

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL MEDI
NATURAL.**

MÁSTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**



EAMN
I AM NATURAL

DOCUMENTO I. MEMORIA

**ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LOS ARROZALES DE LA ALBUFERA DE VALENCIA.**

TRABAJO FINAL DE MÁSTER.

VALENCIA, JULIO DE 2019.

ALUMNO: SERGIO DOMÉNECH MARTÍNEZ

TUTOR: DR. VICENT ESTRUCH GUITART

Trabajo Final de Máster

Autor: Sergio Doménech Martínez

DNI: 48585051-N

Título: Estrategias de mitigación frente al Cambio Climático en los arrozales de la Albufera de Valencia.

Tutor: Vicent Estruch Guitart

Resumen

El Cambio Climático es el mayor problema ambiental al que se enfrenta la humanidad en la actualidad, ya que afecta a todo el planeta. El clima determina las condiciones de vida y un cambio en éste supondría grandes cambios en la seguridad alimentaria, la actividad económica, la seguridad de las poblaciones y en los ecosistemas.

La agricultura, y en especial la mediterránea, es uno de los sectores que más van a acusar los efectos del cambio de las condiciones ambientales. El cultivo del arroz, además de ser uno de los cultivos típicos de la ciudad de Valencia, es uno de los cultivos más relacionado con la emisión de Gases de Efecto Invernadero, debido a las emisiones de metano.

En el siguiente trabajo se van a analizar las diferentes estrategias de mitigación del cambio climático en el cultivo del arroz, y la viabilidad para poderlas aplicar en una zona de cultivo especial debido a su protección ambiental, como es la Albufera de Valencia.

Palabras clave

Cambio climático, emisiones, gases de efecto invernadero, metano, arroz, mitigación, Albufera, Valencia

Treball Final de Màster

Autor: Sergio Doménech Martínez

DNI: 48585051-N

Títol: Estratègies de mitigació davant del Canvi Climàtic als arrossars de l'Albufera de València.

Tutor: Vicent Estruch Guitart

Resum

El Canvi Climàtic és el major problema ambiental a què s'enfronta la humanitat en l'actualitat, ja que afecta a tot el planeta. El clima determina les condicions de vida, i un canvi en aquest suposaria grans canvis en la seguretat alimentària, l'activitat econòmica, la seguretat de les poblacions i en els ecosistemes.

L'agricultura, i en especial la mediterrània, és un dels sectors que més van a acusar els efectes del canvi de les condicions ambientals. El cultiu de l'arròs, a més de ser un dels cultius típics de la ciutat de València, és un dels cultius més relacionat amb l'emissió de gasos d'efecte hivernacle, a causa de les emissions de metà.

En el següent treball es van a analitzar les diferents estratègies de mitigació del canvi climàtic en el cultiu de l'arròs, i la viabilitat per poder-les aplicar en una zona de cultiu especial a causa de la seva protecció ambiental, com és l'Albufera de València.

Paraules Clau

Canvi climàtic, emissions, gasos d'efecte hivernacle, metà, arròs, mitigació, Albufera, València

Master Final Work

Author: Sergio Doménech Martínez

DNI: 48585051-N

Title: Mitigation strategies against Climate Change in the Albufera rice fields in Valencia.

Tutor: Vicent Estruch Guitart

Abstract

Climate Change is the biggest environmental problem humanity faces today, due to it affects the entire planet. The climate determines the conditions of life and a change in this would mean major changes in food security, economic activity, the safety of populations and ecosystems.

Agriculture, and especially the Mediterranean, is one of the sectors that are going to accuse more the effects of the change of the environmental conditions. The cultivation of rice, are one of the typical crops of the city of Valencia, and is too one of the crops most related to the emission of greenhouse gases, due to methane emissions

The following work will analyze the different strategies of mitigation of climate change in rice cultivation, and their viability to be able to apply them in a special cultivation area due to its environmental protection, such is the Albufera in Valencia.

Keywords

Climate change, emissions, greenhouse gases, methane, rice, mitigation, Albufera, Valencia.

ÍNDICE:

1.	Introducción	1
1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Problema	1
1.3.	Objetivos	3
1.4.	Metodología	3
2.	El cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia.....	4
2.1.	Características botánicas y agronómicas del arroz.	4
2.2.	Importancia del cultivo en el mundo y en España.	4
2.3.	Descripción del medio. El Parque Natural de la Albufera de Valencia.	6
2.4.	La Política Agraria Comunitaria (PAC). PDR 2014-2020.	7
2.5.	El cultivo del arroz: etapas y labores de cultivo.....	8
2.5.1.	Preparación del terreno.	8
2.5.2.	El abonado del arroz.....	9
2.5.3.	La siembra del arroz.	10
2.5.4.	Malas hierbas, plagas y enfermedades del cultivo del arroz.	10
2.5.5.	Manejo del agua.....	11
2.5.6.	Recolección y conservación.....	11
2.5.7.	Manejo y problemática de la gestión de la paja del arroz.	12
3.	Estrategias de mitigación del cambio climático en el cultivo del arroz	13
4.	Aplicación de las estrategias de mitigación en las condiciones de cultivo del Parque Natural de la Albufera de Valencia.....	17
5.	Costes de adopción de las alternativas.	23
6.	Selección de alternativas.....	27
6.1.	Introducción.	27
6.2.	Aplicación práctica.	31
6.3.	Resultados.	32
7.	Conclusiones.....	34
8.	Referencias bibliográficas	35
	ANEXO I: CUESTIONARIO AHP.....	38

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS:

