



Informe técnico de resultados: descripción de los cosustratos biomásicos utilizados, características como biocombustible sólido de las distintas mezclas estudiadas

Fecha: Junio 2021

Contenido

1. Introducción	3
2. Objetivo	3
3. Características fisicoquímicas de los cosustratos seleccionados y % de residuo y alga en la mezcla	3
3.1. Análisis inmediato	4
3.2. Resultados obtenidos	4
3.3. Determinación de las mezclas	5
4. Densificación y peletización de las mezclas	5
4.1. Determinación de tonelada de pellets de mezcla por tonelada de materia verde de partida	8
5. Evaluación de las mezclas de algas con material biomásico peletizado como combustible	9
5.1. Caracterización fisicoquímica de los pellets: análisis inmediato, análisis elemental y poder calorífico	10
5.1.1. Análisis inmediato	10
5.1.2. Análisis elemental	11
5.2. Poder calorífico	12
5.3. Comparativa con la normativa vigente	13
6. Conclusiones	14
7. Bibliografía	15

1. Introducción

El objetivo principal del proyecto VALORALGAE es promover la **sostenibilidad del sector acuícola marítimo** a través de la implantación de un proceso innovador de **valorización de algas de arribazón** mediante su transformación en biocombustibles que permitan la obtención de energía renovable. Las opciones de valorización seleccionadas son: transformación en un combustible renovable gaseoso (biogás) a través de la digestión anaerobia y el aprovechamiento de las algas como combustible sólido (pellets). Ambos combustibles valdrán para generar energía renovable de emisiones neutras. Adicionalmente se estudiará la viabilidad de aprovechar ese gas renovable y/o pellets como fuente de energía para lonjas, puertos o cofradías, cumpliendo así con la filosofía de economía circular en el sector acuícola marino.

En este contexto y ante los resultados obtenidos en el informe precedente del presente proyecto de investigación con título “Informe técnico de resultados: descripción de las algas utilizadas, comparativa de los sistemas de secado y características como biocombustible sólido”, en los que se concluyó que los pellets de alga empleados (*Ulva lactuca*) no podrían ser empleados en calderas debido especialmente a su contenido en cenizas, se hace necesaria su **mezcla con otros materiales biomásicos** para incrementar la eficiencia de los recursos.

Además, si se considera la gran cantidad de bosques abandonados y la existencia de tipologías de biomasa que actualmente no se están utilizando como pueden ser los residuos agrícolas, el uso de biomasa residual como fuente de energía es fundamental para mejorar la calidad del medio ambiente y contribuir al desarrollo de una economía circular. Además, el uso de esos recursos también evitará problemas asociados con la eliminación de biomasa (por ejemplo, riesgo de incendio).

Galicia presenta una superficie agrícola de 843.657 ha (cerca de un 28% de su superficie total) de las que unos 800 ha son de kiwi¹. Con respecto a la situación forestal, Galicia dispone de 2.039.574 ha (aproximadamente un 60% de la superficie de esta Comunidad Autónoma)². En base a estos datos **se seleccionaron como cosustratos dos materiales biomásicos con elevada disponibilidad en la zona de estudio:** restos de poda de **kiwi** (*Actinidia deliciosa*, biomasa agrícola) y de **xesta** o retama (*Cytisus scoparius*, biomasa forestal) para obtener un pellet industrial no apto para calderas domésticas, pero sí para calderas industriales.

2. Objetivo

El objetivo del presente informe es **evaluar la viabilidad de valorizar las algas** estudiadas dentro del proyecto mezcladas **con dos cosustratos** (restos de poda de kiwi y xesta) como biocombustible sólido (pellets) para su uso en calderas. Para ello en primer lugar se evaluó el comportamiento de los cosustratos como combustibles, mediante la determinación de sus características fisicoquímicas y de su poder calorífico. En base a los resultados obtenidos se determinaron las mezclas y, tras el proceso de densificado de las algas junto con el material biomásico pelletizado, se evaluó el potencial de las mismas como combustible mediante la determinación de su análisis elemental, su análisis inmediato y su poder calorífico.

3. Características fisicoquímicas de los cosustratos seleccionados y % de residuo y alga en la mezcla

En primer lugar, los cosustratos seleccionados previamente densificados se sometieron a un análisis inmediato. En las figuras a continuación se presentan los pellets de cosustratos caracterizados.



