algas pardas y residuos de pescado con corteza de pino, realizando volteos semanales y quincenales, otros autores obtuvieron una CE muy baja en el producto final (López-Mosquera et al., 2011), lo que indica que la solución podría relacionarse al co-compostaje con materiales ricos en carbono o a la oxigenación permanente durante el proceso.

En su revisión sobre el estado del arte del compostaje de algas, Han et al. (2014) han señalado que el producto final suele presentar un contenido de MO inferior al 25%, mientras que López-Mosquera et al. (2011) indican un contenido sobre el 80% al compostar algas pardas. Los análisis de este estudio arrojan un valor intermedio, aunque muy superior al exigido por la normativa chilena, y permiten un uso práctico del compost como acondicionador de suelos y promotor de la actividad biológica.

La relación C/N fue sumamente baja en los materiales compostados, confiriéndose dicha característica también al compost. Esto propicia la mineralización de materia orgánica por parte de los microorganismos y liberación de nutrientes en formas disponibles, tanto desde el compost como desde el suelo. Su relación C/N se halló muy por debajo de 25, el máximo

0,5 mg/metro

Σ sigue.

establecido para un compost Clase A. Según Han et al. (2014), en compost de algas el valor suele coincidir con este resultado, pero recomiendan acercarse a 30 co-compostando con materiales de alta relación C/N. Al realizar el test de madurez con rabanito la germinación fue nula, lo que indica que es un compost inmaduro y restringe su uso directo como sustrato bajo las condiciones descritas de elaboración.

Atendiendo a la composición de nutrientes del compost obtenido, este presentó un contenido de N similar al observado por López-Mosquera et al. (2011), superándolo ampliamente en los demás macronutrientes evaluados. Este compost calificaría plenamente como Clase A respecto al contenido de N total y los metales pesados analizados (Cu y Zn).

### 3.1.2 Extractos líquidos de algas

En cuanto a la comercialización de extractos líquidos de algas, en Chile no existe una regulación clara que exija alcanzar determinados parámetros, siendo criterio de los fabricantes cuáles son los atributos a comunicar en el producto, y responsabilidad de los agricultores exigir dicha información, o bien escoger un insumo según la cantidad de información que entrega su etiqueta. Aun así, la literatura sobre el tema es bastante amplia y permite establecer si el producto se ajusta a rangos normales a nivel internacional.

Se sabe que las algas son particularmente ricas en K y micronutrientes (Illera-Vives et al., 2015). Sin perjuicio de lo anterior, los análisis presentados mostraron predominancia de diferentes elementos para cada especie; *M. pyrifera* fue más rica en P, K, Ca, Fe y B, mientras que *U. lactuca* arrojó mayor contenido de N y Mg, siendo las concentraciones de Mn, Cu y Zn similares entre ambas. En un estudio realizado en Magallanes, Astorga-España et al. (2015) observan relaciones muy parecidas entre ambos géneros de algas, aunque valores mucho más altos de Fe y Mn para *Ulva*. Yaich et al. (2011) encontraron en *U. lactuca* un perfil relativamente similar de cationes y elementos traza, aunque advierten una gran variabilidad según la temperatura, pH, salinidad y contaminación del agua, así como la edad y estado fisiológico del individuo.

Las composiciones de nutrientes de los extractos líquidos expresaron de manera bastante directa el perfil nutricional de la especie de la cual derivan. De esta manera, el extracto de *M. pyrifera* (M) resultó ser más rico en nutrientes que el de *U. lactuca* (U), salvo por su contenido de Mg y Fe. Asimismo, el producto mixto (UM) presentó un perfil intermedio entre los otros dos extractos. Lo anterior representa una interesante oportunidad para formular mezclas en base a requerimientos nutricionales específicos de ciertos cultivos y/o estados fenológicos. La única excepción a esta correlación especie-extracto la constituye el contenido de N, bastante bajo y similar en los tres productos, lo cual podría atribuirse a pérdida de formas gaseosas durante la fermentación, debida a oxigenación insuficiente y/o baja relación C/N de las materias primas. La literatura muestra concentraciones de N similares (Rathore et al., 2009) o muy superiores (Salim, 2016) en extractos de distintas algas, lo que puede tener relación con el método de extracción empleado. Al analizar un extracto de alga parda, Elansary et al. (2016b) hallaron un contenido de macronutrientes bastante mayor que en el análogo de este trabajo (M), lo que nuevamente lleva a considerar el proceso de obtención del producto.