Ilustración 1. Esquema efecto invernadero. Obtenido de www.ck12.org	3
Ilustración 2. Suministro de energía mundial a la nutrición humana de los 3 principales cultivos (izquierda). Elaboración propia a partir de FAO 2004. Y Producción mundial de los 3 principales cultivos (derecha). Elaboración propia a partir de FAOSTAT datos de 2017	5
Ilustración 3. Localización del Parque Natural de la Albufera de Valencia. Fuente: Jorge, D. 2018	7
Ilustración 4. Tractor realizando la labor del fanguero. Fuente: Levante EMV.....	9
Ilustración 5. Daños causados por aguas anóxicas o Akiochi.....	12
Ilustración 6. Altura de las variedades de arroz. Elaboración propia a partir de E. Pla 2016 (1) y Cerespain (2)	19
Ilustración 7. Jerarquización AHP. Elaboración propia a partir de Saaty (1980).....	28
Ilustración 8. Jerarquización según modelo AHP. Elaboración propia.....	32
Ilustración 9. Resultados priorización de criterios. Elaboración propia.....	33
Ilustración 10. Resultados priorización subcriterios. Elaboración propia.....	33
Tabla 1. Distribución de la superficie y producción de arroz en España. Elaboración propia a partir de datos MAPA.....	5
Tabla 2. Resumen estrategias de mitigación de emisiones en los arrozales. Elaboración propia	17
Tabla 3. Reducción de cantidad de rastrojo según variedad. Fuente: elaboración propia.....	20
Tabla 4. Resumen Viabilidad de las medidas de mitigación. Elaboración propia	23
Tabla 5. Costes del cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia. Elaboración propia a partir de Martínez, 2018.....	25
Tabla 6. Costes de la gestión de los restos de cosecha. Elaboración propia a partir de Aguilar et al 2007 (1) y Navarro E.A 2006 (2)	25
Tabla 7. Ingresos del cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia. Elaboración propia a partir de Martínez, 2018.....	26
Tabla 8. Rentabilidad del cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia. Elaboración propia	26
Tabla 9. Escala de comparación pareada propuesta por Saaty. Elaboración propia a partir de Saaty (1980).....	28
Tabla 10. Consistencia aleatoria. Elaboración propia a partir de Saaty (1980).	30
Tabla 11. Límites de consistencia. Elaboración propia a partir de Saaty (1980).....	30
Tabla 12. Resultado selección de alternativas. Elaboración propia.....	33

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El arroz (género *Oryza*), el trigo (género *Triticus*) y el maíz (género *Zea*) forman parte de los tres cereales básicos para la nutrición humana, son los tres cultivos más importantes debido a que han sido y todavía siguen siendo la base de la nutrición humana en Asia, Europa y América respectivamente.

De todos ellos, y quizás de entre el resto de cultivos, el arroz es el que mayores impactos ambientales provoca, debido a que por su forma de cultivarse, generalmente se realiza en parcelas inundadas, es una gran fuente de emisiones de metano. El metano (CH_4) es uno de los gases de efecto invernadero (GEI) que provocan el calentamiento del planeta, en concreto el CH_4 se estima que tiene un potencial de calentamiento aproximado de unas 20-25 veces el del CO_2 . (IPCC, 1992)

El sector agrícola representa aproximadamente el 25% de las emisiones mundiales de GEI (IPCC, 2014) siendo el principal gas emisor el CH_4 , dicho metano proviene principalmente de la fermentación entérica de los rumiantes y del cultivo inundado del arroz. De modo que el cultivo del arroz es, a nivel mundial, uno de los principales emisores de GEI, y por lo tanto, uno de los cultivos más ligados con el cambio climático.

El cultivo del arroz es especialmente contaminante debido a que en las situaciones en las que se realiza el cultivo inundado, se producen situaciones de ausencia de oxígeno, en dichas situaciones se producen fermentaciones anaeróbicas de la materia orgánica que liberan metano. En caso de cultivarse el arroz sin inundar se producen emisiones de N_2O , aunque estas son de menor cantidad (AEEA, 2017).

El arroz emite más metano por tonelada producida que cultivos como el maíz o el trigo y aunque no se sabe con certeza la cantidad de metano que emite, sí que existen estimaciones de la cantidad aproximada, 500 millones de toneladas de CO_2 equivalentes indican Adhya et al, 2014, otros autores sugieren que las emisiones mundiales del arroz son menores y se sitúan en torno a 60-100 millones de toneladas de CH_4 , representando entre el 5 y el 19% de las emisiones antropogénicas de metano (AEEA, 2017) y entre 31-112 millones de toneladas de CH_4 (Faiz-ul et al, 2017).

1.2. Problema

El cambio climático, probablemente, es el mayor problema ambiental al que se enfrenta la humanidad en la actualidad, ya que afecta a todo el planeta (UNFCCC, 2011). El clima determina las condiciones de vida y un cambio en éste supondría grandes cambios en la seguridad alimentaria, la actividad económica, la seguridad de las poblaciones y en los ecosistemas; además tiene carácter retroactivo, los propios efectos del cambio climático contribuyen a la aceleración del mismo (Hidalgo. M, 2013).

El "Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático" (*Intergovernmental Panel on Climate Change* o IPCC por sus siglas en inglés) define el cambio climático como: el cambio en el estado del clima que puede ser identificado (mediante datos estadísticos) por cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades, y que persiste en un periodo prolongado, décadas o más. Se refiere a cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, sea resultado de una variabilidad natural o resultado de la actividad humana. (IPCC, 2013)

Por otro lado la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático" (*United Nations Framework Convention on Climate Change* o UNFCCC por sus siglas en inglés) lo define como: cambios en el clima que son atribuidos directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición global de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. (UNFCCC, 1992; 2011).