Figura 1. Pellets kiwi.



Figura 2. Pellets de xesta

3.1. Análisis inmediato

Mediante el análisis inmediato de una muestra se determina su contenido en carbono fijo, en volátiles, su humedad y el porcentaje de cenizas presente en la misma.

La **humedad** de las diferentes muestras se determinó siguiendo la norma UNE-EN ISO 18134, que consiste en calentar una cantidad de muestra conocida a 105°C y registrar la pérdida de masa hasta alcanzar un valor constante. Las **cenizas** se obtuvieron siguiendo el procedimiento UNE-EN ISO 18122, que se basa en calcinar la muestra a 550°C durante 3 horas.

Para la determinación del contenido en **volátiles**, se siguió el procedimiento recogido en la norma UNE-EN ISO 18123 que consiste en calentar la muestra en ausencia de aire a 900 °C. El **carbono fijo** se determinó por diferencia considerando el contenido en cenizas y compuestos volátiles.

Los valores obtenidos se compararon con un combustible de referencia: pellets de pino, dado que la biomasa leñosa es la más comúnmente empleada en procesos de combustión.

3.2. Resultados obtenidos

En la Tabla 1 se detalla el análisis inmediato de las muestras estudiadas y del combustible de referencia. Se detallan asimismo las características del pellet de alga sola (*Ulva lactuca*) a efectos comparativos.

Tabla 1. Análisis inmediato de los cosustratos estudiados, del alga peletizada y del combustible de referencia (porcentaje en peso).

Muestra	Humedad	Volátiles (b.s)*	Cenizas (b.s)	C fijo (b.s)
Pellets <i>Ulva lactuca</i>	14,09 ± 0,13	60,29 ± 0,90	32,58 ± 1,02	7,13
Pellets kiwi	11,23 ± 0,18	74,10 ± 0,12	17,07 ± 1,54	8,84
Pellets de xesta	8,55 ± 0,30	80,57 ± 0,21	13,15 ± 1,18	6,28
Pellets de pino	6,8 ± 0,14	81,6 ± 0,31	0,8 ± 0,89	17,6

*b.s: base seca

De la Tabla 1 destaca fundamentalmente la diferencia en el contenido de cenizas. El alga estudiada presenta un contenido próximo a un 33%, mientras que los cosustratos biomásicos caracterizados presentan un valor considerablemente más bajo, si bien es cierto que aún así éste sigue siendo sensiblemente superior al del combustible de referencia. Los valores de volátiles son *Ulva lactuca* (60,29%) < pellets de kiwi (74,10%) < pellets de xesta (80,57%), cosustrato con un valor similar de dicho parámetro al presentado por los pellets de pino (80,57%). El contenido en carbono fijo es sensiblemente superior en el caso del combustible de referencia que en el resto de materiales estudiados, siendo los valores de alga y cosustratos similares.

3.3. Determinación de las mezclas

Debido al elevado contenido en cenizas de los pellets de alga estudiados y a la elevada disponibilidad de los cosustratos se decidió hacer mezclas de un 50% alga-50% de cosustrato y 30% alga-70% de cosustrato (4 mezclas).

Tabla 2. Mezclas estudiadas.

Composición (% en peso)	<i>Ulva lactuca</i>	Kiwi	Xesta
100% alga	100	0	0
30-70	30	70	70
50-50	50	50	50
100% cosustratos	0	100	100

4. Densificación y peletización de las mezclas

Para adecuar el tamaño de partícula al proceso de peletización y de mezclado con cosustratos biomásicos procedentes de especies lignocelulósicas se procedió a su reducción y homogeneización granulométrica a valores comprendidos entre 1 y 4 mm. La obtención de esta granulometría se consiguió mediante el empleo de un molino de cuchillas con un malla de 1 mm.



Figura 3. Molino de cuchillas con malla 1 mm.

Para la realización de las densificaciones de las mezclas se utilizó una peletizadora anular de 7 kW de potencia con sistema de carga con tolva vertical y batería de dosificación forzada de producto mediante sinfín metálico, con un conjunto de rotor compacto conectado directamente al motorreductor con una matriz con diámetro interno de 200 mm y diámetro troquel de 6 mm. La peletizadora está equipada con un sistema manual para ajustar los dos rodillos de forma independiente en la parte delantera de la máquina y con un sistema de cuchilla para corte radial de pellets.