Diversos autores han encontrado altas concentraciones de fitohormonas en algas (Illera-Vives et al., 2015), y un comportamiento estacional de estas, hallando incluso relación entre su actividad y la fase lunar (Featonby-Smith & van Staden, 1984). Es así como la predominancia de citoquininas en *U. lactuca* de este estudio difiere ampliamente de lo observado por Gupta et al. (2011), quienes hallaron mayor actividad de ácido abscísico, probablemente asociado a la época de muestreo o estreses ambientales. Los resultados expuestos indican en general un mayor contenido hormonal en *M. pyrifera*, especialmente de auxinas y distintas formas de citoquininas y giberelinas. Tal como en el caso de los nutrientes, el perfil hormonal se expresó de manera bastante similar en los extractos líquidos obtenidos a partir de las algas, siendo M el más rico en reguladores de crecimiento, particularmente auxinas y citoquininas. Cabe preguntarse cómo un almacenamiento acelerado por temperatura alteraría las concentraciones de estos dos tipos de hormonas. Al respecto, Stirk et al. (2004) observaron un aumento notable de citoquininas en un concentrado de *M. pyrifera* almacenado a 54° C, mientras que el contenido de auxinas tendió a disminuir debido a su menor estabilidad. En cualquier caso, las concentraciones halladas en el extracto de *M. pyrifera* de este estudio son muy superiores a las que informan estos autores, especialmente en cuanto a las citoquininas.

No obstante la aparente superioridad del extracto M como fertilizante foliar y bioestimulante, el producto mixto UM fue seleccionado a priori para aplicación en el ensayo, presentando contenidos intermedios entre los otros dos para la mayor parte de los nutrientes, aunque un tanto inferiores en el caso de las hormonas. Este último fenómeno no parece hallar una explicación consistente en la literatura sobre extractos líquidos de algas.

### 3.2 Efecto de los productos sobre el suelo

Aun cuando se observó cierto incremento en los niveles de P y K ante la aplicación del fertilizante mineral (F), los diferentes tratamientos solo tuvieron un efecto significativo sobre algunos cationes de intercambio, sin impacto estadístico sobre las propiedades del suelo o su contenido de nutrientes relevantes. En el Cuadro 3 se presenta el efecto de los diferentes tratamientos en las propiedades químicas y físico-químicas del suelo a los 60 días desde siembra.

**Cuadro 3.** Propiedades químicas y físico-químicas del suelo (20 cm) para cada tratamiento a los 60 días desde siembra.

| Parámetro            | Inicial | T      | A  | AB     | C  | CB     | F  |        |    |        |    |        |    |           |
|----------------------|---------|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|-----------|
| pH H <sub>2</sub> O  | 5,3     | 4,9    | a  | 5,0    | a  | 4,9    | a  | 5,0    | a  | 5,0    | a  | 4,8    | a  |           |
| pH CaCl <sub>2</sub> | 4,4     | 4,4    | a  | 4,4    | a  | 4,4    | a  | 4,4    | a  | 4,5    | a  | 4,4    | a  |           |
| CE                   | 0,25    | 0,70   | a  | 0,87   | a  | 1,09   | a  | 0,65   | a  | 0,65   | a  | 1,74   | a  | dS/m      |
| MO                   | 18,0    | 18,2   | a  | 16,5   | a  | 18,0   | a  | 17,7   | a  | 18,5   | a  | 17,9   | a  | %         |
| N disp               | 75      | 53     | a  | 47     | a  | 51     | a  | 51     | a  | 56     | a  | 51     | a  | mg/kg     |
| P disp               | 1       | 9      | a  | 5      | a  | 11     | a  | 12     | a  | 14     | a  | 26     | a  | mg/kg     |
| K disp               | 121     | 255    | a  | 225    | a  | 334    | a  | 247    | a  | 270    | a  | 567    | a  | mg/kg     |
| S ext                | 5       | 61     | a  | 33     | a  | 79     | a  | 25     | a  | 50     | a  | 26     | a  | mg/kg     |
| Ca int               | 7,1     | 7,9    | a  | 6,3    | a  | 7,8    | a  | 7,8    | a  | 8,3    | a  | 7,8    | a  | meq/100 g |
| Mg int               | 2,9     | 3,0    | a  | 2,5    | a  | 3,00   | a  | 2,8    | a  | 3,4    | a  | 2,9    | a  | meq/100 g |
| K int                | 0,31    | 0,65   | a  | 0,58   | a  | 0,87   | a  | 0,63   | a  | 0,69   | a  | 1,45   | a  | meq/100 g |
| Na int               | 0,39    | 0,21   | c  | 0,45   | ab | 0,58   | a  | 0,40   | b  | 0,40   | b  | 0,31   | bc | meq/100 g |
| Suma bases           | 10,7    | 11,8   | a  | 9,8    | a  | 12,2   | a  | 11,6   | a  | 12,8   | a  | 12,5   | a  | meq/100 g |
| CIC                  | 53,4    | 51,0   | a  | 48,0   | a  | 51,4   | a  | 52,9   | a  | 53,5   | a  | 52,1   | a  | meq/100 g |
| Al int               | 1,80    | 0,04   | c  | 0,91   | a  | 0,80   | ab | 0,81   | ab | 0,65   | ab | 0,51   | b  | meq/100 g |
| CICE                 | 12,5    | 11,8   | a  | 10,7   | a  | 13,0   | a  | 12,4   | a  | 13,4   | a  | 13,0   | a  | meq/100 g |
| Sat Al               | 14,4    | 0,4    | c  | 9,4    | a  | 6,6    | ab | 6,8    | ab | 4,9    | b  | 4,6    | b  | %         |
| Fe disp              | 276     | 271    | ab | 217    | c  | 298    | a  | 287    | ab | 286    | ab | 260    | b  | mg/kg     |
| Mn disp              | 5,8     | 10,2   | a  | 5,0    | a  | 11,2   | a  | 9,3    | a  | 9,2    | a  | 11,7   | a  | mg/kg     |
| Zn disp              | 0,98    | 1,43   | a  | 0,61   | b  | 1,45   | a  | 1,47   | a  | 1,83   | a  | 1,50   | a  | mg/kg     |
| Cu disp              | 1,1     | 1,4    | a  | 1,5    | a  | 1,6    | a  | 1,5    | a  | 1,5    | a  | 1,2    | a  | mg/kg     |
| B disp               | 3,4     | 1,5    | a  | 1,4    | a  | 2,1    | a  | 1,8    | a  | 1,8    | a  | 2,5    | a  | mg/kg     |
| As total             |         | 1,33   | a  | 1,52   | a  | 1,52   | a  | 1,32   | a  | 1,30   | a  | 1,43   | a  | mg/kg     |
| Cd total             |         | < 0,01 | a  | mg/kg     |
| Pb total             |         | 40     | a  | 42     | a  | 41     | a  | 41     | a  | 40     | a  | 40     | a  | mg/kg     |
| Al ext               | 1007    | 1139   | a  | 1279   | a  | 1170   | a  | 1233   | a  | 1050   | a  | 1100   | a  | mg/kg     |