Las causas que provocan el cambio climático, según el IPCC (1992) se pueden dividir en dos:

- Naturales. Causas externas, como un cambio en la energía solar que llega a la Tierra, por ejemplo la caída de un meteorito. Causas internas: erupciones volcánicas, cambios en la circulación de las corrientes e incluso actividades tectónicas.
- Antropogénicas: calentamiento global por emisión y aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

El efecto invernadero se puede describir como la reemisión de la radiación terrestre emitida por parte de una capa de ciertos gases en la atmósfera, esta capacidad de devolver la radiación viene determinada por la concentración y el tipo de gases que se encuentren en la atmósfera, ya que no todos los GEI tienen la misma capacidad de reemitir radiación ni todos se encuentran en la misma concentración.

Gracias a este efecto se mantiene la temperatura media del planeta, el problema es que dicha temperatura media está aumentando debido a que la concentración de GEI en la atmósfera está incrementándose, lo que provoca que la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre "rebote" varias veces en la atmósfera calentando en exceso la superficie terrestre. En la ilustración 1 se muestra el funcionamiento del efecto invernadero y el efecto que tiene el aumento de los GEI en la atmósfera.

Los gases responsables de este efecto, según el IPCC (1992) son los siguientes: vapor de agua (H₂O), ozono (O₃), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y los gases clorofluorocarbonos (CFCs).

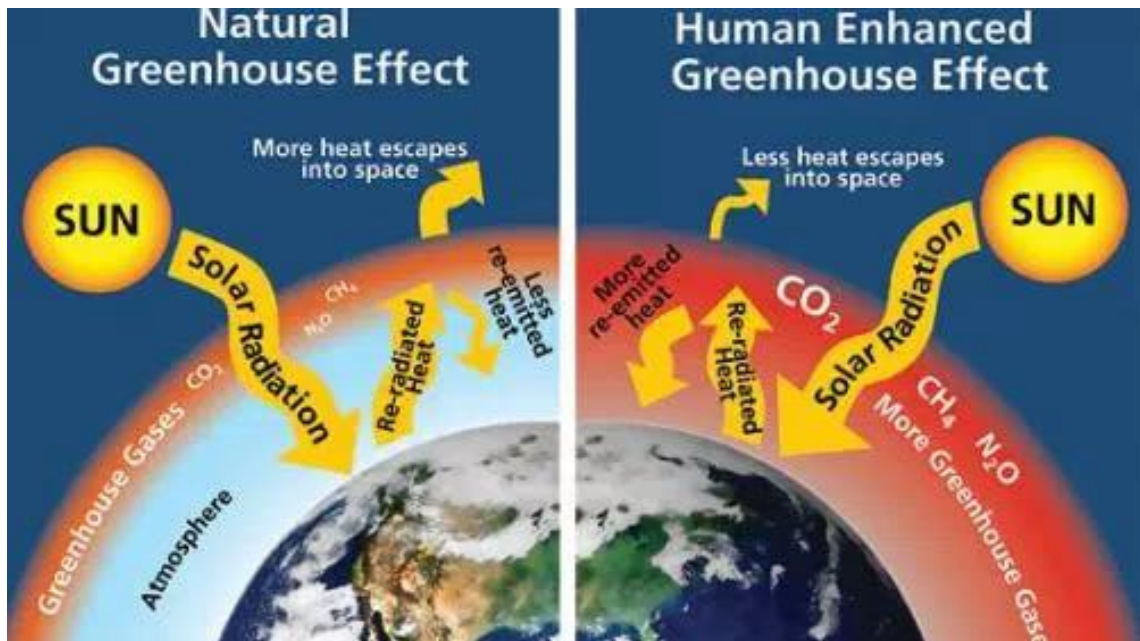


Ilustración 1. Esquema efecto invernadero. Obtenido de www.ck12.org

1.3. Objetivos

Los objetivos del presente Trabajo Final de Máster son:

- Realizar una revisión bibliográfica de las alternativas de cultivo del arroz existentes a nivel mundial que permiten disminuir las emisiones de metano.
- Evaluar la capacidad de adaptación de las alternativas de mitigación encontradas a las condiciones sociales, medioambientales, económicas y agronómicas del Parque Natural de la Albufera de Valencia.
- Seleccionar entre las medidas posibles de ser adoptadas, mediante la aplicación del método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), la alternativa que mejor se adapta al Parque Natural de la Albufera de Valencia, siguiendo criterios económicos, sociales y ambientales.

1.4. Metodología

Para la elaboración del presente Trabajo Final de Máster, tras la introducción, se ha realizado una descripción de las técnicas y labores de cultivo (Estruch, V 2007 y Oscà, J.M. 2015), de los arrozales en el entorno del Parque Natural de la Albufera de Valencia.

Seguidamente, se ha realizado una revisión bibliográfica para determinar cuáles son las medidas de mitigación de emisiones de metano que existen en el cultivo del arroz a nivel global.

Posteriormente se ha analizado posibilidad de dichas medidas de ser adoptadas en el entorno del Parque Natural de la Albufera, teniendo en cuenta las limitaciones existentes al tratarse de una figura protegida ambientalmente, las características físicas y la forma en la que

tradicionalmente se lleva realizando el cultivo en dicha zona, seleccionando 4 de ellas como viables de aplicar.

Seguidamente se ha valorado el coste económico que supondría para los agricultores la aplicación de dichas medidas y se han sometido a un proceso de selección AHP contando con 8 expertos para seleccionar una de ellas como la mejor solución para reducir las emisiones de metano en el Parque Natural de la Albufera de Valencia.

Finalmente, se muestran las conclusiones del estudio realizado.

2. El cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia

2.1. Características botánicas y agronómicas del arroz.

Es un cultivo característico de clima tropical y subtropical que encuentra su rango óptimo de temperaturas en el rango de 20-35 °C, comenzando a presentar problemas a partir de temperaturas inferiores a 16 °C. Otra característica de su clima de origen es su exigencia en agua. Si el cultivo no se realiza inundado, el agua es uno de los factores limitantes (Chaudhary, et al 2003).