Figura 4. Sistema de carga vertical forzada.



Figura 5. Matriz de peletizado con rodillos de presión.

El proceso de peletización efectúa un trabajo de compresión en el producto de forma continua, reduciendo el volumen de la materia prima de 3 a 5 veces. En el proceso se

comprime la materia y se transforma en un pellet sólido de unos 6 mm de diámetro y entre 25 y 30 mm de longitud a una temperatura de salida de 80°C. Este proceso les proporciona compactación y una apariencia brillante.

En todos los casos estudiados fue posible realizar pellets y la calidad del material granulado fue buena. Tanto los materiales vírgenes procedentes de kiwi y xesta como las diferentes mezclas realizadas no presentaron problemas de compactación ni de elaboración, obteniéndose un proceso de densificación de buena calidad y sin problemas técnicos a destacar. En ninguno de los materiales fue necesario añadir ningún aditivo con la finalidad de mejorar la compactación del material.

En la Figura 6 se muestran los pellets obtenidos:

Composición	Kiwi	Alga	Xesta
100%			
Kiwi 70% Alga 30%			
Kiwi 50% Alga 50%			
Xesta 70% Alga 30%			



Figura 6. Pellets de cosustratos, alga y mezclas obtenidos tras el proceso de densificación.

4.1. Determinación de tonelada de pellets de mezcla por tonelada de materia verde de partida

En el informe anterior del presente trabajo de investigación con título “Informe técnico de resultados: descripción de las algas utilizadas, comparativa de los sistemas de secado y características como biocombustible sólido” se determinaron las toneladas de pellets obtenidos por tonelada de alga recolectada para las especies estudiadas. En el presente informe se determina dicho ratio para los cosustratos y las mezclas estudiadas, estableciéndose un rendimiento de fabricación de densificación del 95% (pérdidas de materia prima en triturado, transportes y en peletizado). Se presentan los datos de humedad de los biocombustibles antes de ser peletizados.

Tabla 3. Toneladas de pellets por tonelada de materia verde de alga y cosustratos.

	Ulva lactuca	Kiwi	Xesta
Humedad inicial (%)	87,74	46,20	51,20
Materia seca	12,26	53,80	48,80
Rendimiento 95%	11,65	51,11	46,36
Total tonelada de pellet por tonelada de materia verde	0,117	0,511	0,464

En el caso de los cosustratos estudiados tanto el kiwi como la xesta presentan un mayor rendimiento de tonelada de pellet obtenido sobre tonelada de materia verde, sobre todo debido al menor contenido de humedad inicial presente. Tanto el kiwi como la xesta presentan valores de rendimiento del orden de 4 veces superiores al de las algas.

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos con las mezclas estudiadas.

Tabla 4. Toneladas de pellets por tonelada de materia verde de alga, cosustratos y mezclas estudiadas.

	Tonelada de pellet por tonelada de material verde		
Mezcla	Alga	Kiwi	Xesta
100%	0,117	0,511	0,464

30/70		0,393	0,359
50/50		0,314	0,290

Tal y como se observa, las relaciones de las mezclas con kiwi y xesta aumentan el rendimiento obtenido de tonelada de pellet obtenido sobre tonelada de materia verde, sobre todo debido al menor contenido de humedad del material de partida.

5. Evaluación de las mezclas de algas con material biomásico peletizado como combustible

En las fotografías que se presentan a continuación se observan los pellets de las mezclas establecidas con anterioridad obtenidas tras el proceso de densificación:



Figura 7. Pellets de kiwi 70%-*Ulva lactuca* 30%



Figura 8. Pellets de kiwi 50%-*Ulva lactuca* 50%



Figura 9. Pellets de xesta 70%-*Ulva lactuca* 30%.



Figura 10. Pellets de xesta 50%-*Ulva lactuca* 50%

5.1. Caracterización fisicoquímica de los pellets: análisis inmediato, análisis elemental y poder calorífico.

Tras el proceso de densificación se ha determinado el potencial como combustible de los pellets de mezcla de *Ulva lactuca* junto con los dos cosustratos objeto de estudio. Para ello se ha determinado su análisis inmediato, su análisis elemental y se ha evaluado su poder calorífico.