En cuanto a las diferencias en contenido de nutrientes observadas entre el control (T) y la caracterización inicial del suelo, estas podrían atribuirse al consumo efectuado por la planta, aunque para afirmar esto hacen falta análisis foliares u otro tipo de caracterizaciones nutricionales del cultivo.

Aun cuando sería esperable un incremento en la CE del suelo frente a la aplicación de productos de origen marino, los resultados no indican diferencias significativas con los tratamientos T y F. Los datos concuerdan con lo aportado por Illera-Vives et al. (2015) al evaluar la aplicación de compost de algas en un horizonte temporal semejante. Como señalan estos autores, el uso constante de fertilizantes sintéticos también puede incrementar la CE en el mediano plazo, de modo que estas comparaciones han de realizarse al menos durante tres temporadas consecutivas. De la misma manera, el estudio anterior tampoco mostró diferencias en contenido de C frente a la aplicación de compost, asociado al corto período del ensayo y al alto nivel inicial en el suelo.

#### 3.2.1 Sodio

La concentración inicial de este catión en el suelo se consideró baja, algo común en los suelos de la zona. La aplicación de algas frescas (A y AB) generó un aumento en el contenido de Na intercambiable respecto al resto de los tratamientos, sin observarse diferencias significativas entre la aplicación de compost (C y CB) y el manejo convencional (F). Si bien la

sodicidad no constituye un problema propio de los suelos volcánicos del sur del Chile, ha de tenerse estos datos en cuenta para la aplicación directa de algas en climas más secos y/o suelos con menos materia orgánica, especialmente en cuanto a la dispersión y pérdida de estructura del suelo.

### 3.2.2 Aluminio

El Al es un catión abundante en los suelos ácidos, y particularmente en el sur de Chile aparece como un problema productivo cuando se encuentra en exceso dentro del complejo de cambio. Esto generalmente está asociado a bajos niveles de pH y fenómenos de inmovilización o retención de P, mediante su fijación a complejos humus-Al. No solo es relevante la presencia de este elemento en el suelo, sino su abundancia relativa en el complejo de cambio, conocida como saturación de Al. El tratamiento A arrojó niveles más altos de Al intercambiable y saturación de Al en relación al resto, aunque en todos (incluyendo T) se observó disminución respecto a los altos valores iniciales. Una posible explicación a esto es el consumo de Al por parte de la planta, y desde ese punto de vista la abundancia de dicho elemento en el suelo debiera relacionarse con la limitación de su absorción y una baja concentración en los tejidos de la planta. En cualquier caso, los datos obtenidos no permiten entregar una explicación consistente a este fenómeno.