Según las condiciones hídricas a las que se somete el cultivo, Bonciarelli (1987) distingue 4 formas de realizar el cultivo del arroz (Oscà, J.M, 2015):

- a) Cultivo pluvial o de tierras altas: cuando el aporte de agua depende únicamente de la lluvia.
- b) Arroz en sumersión no controlada: el arroz se cultiva en una zona baja, inundada periódicamente de manera aleatoria durante el cultivo.
- c) Cultivo con riego intermitente: el agua se suministra mediante riegos discontinuos o intermitentes como en cualquier otro cultivo de regadío.
- d) Cultivo en sumersión controlada: se mantiene la capa de agua de un espesor deseado en los campos. Este sistema es el más intensivo y el que se practica en el Parque Natural de la Albufera de Valencia.

2.2. Importancia del cultivo en el mundo y en España.

El arroz es el cultivo más importante para la alimentación humana por cuanto gran parte de la población mundial depende de este cultivo para su supervivencia, es además (FAO, 2004) el cultivo que mayor aporte calórico aporta a la población mundial humana, ver ilustración 2.

Con unos 770 millones de toneladas de arroz cáscara, es el tercer cultivo en volumen producido tras el maíz (1.135 millones de toneladas) y ligeramente superado por el trigo (772 millones de toneladas) ver ilustración 2. El 90% se produce en Asia oriental y meridional. China e India producen más del 50% de la producción mundial. (AEEA, 2017).

En Europa destacan como países productores Italia con 1,6 millones de toneladas (39,2 % del total de Europa), Rusia con un millón de toneladas (24,4 %) y España que representa el 20,6 % de la producción, con un total de 0,8 millones de toneladas. (FAOSTAT).

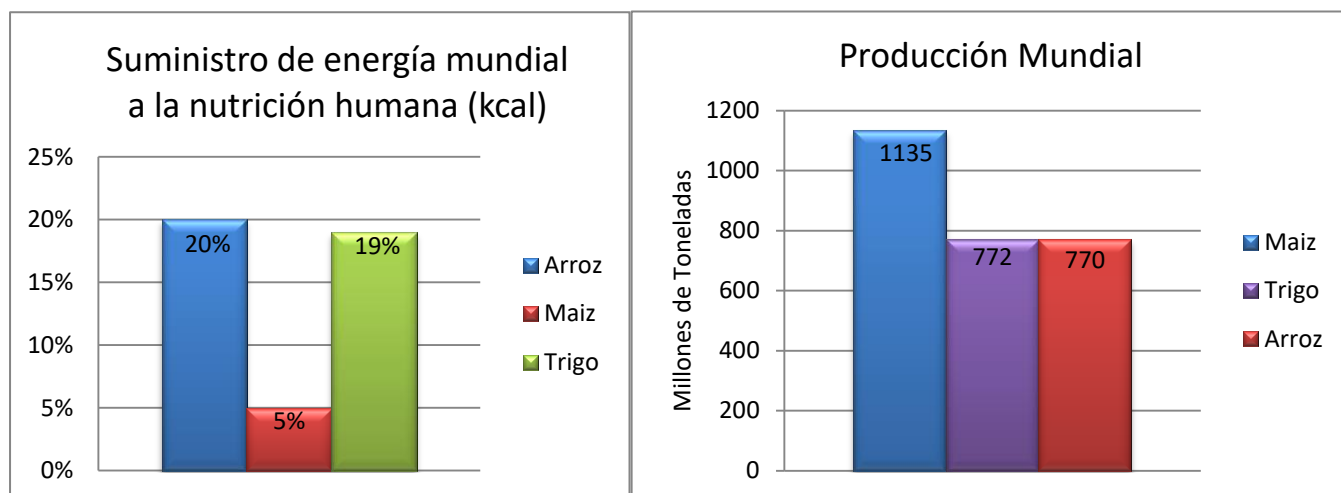


Ilustración 2. Suministro de energía mundial a la nutrición humana de los 3 principales cultivos (izquierda). Elaboración propia a partir de FAO 2004. Y Producción mundial de los 3 principales cultivos (derecha). Elaboración propia a partir de FAOSTAT datos de 2017

La producción en España se ha centrado fundamentalmente en zonas “húmedas” (Sevilla, Tarragona, Valencia y Murcia), aunque tras la liberalización del sector, y la desaparición de los cotos arroceros, el cultivo se extendió por otras zonas como Extremadura, Aragón y Navarra, que pueden considerarse no tradicionales (Oscà, J.M, 2015). Actualmente la superficie cultivada asciende a 107.600 hectáreas y la producción total a 835.178 toneladas (MAPA), siendo las principales comunidades autónomas productoras de arroz Andalucía y Extremadura (Tabla 1).

Aunque, tanto en Europa como en España, el arroz es un cultivo de poco peso específico en el conjunto de la agricultura, que normalmente se encuentra asociado a zonas de gran valor medioambiental, como son los humedales. En España, se puede encontrar cultivo de arroz en el entorno de los parques naturales de la Albufera de Valencia, Delta del Ebro en Tarragona o en Doñana en Sevilla. (Oscà, J.M, 2015).