5.1.1. Análisis inmediato

Al igual que en el caso de los cosustratos, con los pellets creados se llevó a cabo su análisis inmediato (determinación del contenido en humedad, volátiles, cenizas y carbono fijo), siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 3.1 del presente documento. En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos. Al igual que en los apartados anteriores se han introducido valores de análisis análogos con pellets de pino, comúnmente empleados en procesos de combustión.

Tabla 5. Análisis inmediato de los pellets estudiados.

Muestra	Humedad	Volátiles (b.s)	Cenizas (b.s)	C fijo (b.s)
Pellets Ulva lactuca	14,09 ± 0,13	60,29 ± 0,90	32,58 ± 1,02	7,13
Pellets kiwi	11,23 ± 0,18	74,10 ± 0,12	17,07 ± 1,54	8,84
Pellets de xesta	8,55 ± 0,30	80,57 ± 0,21	13,15 ± 1,18	6,28
Pellets 70% kiwi 30% Ulva lactuca	12,40 ± 0,35	70,99 ± 0,26	11,80 ± 0,86	17,22
Pellets 50% kiwi 50% Ulva lactuca	13,21 ± 0,89	68,55 ± 0,03	17,51 ± 0,06	13,94
Pellets 70% xesta 30% Ulva lactuca	10,74 ± 0,07	75,68 ± 0,06	13,16 ± 0,75	11,15
Pellets 50% xesta 50% Ulva lactuca	12,01 ± 0,10	75,24 ± 3,29	19,03 ± 0,82	5,74
Pellets de pino	6,8 ± 0,14	81,6 ± 0,31	0,8 ± 0,89	17,6

Tal y como se observa en la Tabla 5 el hecho de peletizar conjuntamente alga y cosustratos rebaja considerablemente el contenido en cenizas del biocombustible de partida. Cuanto mayor es el contenido del cosustrato, menor es el contenido en cenizas, algo que cabía esperar visto el considerablemente inferior contenido en cenizas de los mismos. El contenido en volátiles se incrementa asimismo con la proporción de cosustrato en la mezcla, así como el de carbono fijo. No obstante el contenido en cenizas, principal hándicap de los pellets estudiados, aún dista considerablemente de los valores observados en el combustible de referencia.

5.1.2. Análisis elemental

El análisis elemental de una muestra determina el contenido total en la misma de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y cloro. Es por ello muy útil a la hora de determinar el poder calorífico del material empleado o su contenido de contaminantes como óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre o ácido clorhídrico.

El análisis elemental se realizó siguiendo dos normas ISO, la ISO 16948:2015 para la determinación de C, H y N y la ISO 16994:2015 para la determinación de S y Cl.

Para el análisis de C, H y N se utilizó un analizador elemental en el que se realizó la combustión completa de la muestra a 950°C seguida de una transformación catalítica de los gases resultantes y la determinación por infrarrojo de hidrógeno y carbono en forma de H₂O y CO₂ y la determinación por conductividad térmica del nitrógeno en forma de N₂. La determinación del contenido en azufre y cloro se realizó mediante cromatografía iónica previa recuperación de los compuestos procedentes de una bomba calorimétrica.

En la **Tabla 6** se presentan los resultados obtenidos con los pellets estudiados.

Tabla 6. Análisis elemental de los pellets estudiados y comparativa con combustible de referencia.

Muestra	%H	%N	%C	%S	%Cl
Pellets Ulva lactuca	3,24 ± 0,01	1,62 ± 0,08	28,31 ± 0,15	1,2692 ± 0,3458	0,0186 ± 0,0043
Pellets kiwi	4,59 ± 0,10	1,13 ± 0,01	44,11 ± 0,18	0,0317 ± 0,0090	0,0056 ± 0,0002
Pellets de xesta	4,96 ± 0,01	0,79 ± 0,08	45,66 ± 0,35	0,0283 ± 0,0037	0,0080 ± 0,0004
Pellets 70% kiwi 30% Ulva lactuca	4,83 ± 0,78	1,25 ± 0,02	38,25 ± 0,19	0,6634 ± 0,0109	0,0063 ± 0,00004
Pellets 50% kiwi 50% Ulva Lactuca	3,68 ± 0,01	1,50 ± 0,06	35,47 ± 0,31	0,8532 ± 0,0307	0,0094 ± 0,00005
Pellets 70% xesta 30% Ulva lactuca	4,35 ± 0,13	1,15 ± 0,01	39,70 ± 0,05	0,5351 ± 0,0207	0,0051 ± 0,0002
Pellets 50% xesta 50% Ulva lactuca	3,97 ± 0,22	1,28 ± 0,08	37,01 ± 0,43	0,8684 ± 0,0106	0,0073 ± 0,0002
Pellets de pino	6,1 ± 0,02	0,19 ± 0,03	50,30 ± 0,08	0,0217 ± 0,0002	0,0091 ± 0,0010