### 3.2.3 Hierro y zinc

El contenido de Fe inicial del suelo también resultó ser alto. Nuevamente el tratamiento A se diferenció del grupo, mostrando un descenso significativo respecto al resto de tratamientos, relativamente homogéneos entre sí y cercanos al nivel original. Paradójicamente, el tratamiento más alto en Fe fue AB, que combinó el uso directo de algas con el extracto UM. En este caso, las aplicaciones foliares aparecen como determinantes.

Al observar la dinámica del Zn en el suelo se aprecia un fenómeno contrario, con un incremento general en su concentración durante el ensayo (incluyendo T) respecto al valor inicial. Se repite el comportamiento opuesto del tratamiento A, con un nivel final significativamente menor.

## 3.3 Efecto de los productos sobre el cultivo y la cosecha

Si bien la evaluación de las propiedades del suelo no mostró muchos efectos notables de los tratamientos, se observaron marcadas diferencias morfológicas en el establecimiento del cultivo, particularmente en cuanto a altura y diámetro de tallos. En las Figuras 5 y 6 se presentan las variables morfológicas medidas en el cultivo a los 35 y 45 días desde siembra, respectivamente.

Al poner atención a las mediciones al cabo de 35 días desde siembra, se ve una clara distinción entre dos grupos de tratamientos: por un lado, mayor crecimiento en aquellos con aplicación de compost o fertilizante mineral (C, CB y F) y, por otra parte, crecimiento limitado en el grupo con aplicación de algas frescas o sin enmiendas (T, A y AB). Cabe mencionar que para esta fecha solo se había realizado la primera aplicación foliar del extracto UM, por lo que la principal explicación de estas diferencias debe buscarse en el aporte nutricional de los materiales incorporados al suelo.

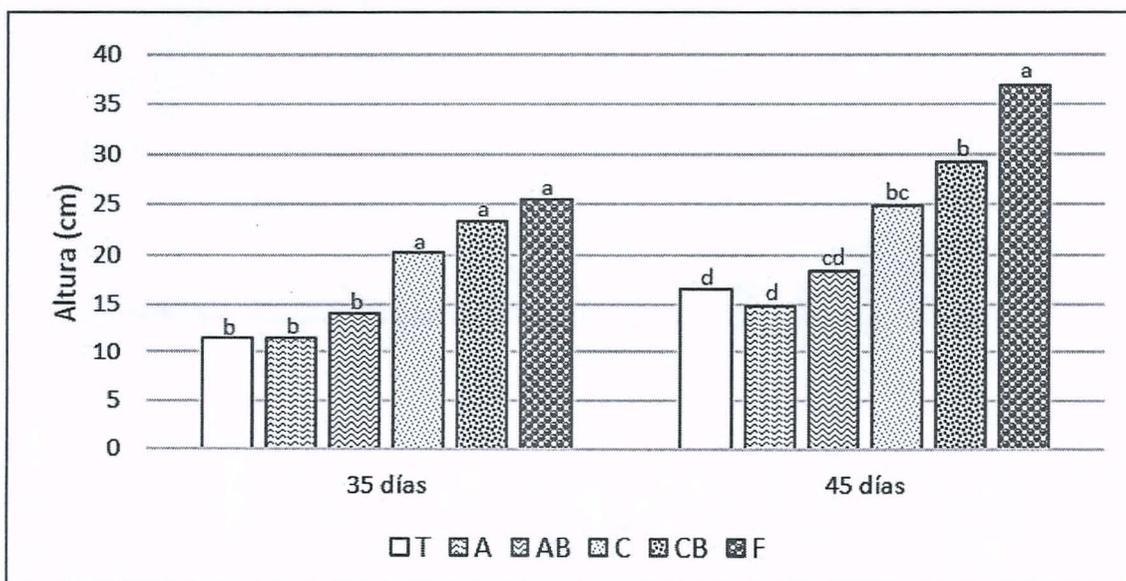


Figura 5. Altura de tallos por tratamiento a los 35 y 45 días desde siembra.