Tabla 1. Distribución de la superficie y producción de arroz en España. Elaboración propia a partir de datos MAPA

Comunidad Autónoma	Producción (Ton)	Producción (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Andalucía	381.034	46%	40.079	37%
Extremadura	164.584	20%	23.406	22%
Cataluña	128.924	15%	20.576	19%
Com. Valenciana	114.396	14%	15.236	14%
Otras	46.240	6%	8.307	8%
Total	835.178	100%	107.604	100%

2.3. Descripción del medio. El Parque Natural de la Albufera de Valencia.

La Albufera de Valencia es un humedal situado a unos 10 kilómetros al sur de la ciudad de Valencia (ilustración 3), de una extensión aproximada de 21.120 hectáreas, en el que se distinguen tres ambientes diferentes: el lago, de agua dulce y con una extensión de unas 2.100 hectáreas; el marjal, formada por los campos de arroz, caminos y acequias con una extensión de 14.500 hectáreas; y la Devesa, que ocupa el resto del parque, unas 4.500 hectáreas de dunas de arena y bosque mediterráneo, que separa el propio lago de agua dulce del mar. El hábitat pantanoso que rodea el lago fue transformado en arrozales y la superficie del lago es sustancialmente más baja hoy en día que al comienzo del siglo XX (Reig et al 2010).

La transformación fue detenida hace algunas décadas debido a la declaración de la zona Parque Natural en 1986 y en humedal Ramsar en 1900, desde entonces el cultivo del arroz se encuentra bajo la regulación del parque. Desde 1991 la Albufera es Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), de acuerdo con la Directiva Europea de Aves (79/409/EEC) y forma parte de la Red Natura 2000 (Reig et al 2010).

La agricultura es el motor económico del Parque Natural de la Albufera siendo el cultivo del arroz la actividad más importante dentro de los activos de mercado. En la zona también existen actividades pesqueras y de caza, aunque a un nivel inferior respecto a lo que ocurría antiguamente. El intercambio de agua entre el lago y el mar está regulado por tres grandes compuertas y, asimismo, la distribución del agua por todas las explotaciones se realiza a través de un sistema de acequias. (Jorge, D. 2018)

El parque a su vez se encuentra dividido en dos zonas (PDR 2014-2020). La zona baja: áreas contiguas al lago de la Albufera donde la tierra de labor se sitúa a un nivel igual o inferior a la lámina de agua del lago. Y la zona alta: resto de áreas. Esta división del parque adquiere una gran importancia, ya que las medidas planteadas posteriormente pueden verse afectadas por las características de estas zonas.

El Parque Natural está considerado como uno de los humedales mediterráneos más importantes de Europa debido a la importante biodiversidad que alberga, sobre todo en invierno como zona de migración de aves. Esta característica junto con el gran valor paisajístico y las propias actividades asociadas a los diferentes parajes, hacen de la Albufera, un espacio ambiental muy importante tanto a nivel nacional como internacional. (Jorge, D. 2018).

Presenta una importante diversidad biológica con más de 250 especies orníticas que utilizan regular o excepcionalmente este ecosistema, y 90 se reproducen en él. En la Comunidad Valenciana, la mayoría de funciones generadas por los humedales: recarga de acuíferos; mantenimiento de la biodiversidad; depuración del agua, reducción del nitrógeno y fósforo vertido al lago y mantenimiento de paisajes son realizadas por el arrozal. De estas funciones cabe destacar el mantenimiento de la cadena trófica pues la mayor parte de ésta se genera en el arrozal y permite el mantenimiento de gran parte de las poblaciones existentes (PDR 2014-2020).



Ilustración 3. Localización del Parque Natural de la Albufera de Valencia. Fuente: Jorge, D. 2018

El cultivo en esta zona está marcado por las limitaciones en cuanto a aplicación de fitosanitarios y por la inundación invernal del parque para la protección de las aves. Además, la Albufera de Valencia cuenta con las siguientes protecciones ambientales:

- Parque Natural de la Albufera.
- Lugar Importancia Comunitaria (LIC).
- Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA).
- Humedal de Importancia Internacional (RAMSAR).
- Red Natura 2000

2.4. La Política Agraria Comunitaria (PAC). PDR 2014-2020.

La PAC juega un importante papel en el desarrollo del cultivo en la Albufera, ya que para poder beneficiarse de sus pagos se deben seguir una serie de normas o condiciones a la hora de realizar el cultivo, que van encaminadas a conseguir una mayor protección ambiental del Parque Natural de la Albufera, y que se establecen en el Programa de Desarrollo Rural de la Comunitat Valenciana 2014-2020, como ya se había regulado en anteriores PDR.

Según el propio PDR 2014-2020 estas medidas de protección ambiental contempladas dentro de la medida 10: Agroambiente y clima. Tienen especial interés en el caso del cultivo del arroz los objetivos 4 y 5:

- Preservación y recuperación de la población de aves acuáticas propias de las zonas de humedal.
- Evitar la desecación de los humedales manteniendo la calidad en las aguas superficiales en estas áreas.

Para poder recibir el pago, los agricultores deben comprometerse a cumplir una serie de compromisos:

a) Compromisos principales:

- Realizar el cultivo del arroz exclusivamente, sin practicar un cultivo secundario.
- Utilización de semilla certificada (dosis mínima de 100kg/ha).
- Mantener los lindes de las parcelas libres de invasión de malas hierbas a través de escarda manual o mecánica, sin el uso de herbicidas durante la época de no cultivo.
- Mantener los elementos de conducción de agua, en buenas condiciones y libres de malas hierbas.
- En la zona baja se mantendrán la superficies inundadas tras la cosecha, hasta el 15 de enero del año siguiente Para evitar la aparición de aguas anóxicas durante la inundación los agricultores deberán realizar alguna de las siguientes prácticas:
 - Retirada de la paja del arroz antes de la inundación post-cosecha.
 - Secado de la paja del arroz durante quince días inmediatamente después de la cosecha y antes de la inundación post-cosecha.
 - Enterrado de la paja del arroz inmediatamente después de la cosecha y antes de la inundación post-cosecha.
 - Recirculación del agua de la inundación post-cosecha, hasta el 15 de noviembre.
 - Medidas excepcionales de eliminación de la paja del arroz con previa autorización medioambiental (combustión de la paja).
- En la zona alta se optará por realizar la inundación tras la cosecha, en las mismas condiciones que en la zona baja se mantendrá el rastrojo hasta el 15 de diciembre del año de la recolección al registrarse lluvias otoñales (meses noviembre-diciembre) por encima de 30 mm/semana, se permitirá el enterrado del rastrojo.