De la Tabla 6 destacan varias cosas: en primer lugar el contenido en hidrógeno y carbono de los pellets de alga es sensiblemente inferior al de los cosustratos y, especialmente al combustible de referencia. En cuanto al contenido en nitrógeno, cloro y azufre los valores son superiores en el caso de la muestra de alga que en el combustible de referencia. En el caso del nitrógeno, los valores obtenidos son muy superiores en las algas que en el combustible de referencia, presentando este compuesto valores intermedios entre ambos en los cosustratos empleados. El contenido en cloro se duplica entre el combustible de referencia y el alga, siendo en el caso de ésta el valor superior. En este caso los cosustratos presentan valores inferiores al combustible de referencia. En el caso del porcentaje de azufre éste es considerablemente superior en al alga que en el material de referencia, siendo en el caso de los cosustratos bastante similar a este último. Tal y como se observa en la tabla, el hecho de emplear cosustratos permite que, a medida que se incrementa el porcentaje de los mismos en la mezcla con el alga se incremente el contenido en carbono e hidrógeno de la mezcla y se disminuya el contenido en nitrógeno, cloro y azufre, haciendo los pellets creados de mayor calidad que el alga de partida.

Tal y como se indicó en el informe precedente, con título “Informe Técnico de resultados: descripción de las algas utilizadas, comparativa de los sistemas de secado y características como biocombustible sólido”, un bajo contenido en carbono e hidrógeno indica la muy probable obtención de un biocombustible con un poder calorífico moderado. La presencia de N, Cl y S indica la necesidad de controlar la más que probable emisión de contaminantes como NO_x, HCl y SO₂, además de problemas de corrosión, escoriación e incrustaciones en tuberías y equipos de trabajo.

5.2. Poder calorífico

La determinación del poder calorífico se llevó a cabo siguiendo la norma UNE-EN ISO 18125, que se basa en la determinación del poder calorífico superior con una bomba calorimétrica. El poder calorífico inferior (PCI) se calculó a partir del PCS mediante un

cálculo matemático contemplado en la norma ASTM D5468 para el que es necesario conocer el contenido en H₂ total de la muestra (H₂ elemental + agua).

Los datos proporcionados son de los combustibles tal y como se reciben.

Tabla 7. Poder calorífico de los pellets estudiados y del combustible de referencia.

Muestra	P.C.S (b.h)	P.C.I (b.h)
Pellets Ulva lactuca	10,95 ± 0,09	10,26
Pellets de kiwi	17,39 ± 0,07	16,42
Pellets de xesta	19,02 ± 0,76	17,97
Pellets 70% kiwi-30% Ulva lactuca	15,42 ± 0,05	14,40
Pellets 50% kiwi-50% Ulva lactuca	14,02 ± 0,26	13,24
Pellets 70% xesta-30% Ulva lactuca	15,89 ± 0,44	14,96
Pellets 50% xesta-50% Ulva lactuca	14,57 ± 0,15	13,73
Pellets de pino	19,10 ± 0,08	17,63

Tal y como se observa en la Tabla 7 el **poder calorífico de los materiales estudiados es más bajo que el del combustible de referencia**. No obstante, éste mejora considerablemente a medida que se incrementa el porcentaje de cosustrato en la mezcla con el alga estudiada, pasando de valores próximos a 10 MJ/Kg de PCS en el caso de *Ulva Lactuca* a valores próximos a 15 MJ/kg.