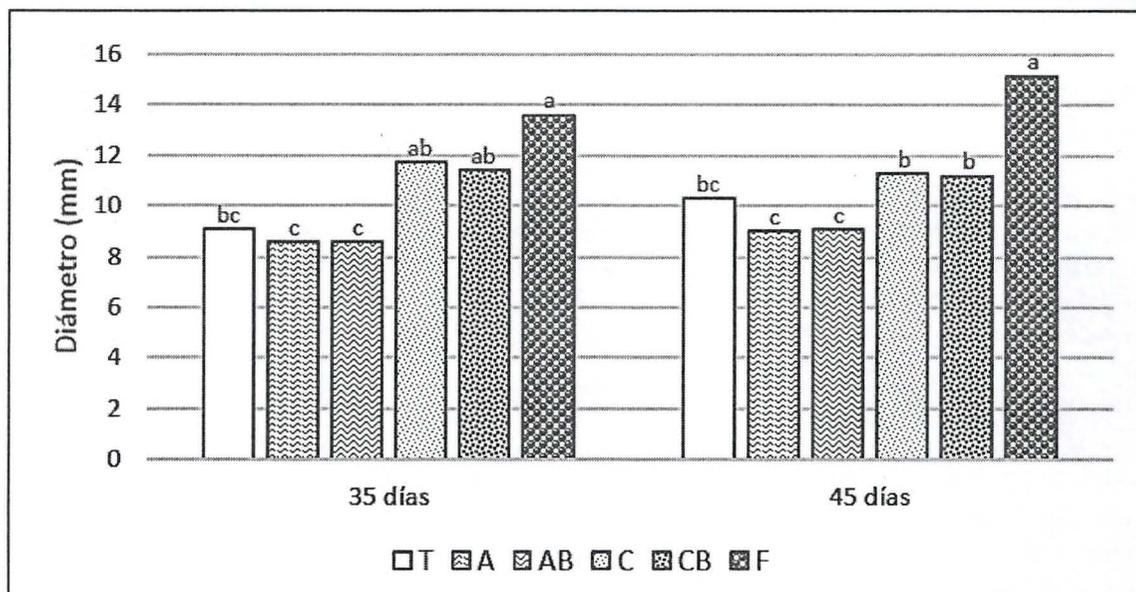


Figura 6. Diámetro de tallos por tratamiento a los 35 y 45 días desde siembra.

Aun considerando lo anterior, la aplicación foliar se reflejó (aunque no significativamente) en el crecimiento de la planta en altura, que mostró valores ligeramente más altos en los tratamientos con extracto (AB y CB) que en sus análogos sin aplicación (A y C).

Las mediciones posteriores indican una mayor diferenciación en crecimiento entre tratamientos a los 45 días: en F se observaron los tallos más altos y gruesos, seguido por los tratamientos con compost (C y CB) y luego por el resto (T, A y AB). La variable más sensible a las aplicaciones foliares resultó ser la altura, en donde ya se evidenció un efecto significativo de este manejo entre los tratamientos con manejo orgánico, vale decir, entre A y C versus AB y CB, respectivamente.

En el Cuadro 4 se presentan los rendimientos y distribución de los calibres “Chanchera”, “Semilla” y “Consumo” por tratamiento, además de los contenidos de Ca, As, Cd y Pb en tubérculos bajo fertilización orgánica (CB) y convencional (F). Además de las variables medidas en cosecha, se observaron partiduras y daño por *P. infestans* en algunos tubérculos bajo fertilización convencional, aunque solo en forma cualitativa.

Cuadro 4. Variables de cosecha para cada tratamiento.

| Parámetro              | T    | A    | AB   | C    | CB     | F      |        |
|------------------------|------|------|------|------|--------|--------|--------|
| Rendimiento            | 13,5 | 14,7 | 15,1 | 20,0 | 25,8   | 31,0   | ton/ha |
| Proporción "Chanchera" | 25   | 23   | 19   | 24   | 15     | 13     | %      |
| Proporción "Semilla"   | 36   | 26   | 27   | 24   | 28     | 28     | %      |
| Proporción "Consumo"   | 39   | 51   | 54   | 51   | 57     | 59     | %      |
| Contenido Ca           |      |      |      |      | 30,1   | 49,3   | mg/kg  |
| Contenido As           |      |      |      |      | < 0,05 | < 0,05 | mg/kg  |
| Contenido Cd           |      |      |      |      | < 0,05 | < 0,05 | mg/kg  |
| Contenido Pb           |      |      |      |      | < 0,10 | < 0,10 | mg/kg  |

Los datos de cosecha se corresponden bastante bien con las tendencias observadas en las mediciones de planta previo a floración. Además del rendimiento, se encontraron diferencias interesantes en cuanto al calibre de los tubérculos y su composición.

El mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento F, seguido por CB, luego por C y finalmente por los demás sin diferencias. Por otra parte, se apreció una mejor distribución de calibre en los tratamientos F y CB, reflejada en porcentajes considerablemente más bajos de papa pequeña o “Chanchera”. Esta proporción también resultó ser baja en el tratamiento AB y confirma el efecto positivo del extracto líquido sobre la tuberización. Desde hace décadas se sabe que la inducción de este proceso tiene una relación bastante directa con las citoquininas (Palmer & Smith, 1969) y el ácido jasmónico (Koda et al., 1991), ambos reguladores presentes en el extracto de algas. Por el contrario, diversos estudios asocian la inhibición del desarrollo de tubérculos a una alta actividad de giberelinas (Vreugdenhil & Sergeeva, 1999), también abundantes en el

producto, de modo que no es posible entregar una interpretación consistente a los resultados en rendimiento y calibre a partir de los datos presentados.

Aunque en un suelo salino, bajo en materia orgánica y con historial de manejo convencional, Illera-Vives et al. (2015) muestran cómo la aplicación de compost de algas tuvo efectos positivos sobre el rendimiento y homogeneidad del calibre en tomate, produciendo frutos más grandes en comparación con la fertilización mineral. En el mismo trabajo, los autores advirtieron también un gran efecto residual en el rendimiento de un cultivo de lechuga posterior, asociándolo a la liberación paulatina de formas disponibles desde el compost. Ante la aplicación de un extracto sólido de algas pardas, Wang et al. (2016) notaron un aumento en la actividad de enzimas del suelo y diversidad de comunidades de hongos, además de un mayor crecimiento en plantines de manzano. Esto sugiere que los resultados obtenidos en el cultivo no solo se relacionan con el aporte nutricional de los fertilizantes o enmiendas, sino también con las propiedades biológicas y bioquímicas que puedan verse influidas por su aplicación.

Los beneficios del uso de extractos líquidos de algas en la productividad de los cultivos y la calidad de sus productos han sido ampliamente abordados en la literatura reciente, a través de ensayos de campo y experimentos de maceta o bajo condiciones controladas. Distintos autores informan un impacto positivo de las aplicaciones foliares de extractos de algas sobre el crecimiento, rendimiento y absorción de nutrientes en trigo (Salim, 2016) y soya (Rathore et al., 2009). A su vez, algunos trabajos analizan también los efectos de extractos de algas pardas sobre la fisiología del estrés hídrico en cultivos, hallando mayores contenidos de agua y tamaño en hojas de espinaca bajo irrigación limitada (Xu & Leskovar, 2015), así como mayor crecimiento de plantines de trigo en condiciones similares (Kasim et al., 2015). Estos últimos autores remojaron las semillas en extractos líquidos de *Sargassum latifolium* (alga parda), *U. lactuca* (alga verde) y un tratamiento mixto, algo semejante a lo realizado en este trabajo. Extrañamente, el estudio mostró un impacto positivo al utilizarse los extractos por separado, pero con detrimento en materia fresca y seca al aplicarlos en conjunto, lo cual se atribuye a exceso de metales. Finalmente, diversos autores han informado los beneficios de la aplicación de extractos del alga parda *Ascophyllum nodosum* vía foliar y mediante el riego sobre algunos compuestos funcionales: mayor contenido de flavonoides en papa y cebolla, además de mayor contenido fenólico en esta última (Lola-Luz et al., 2014); mayor contenido, mejor composición y mayor actividad antibacteriana de aceites esenciales en menta y albahaca (Elansary et al., 2016a); mayor contenido de fenoles, flavonoides y prolina en arbustos medicinales bajo estrés hídrico (Elansary et al., 2016b); y mayor contenido de pigmentos fotosintéticos y prolina en chícharo bajo estrés salino (Manaf, 2016).

Atendiendo al contenido de Ca en tubérculos, si bien se analizaron muestras compuestas sin distinción de bloques, lo que impide establecer la significancia de la diferencia, se observa cierta ventaja nutricional en el producto del tratamiento F respecto a CB. Cabe preguntarse si la absorción de dicho elemento fue limitada por antagonismo con el Na aportado por el compost, cuya concentración en el suelo fue mayor en CB. En cuanto al contenido de metales pesados en tubérculos, el análisis no arrojó diferencias entre ambos manejos. Lombardo et al. (2012) advirtieron un mayor valor nutricional en papas de cultivo orgánico respecto al manejo convencional, aunque enfocándose en contenido de fenoles, nitratos, azúcares solubles y materia seca. Esto plantea la necesidad de hacer estudios más específicos para ahondar sobre este aspecto del uso agrícola de las algas.

Cabe destacar que al momento de cosecha se habían realizado 5 aplicaciones foliares de extracto líquido de algas, las cuales, de no mediar problemas fitosanitarios como el ocurrido, podrían haberse prolongado en el tiempo y tener un impacto mayor sobre la productividad y calidad del producto.