b) Compromisos secundarios:

- En ausencia del cultivo, el control de las malas hierbas se realizará mecánicamente mediante el enfangado o mediante fresadora

2.5. El cultivo del arroz: etapas y labores de cultivo.

2.5.1. Preparación del terreno.

Las labores del cultivo del arroz transcurren desde octubre (inundando las parcelas, siempre que sea posible) hasta septiembre (momento de la cosecha). Previa a esta inundación otoñal, se deben realizar una serie de labores. La primera labor, que se realiza en otoño, es la incorporación de los restos de la cosecha anterior para provocar la descomposición, tanto aeróbica (en parcelas no inundadas en invierno) como anaeróbica (en parcelas inundadas en invierno), para que cuando las parcelas sean inundadas para la siembra no aparezcan y dificulten la germinación (Estruch, V. 2007).

Hacia final de febrero se realiza el fangueo, que consiste en remover el barro de las parcelas para eliminar las posibles adventicias que hayan podido crecer durante el invierno, para ello se utilizan tractores con unas ruedas especiales, ver ilustración 4, denominadas “gabies” (Oscà, J.M. 2015).



Ilustración 4. Tractor realizando la labor del fangueo. Fuente: Levante EMV.

La siguiente labor es conseguir una capa arable de unos 25 centímetros, donde se desarrollara la mayor parte de la planta. Para ello se combinan diferentes aperos como fresadoras, cultivadores y/o entabladoras (Estruch, V. 2007). Estas operaciones tienen lugar entre los meses de marzo y abril y se realizan con los terrenos sin inundar.

No obstante una de las principales condiciones para un buen resultado agronómico es conseguir que las parcelas estén bien niveladas, para que el agua pueda circular adecuadamente y se mantenga de manera uniforme la lámina de agua en toda la parcela, para ello es imprescindible realizar nivelaciones de las parcelas como mínimo cada dos años (Estruch, V. 2007).

2.5.2. El abonado del arroz.

El cultivo del arroz extrae por cada tonelada de grano producida 21 kg de nitrógeno, 18 de K_2O y 11 de P_2O_5 , este dato junto con el análisis de suelo indicaran la cantidad de fertilizante a aplicar (Oscà, J.M. 2015), no obstante el momento y la técnica de aplicación es común para todos los agricultores productores de arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia.

El arroz es capaz de absorber nitrógeno en forma nítrica y en forma amónica. Durante el periodo vegetativo prefiere la forma amónica y desde el inicio de la fase reproductiva absorbe mejor el nitrógeno en forma nítrica (Oscà, J.M. 2015). Las dosis de abonado depende de la variedad y del tipo de suelo, pero generalmente una dosis de 120 kg/ha es suficiente, fraccionados de la siguiente manera: 75% en abonado de fondo (forma amónica) y 25% restante en abonado de cobertura al comienzo del periodo reproductor (forma nítrica). (Oscà, J.M. 2015).

La capacidad de los suelos inundados para suministrar fósforo es superior a los suelos secos, no obstante se recomienda una dosis que oscila entre 50-140 kg P₂O₅/ha. (Oscà, J.M. 2015).

En el caso del potasio, la paja del arroz contiene las tres cuartas partes del total absorbido, gran parte de este potasio es devuelto bien con la quema de la propia paja (mineralización) o con su incorporación con el fangueo, además la inundación aumenta la solubilidad de este elemento y por tanto su disponibilidad para las plantas, lo cual explica que el abonado potásico no se de en la mayoría de las explotaciones arroceras de la Albufera de Valencia. (Oscà, J.M. 2015).

El fósforo, la mayor parte del nitrógeno y el potasio (si se decide aplicar) se aportan como fertilizantes de fondo con las labores preparatorias del terreno. Posteriormente, aprovechando la retirada de agua o “eixugó” que se realiza entre junio y julio se aprovecha para aportar, si es necesario para corregir deficiencias, el nitrógeno en cobertera (Oscà, J.M. 2015).

2.5.3. La siembra del arroz.

La siembra de arroz tiene lugar a entre finales de abril y principios de mayo, con las parcelas ya inundadas. Las siembras se realizan a voleo mediante abonadoras centrífugas o mediante medios aéreos con, unas dosis de semillas que oscilan entre 120 y 180 kg/ha. Una práctica habitual es la reposición de marras o fallos de germinación con plántulas provenientes de plantel. (Oscà, J.M. 2015).

Hay que destacar que se debe realizar una tarea previa a la siembra con las semillas, esta tarea consiste en sumergir las semillas un par de días en agua para provocar la pregerminación de las mismas y aumentar así el éxito de la siembra. (Oscà, J.M. 2015).

2.5.4. Malas hierbas, plagas y enfermedades del cultivo del arroz.

A continuación se van a describir las principales enfermedades, plagas y malas hierbas que afectan al cultivo del arroz.

- **Malas hierbas.**

Las principales malas hierbas del arrozal son: el género *Echinochloa* y *Leersia oryzoides*, pertenecientes a la familia de las gramíneas; las ciperáceas como *Scirpus maritimus* y *Cyperus difformis* y el arroz salvaje *Oryza sativa*. (Oscà, J.M. 2015).

Es bastante común encontrar en los arrozales inundados, problemas causados por la presencia de algas. (Oscà, J.M. 2015).