5.3. Comparativa con la normativa vigente

Sólo para garantizar la calidad de los pellets, el comité técnico 335 del CEN desarrolla continuamente normas europeas para biocombustibles sólidos. La principal norma europea para pellets de madera es la UNE-EN ISO 17225:2014³, que define varios niveles de calidad del producto de pellets de madera para uso no industrial. Esta norma establece rangos para varios parámetros que son relevantes para evaluar la calidad de los pellets de madera y la calidad de otros biocombustibles sólidos. Los pellets empleados deben tener una serie de especificaciones en cuanto a poder calorífico, contenido en humedad, contenido en cenizas, etc. para ser empleados en calderas de combustión. Uno de los parámetros más importantes se refiere al contenido de cenizas (materiales inorgánicos) que representan un grave problema en la combustión de biomasa porque provoca escoriación, aglomeración del lecho, incrustaciones y corrosión en el dispositivo de combustión, lo que degrada su desempeño y daña severamente el equipo de combustión⁴. La parte 2 de la norma establece la clasificación de los pellets de madera y la parte 6 la de los pellets de origen no leñoso (biomasa herbácea, biomasa de frutos, biomasa acuática y conjuntos y mezclas). En la Tabla 8 se presenta una comparativa de las principales características de los pellets estudiados con aquellas establecidas en la norma.

Tabla 8. Comparativa de los pellets estudiados (algas + cosustratos) con las especificaciones establecidas en la Norma ISO 17225.

	Pellets estudiados	UNE 17225-2 (Pellets de madera)	UNE 17225-6 (Pellets de origen no leñoso)
Humedad (% en peso)	Entre 10,74-13,21	≤ 10	≤ 12 (A) y ≤ 15 (B)
Cenizas (% peso, b.s)	Entre 11,80-19,03	Entre $\leq 0,7$ (A1) y ≤ 2 (B) y hasta 3 uso industrial	Entre ≤ 6 (A) y ≤ 10 (B)
PCI (MJ/kg)	Entre 13,24-14,96	$Q \geq 16,5$	$Q \geq 14,5$

Tal y como se observa, los pellets de alga con cosustratos no cumplen los requerimientos necesarios para cumplir con las mínimas normas de calidad para su uso como biocombustibles en ninguno de los casos estudiados, ni en términos de contenido en ceniza ni de poder calorífico, si bien es cierto que las mezclas con mayor porcentaje de cosustrato están próximas a los límites permitidos (en el caso de la mezcla 70% xesta 30% de alga el valor de poder calorífico estaría dentro de los límites permitidos, si bien no lo estaría el contenido en cenizas).

6. Conclusiones

De los resultados obtenidos tras la realización del análisis inmediato, elemental y la determinación del poder calorífico de los pellets obtenidos como resultado de mezclar alga (*Ulva lactuca*) con kiwi y xesta en diferentes proporciones se determina que, a **mayor porcentaje** de cosustrato en la mezcla, **mejores son las propiedades** de los pellets obtenidos tanto en términos de contenido en **cenizas y de poder calorífico** como de una menor presencia de elementos que pueden ser los precursores de la formación de contaminantes en procesos de combustión (hidrógeno, cloro y azufre). No obstante, los pellets obtenidos siguen sin cumplir con las especificaciones de calidad mínima requeridas según la normativa vigente, lo que indica que únicamente podrían llegar a ser empleados en instalaciones de combustión que hayan sido especialmente diseñadas y ajustadas para este tipo de pellets. No obstante para ello deberá prestarse una atención especial a los sistemas de evacuación de los gases de combustión y al riesgo por corrosión de las calderas empleadas. Todo esto unido al hecho de que, en general, los materiales de biomasa no leñosa producen cenizas con una temperatura de fusión baja, hacen que pueda haber problemas de atasco, escorificación y depósitos en el interior de la caldera, por lo que se hace necesario un control exhaustivo del proceso de combustión para, llegado el caso, instalar un sistema de evacuación en continuo de las cenizas producidas.

7. Bibliografía

¹ Fernández, R.R. (2014). “Características y parámetros analíticos para la obtención de biocombustibles a partir de los residuos en la producción industrial de *Actinidia Chinensis*”. Universidad de Vigo.

² Instituto Enerxético de Galicia (INEGA, 2011). “Análisis de la viabilidad del mercado de biomasa en Galicia y Norte de Portugal”. Santiago de Compostela, A Coruña.

³ Standardization. EC for. UNE-EN ISO 17225:2014-Solid biofuels - Fuel specifications and classes (2014).

⁴ Toscano, G., Riva, G., Foppa, E., Corinaldesi, F., Mengarelli, C., Duca, D. (2013). “Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements”. *Biomass and Bioenergy* 56:317–22.

VALORALGAE