Las diferencias no reportadas en el contenido de nutrientes del suelo podrían encontrarse en la concentración de los mismos en la planta, es decir, el diferencial podría no haberse expresado en el suelo al ser consumido por el cultivo. Esta pareciera ser una explicación lógica cuando se analizan los resultados divergentes en crecimiento del cultivo, rendimiento y calidad de la cosecha. Sin embargo, se deben considerar también los nutrientes aportados vía foliar por los extractos, y la estimulación del crecimiento ejercida por las hormonas contenidas en los mismos. Más aun, la presencia de alginatos en las algas y sus derivados es un factor importante en la mejora de las propiedades físicas del suelo (Illera-Vives et al., 2015), situación que sin duda influye en la disponibilidad de agua para el cultivo y su desarrollo.

#### 4. Conclusiones

Pese a las condiciones artesanales de elaboración del fertilizante y el bioestimulante evaluados, y la suspensión de las aplicaciones foliares de este último debido al término adelantado del ensayo, los resultados de esta investigación muestran que la combinación de compost de algas incorporado a la siembra y aplicaciones foliares periódicas de extracto líquido de algas tuvo efectos notablemente positivos sobre el crecimiento, productividad y calidad del cultivo de papa. Aunque sin alcanzar al manejo convencional en cuanto al rendimiento, el tratamiento combinado de compost y extractos muestra que el manejo orgánico puede tener proyecciones relevantes dentro de la agricultura de Chiloé. En este sentido, resta evaluar si

se pueden obtener mejores resultados en los productos a través de bioprocesos más sofisticados, que incluyan al menos una de las siguientes mejoras:

- Disminuir la salinidad del compost final mediante el pre-lavado de las algas y/o el co-compostaje con materiales ricos en carbono.
- Favorecer la descomposición durante el compostaje mediante volteos más frecuentes o mecanismos de aireación forzada.
- Favorecer la extracción de nutrientes y hormonas en los reactores líquidos mediante el fraccionamiento de las algas previo a su incorporación, y mecanismos de oxigenación continua y homogénea.

Asimismo, es fundamental evaluar el desempeño productivo de estos materiales en otras condiciones, tales como:

- Un ciclo productivo normal de papa, que permita aplicaciones foliares más prolongadas.
- Parcialización de la dosis de compost evaluada.
- Cultivares locales de papa.
- Diferentes cultivos propios de la provincia, como el ajo y la frutilla.
- Producción de hortalizas bajo plástico, cuya escala y rentabilidad permitan aplicar mayores dosis de compost.
- Ensayos de mayor escala temporal que permitan conocer los efectos residuales de estos productos, así como la eventual acumulación de contaminantes y/o degradación biológica asociadas a las distintas formas de fertilización.
- Otras situaciones edafoclimáticas.

Finalmente, ha de destacarse el hecho de que todo manejo orgánico sobre la fertilidad del suelo y la nutrición vegetal ha de evaluarse idealmente dentro de contextos productivos agroecológicos, que incluyan prácticas de rotación de cultivos y aplicaciones de mantención de enmiendas orgánicas para sostener y/o incrementar los efectos positivos en el tiempo. En este sentido, la evaluación de ensayos agroecológicos ha de incorporar metodologías más complejas que no solo consideren la morfología y rendimiento del cultivo, sino además la calidad de sus tejidos, su tolerancia al estrés y la calidad nutricional, funcional y organoléptica de sus productos.