- **Plagas.**

Las plagas principales del arroz son *Spodoptera littoralis* (rosquilla negra), *Sesamia nonagroides* (taladro del maíz), *Eysarcoris incospicuus* (chinche del arroz) y *Mythimna unipuncta* (rosquilla del arroz). Todas ellas son fitófagas y, generalmente, se alimentan de hojas aunque algunas atacan también a los propios granos del arroz. No obstante, por encima de ellas en importancia se encuentra el *Chilo suppressalis* (barrenador del arroz o “cucat”). (Oscà, J.M. 2015).

- **Enfermedades.**

Dos son las principales enfermedades que afectan al arroz, las dos son criptogámicas, *Pyricularia oryzae* (fallada del arroz) provocada por el hongo *Magnaporthe oryzae*, que es la más importante y más daños causa llegando a provocar pérdidas de hasta el 80% de la cosecha y *Helminthosporium oryzae*, que en los primeros estadios es similar a *Pyricularia* pero no provoca daños tan graves, ya que solo produce el fallo de pocos granos en una misma panícula. (Oscà, J.M. 2015).

Aunque debido al cambio de técnica de cultivo del arroz al sustituir el trasplante por la siembra directa, ya no es una enfermedad que cause problemas, el arroz también puede verse afectado por el virus del enanismo amarillo de la cebada (Barley Yellow Dwarf Virus) provocando una enfermedad que se conoce localmente como “enrojat” debido a la coloración anaranjada que adquieren las hojas de las plantas afectadas (Oscà, J.M. 2015).

2.5.5. Manejo del agua.

Es una de las operaciones más importantes a lo largo del cultivo, además suele ir asociada a otras labores, como la aplicación de tratamientos de control químico.

La altura de la lámina de agua es un factor importante para el desarrollo tanto del arroz como de las adventicias. En las etapas iniciales del cultivo el nivel del agua debe mantenerse muy bajo (2-5 cm) con el fin de favorecer el desarrollo inicial de las plantas y la formación de tallos productivos. Si en esta etapa el nivel de agua es excesivo, se retrasa el desarrollo de las plantas y los nudos productivos se forman en nudos superiores, lo que produce rendimientos menores. (Oscà, J.M. 2015)

A nivel que se desarrollan las plantas, debe aumentarse el nivel del agua, lo que frena el exceso de ahijamiento y formación de tallos no productivos y favorece el control de las malas hierbas. (Oscà, J.M. 2015)

A lo largo del cultivo el agua se elimina 1 o 2 veces, labor que se conoce como “eixugó”, que al oxigenar las tierras vigoriza el cultivo, si bien es cierto que son las malas hierbas las que más se benefician de este drenaje de las parcelas ya que se desarrollan más rápido que el propio arroz tras el “eixugó”. Suele aprovecharse los “eixugons” para realizar tratamientos herbicidas de postemergencia y para la aplicación del abonado de cobertera (junio – julio). La eliminación del agua es también una buena práctica para la eliminación de algas de la parcela. (Oscà, J.M. 2015)

2.5.6. Recolección y conservación.

La cosecha del arroz tiene lugar a partir de septiembre, llegándose a prolongar incluso hasta octubre, en el caso de las variedades más tardías (Oscà, J.M. 2015). Previo a la cosecha los campos han sido drenados.

2.5.7. Manejo y problemática de la gestión de la paja del arroz.

De manera estándar se producen alrededor de 5-6 toneladas de paja por hectárea de arroz. En la Albufera de Valencia se están originando unas 75.000 - 90.000 toneladas de paja al año, dicha paja tiene el inconveniente de ser un volumen de residuo que se genera en un periodo de tiempo corto (Ribó et al 2017).

Tradicionalmente, la paja se retiraba y se utilizaba para distintos usos, los cuales dejaron de ser rentables a finales de los años 60 y, para eliminarla, se procedía a la quema de esta en los mismos campos (Zanchetta, 2016)

Los agricultores consideran que esta práctica favorece la destrucción de esporas de hongos, como *Pyricularia oryzae*, así como algunas bacterias y semillas de malas hierbas. Además, facilita la reincorporación al suelo de determinados nutrientes (Ribó et al 2017).

La quema de la paja del arroz produce enormes cantidades de humo en toda la superficie de los cultivos, emitiendo CO₂* y otros Gases de Efecto Invernadero (GEI), con la quema de la paja se emiten también hidrocarburos, NOx, SO₂, compuestos orgánicos volátiles (VOCs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), compuestos policlorados, dioxinas y furanos (Abril et al 2009; Ribó et al 2017; AEEA, 2017) causando además problemas respiratorios a personas de los núcleos urbanos más próximos a las zonas de cultivo.

*Hay que recalcar que el CO₂ emitido durante la combustión es el CO₂ que absorbió la planta, y que es devuelto a la atmosfera, es decir, la paja del cultivo actuó como un reservorio al incorporar el CO₂ necesario para su desarrollo y al ser quemada, dicho CO₂ es devuelto a la atmosfera, es lo que se conoce con el termino de secuestro de carbono (IPCC, 2013)

En los últimos años, las ayudas promovidas por la UE para los agricultores que se acogen a las ayudas agroambientales de la Política Agraria Común (PAC), concretadas para la Comunidad Valenciana en el Programa de Desarrollo Rural 2014-2020, prohíben la quema de la paja como práctica habitual admitiendo excepciones para casos extraordinarios como el de emergencia fitosanitaria. Es decir, los agricultores se comprometen a no quemar la paja del arroz para cobrar las ayudas. Se puede realizar la quema aun cobrando cuando existe riesgo por *Leersia oryzoides* (mala hierba también conocida como falso arroz) o riesgo de causar anoxigenia o *Akiochi* (Ilustración 5). Como solución alternativa a la quema (prohibida) y a la retirada de los residuos del campo (baja rentabilidad), se ha procedido a la incorporación al suelo de los restos del cultivo.