## 5. Referencias

- Astorga-España, M.S., Rodríguez, B., Rodríguez, E.M., Díaz, C. 2015. Mineral and trace element concentrations in seaweeds from the sub-Antarctic ecoregion of Magallanes (Chile). *Journal of Food Composition and Analysis* 39, 69-76.
- Battacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P., Prithviraj, B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196, 39-48.
- Buschmann, A., Prescott, S., Potin, P., Faugeton, S., Vásquez, J.A., Camus, C., Infante, J., Hernández-González, M.C., Gutiérrez, A., Varela, D.A. 2014. The status of kelp exploitation and marine agronomy, with emphasis on *Macrocystis pyrifera*, in Chile. *Advances in Botanical Research* 71, 161-188.
- Elansary, H.O., Skalicka-Woźniak, K., King, I.W. 2016. Enhancing stress growth traits as well as phytochemical and antioxidant contents of *Spiraea* and *Pittosporum* under seaweed extract treatments. *Plant Physiology and Biochemistry* 105, 310-320.
- Elansary, H.O., Yessoufou, K., Shokralla, S., Mahmoud, E.A., Skalicka-Woźniak, K. 2016. Enhancing mint and basil oil composition and antibacterial activity using seaweed extracts. *Industrial Crops and Products* 92, 50-56.
- Featonby-Smith, B.C., van Staden, J. 1984. Identification and seasonal variation of endogenous cytokinins in *Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenf. *Botanica Marina* 27, 527-531.
- Gupta, V., Kumar, M., Brahmhatt, H., Reddy, C.R.K., Seth, A., Jha, B. 2011. Simultaneous determination of different endogenous plant growth regulators in common green seaweeds using dispersive liquid liquid microextraction method. *Plant Physiology and Biochemistry* 49, 1259-1263.
- Han, W., Clarke, W., Pratt, S. 2014. Composting of waste algae: a review. *Waste Management* 34, 1148-1155.
- Illera-Vives, M., Seoane Labandeira, S., Brito, L.M., López-Fabal, A. 2015. Evaluation of compost from seaweed and fish waste as a fertilizer for horticultural use. *Scientia Horticulturae* 186, 101-107.
- Instituto Nacional de Normalización. 2015. Compost - Clasificación y requisitos. NCh2880: Of2004. 19p.
- Kasim, W.A., Hamada, E.A.M., Shams El-Din, N.G., Eskander, S.K. 2015. Influence of seaweed extracts on the growth, some metabolic activities and yield of wheat grown under drought stress. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* 7, 173-189.

- Koda, Y., Kikuta, Y., Tazaki, H., Tsujino, Y., Sakamura, S., Yoshihara, T. 1991. Potato tuber-inducing activities of jasmonic acid and related compounds. *Phytochemistry* 30(5), 1435-1438.
- Lola-Luz, T., Hennequart, F., Gaffney, M. 2014. Effect on health promoting phytochemicals following seaweed application, in potato and onion crops grown under a low input agricultural system. *Scientia Horticulturae* 170, 224-227.
- Lombardo, S., Pandino, G., Mauromicale, G. 2012. Nutritional and sensory characteristics of “early” potato cultivars under organic and conventional cultivation systems. *Food Chemistry* 133, 1249-1254.
- López-Mosquera, M.E., Fernández-Lema, E., Villares, R., Corral, R., Alonso, B., Blanco, C. 2011. Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agriculture. *Procedia Environmental Sciences* 9, 113-117.
- Manaf, H.H. 2016. Beneficial effects of exogenous selenium, glycine betaine and seaweed extract on salt stressed cowpea plant. *Annals of Agricultural Sciences* 61, 41-48.
- Palmer, C.E., Smith, O.E. 1969. Cytokinins and tuber initiation in the potato *Solanum tuberosum* L. *Nature* 221, 279-280.
- Rathore, S.S., Chaudhary, D.R., Boricha, G.N., Ghosh, A., Bhatt, B.P., Zodape, S.T., Patolia, J.S. 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South African Journal of Botany* 75, 351-355.
- Salim, B.B.M. 2016. Influence of biochar and seaweed extract applications on growth, yield and mineral composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) under sandy soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences* 61, 257-265.
- Sangha, J.S., Kelloway, S., Critchley, A.T., Prithiviraj, B. 2014. Seaweeds (macroalgae) and their extracts as contributors of plant productivity and quality: the current status of our understanding. *Advances in Botanical Research* 71, 189-219.
- Stirk, W.A., Arthur, G.D., Lourens, A.F., Novák, O., Strnad, M., van Staden, J. 2004. Changes in cytokinin and auxin concentrations in seaweed concentrates when stored at an elevated temperature. *Journal of Applied Phycology* 16, 31-39.
- Stirk, W.A., van Staden, J. 2014. Plant growth regulators in seaweeds: occurrence, regulation and functions. *Advances in Botanical Research* 71, 125-159.
- Wang, Y., Fu, F., Li, J., Wang, G., Wu, M., Zhan, J. Chen, X., Mao, Z. 2016. Effects of seaweed fertilizer on the growth of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings, soil enzyme activities and fungal communities under replant condition. *European Journal of Soil Biology* 75, 1-7.
- Xu, C., Leskovar, D.I. 2015. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. *Scientia Horticulturae* 183, 39-47.
- Vásquez, J.A., Zúñiga, S., Tala, F., Piaget, N., Rodríguez, D.C., Vega, J.M.A. 2014. Economic evaluation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of Applied Phycology* 26(2), 1081-1088.
- Vreugdenhil, D., Sergeeva, L.I. 1999. Gibberellins and tuberization in potato. *Potato Research* 42(3-4), 471-481.
- Yaich, H., Garna, H., Besbes, S., Paquot, M., Blecker, C., Attia, H. 2011. Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. *Food Chemistry* 128, 895-901.