Ilustración 5. Daños causados por aguas anóxicas o Akiochi

Si la quema de la paja produce impactos, también lo hace el dejarla sobre las parcelas de cultivo o su incorporación, ya que se potencia la emisión de metano al descomponerse la propia paja del arroz y se favorece que se puedan producir situaciones de anoxia o *Akiochi* (descomposición anaeróbica que produce H₂S, que junto con la ausencia de oxígeno genera mortandad de peces y daños al propio cultivo).

La incorporación de la paja supone siempre un aporte de materia orgánica a los campos de arroz, lo que se traduce en una importante fuente de nutrientes para el suelo. Si bien, incorporar un exceso de paja puede generar deficiencias nutricionales y aumentar la salinidad del medio. Además, puede producir toxicidad por azufre, afectando al rendimiento de los cultivos y aumentando las emisiones de H₂S a la atmósfera (Ribó et al 2017).

3. Estrategias de mitigación del cambio climático en el cultivo del arroz

El metano se produce al descomponerse la materia orgánica presente en las parcelas en ausencia de oxígeno, y la ausencia de oxígeno se debe a la lámina de agua existente en las propias parcelas, de modo que para reducir la cantidad de metano que se genera en los cultivos, se debe reducir la materia orgánica susceptible de ser descompuesta, o reducir el tiempo que dicha materia está en situaciones anoxicas, es decir, reducir el tiempo que se encuentran inundadas las parcelas.

Explicado de manera más técnica, las emisiones de metano de los cultivos inundados de arroz están controladas por los procesos de producción, oxidación y transporte del propio CH₄. El suelo se vuelve anóxico poco tiempo después de ser inundado, en estas condiciones la producción de metano se vuelve el proceso dominante de degradación de la materia orgánica, después de que los aceptores de electrones como el Fe (III) han sido consumidos. Existen dos tipos de vías metanogénicas: la vía acética y la vía H₂/CO₂ dependiente, dichas vías contribuyen a la producción de metano en un relación de 70% y 30% respectivamente. (Kruègr et al 2001).

Según Adhya et al, 2014 existen tres estrategias principales para conseguir reducir las emisiones de GEI en los cultivos inundados de arroz. La primera de ellas consiste en aumentar los rendimientos de los cultivos ya establecidos, ya que de esta forma se evitan emisiones por el cambio de uso de suelo y por la expansión del área de arroz cultivada.

La segunda estrategia pasa por un mejor manejo de la paja del arroz, las emisiones de metano aumentan cuando la paja fresca se deja en los cultivos inundados, especialmente si la tierra no es arada antes de la siembra. La quema de los restos del cultivo, también emite GEI y puede producir polución en el aire. Las estrategias para reducir emisiones incluyen la incorporación de la paja al suelo antes de la temporada productiva (antes de inundar) y retirar la paja del campo y utilizar para otros usos (Adhya et al, 2014).

Existen tres alternativas de manejo con los restos de la cosecha del arroz: la quema, la incorporación y la retirada de la paja de las parcelas. Aunque todas las alternativas tienen aspectos positivos y negativos, como se ha visto anteriormente (apartado 2.5.7.), ninguna parece ser la respuesta definitiva al problema.

Ante este escenario, el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), realizó un estudio comparando los impactos de 3 alternativas de gestión de paja de arroz sobre los rendimientos agrícolas y las características del suelo. Las alternativas estudiadas fueron:

- Quema de la paja después de la recolección del cultivo del arroz.
- Triturado e incorporación directa de la paja en el suelo de las parcelas realizada con la suficiente antelación a las labores preparatorias de la siembra.
- Recogida de la paja, una vez realizada la recolección, para buscarle un uso alternativo.

Del ensayo realizado durante ocho campañas en el Parque Natural de la Albufera de Valencia para evaluar si la modalidad de gestión de la paja que se realiza tiene o no un impacto agronómico y ambiental importante en los parámetros estudiados no se ha obtenido resultados contundentes que permitan decantarse por un tipo de tratamiento u otro. Los rendimientos globales han sido muy parecidos entre sí, por lo que sugiere que el manejo de la paja no va a influir de forma directa en la producción de arroz (Ribó et al 2017).

Si se decide incorporar los restos de cultivo en las parcelas, este aumento de materia orgánica en el suelo puede provocar incrementos comprendidos entre 50 y 60 % de las emisiones de metano (Tariq et al 2017). Otro aspecto fundamental a la hora de realizar la incorporación es el estado en el que se encuentra el suelo, ya que no es igual realizar la incorporación sobre terreno húmedo que sobre terreno seco.

El drenaje del suelo en los momentos en los que se realiza la incorporación de la paja, reducen las emisiones de CH₄ entre 45-74 %. Además airear el suelo cuando la paja ha sido incorporada, provoca una oxidación rápida del carbono de la misma, lo que se traduce en unas menores emisiones de CH₄ en las posteriores etapas de desarrollo del cultivo. La aireación del suelo incrementa el potencial redox del mismo, lo que suprime la actividad metanogénica y facilita la oxidación del metano por organismos metanotrofos (Tariq et al 2017).

Se pueden destacar cuatro alternativas de manejo de la paja que permitan reducir las emisiones de metano a la atmosfera, estas alternativas son las siguientes:

- **Incorporación de una cantidad menor de residuos** (Abril et al, 2009; Tariq et al, 2017; AEEA, 2017). Esta alternativa supone la incorporación de una parte de los residuos generados, el resto de los residuos pueden ser quemados o retirados de las parcelas.
- **Quema de la paja** (Wassman et al 2000; Sanchis, 2014; AEEA, 2017; Tariq et al, 2017; Faizul et al, 2017) En términos puros de emisión de metano, la quema de la paja supone un total de emisiones mucho menor a la incorporación, aunque lleva aparejado otros problemas, como la emisión de humo y otras sustancias contaminantes, como ya se ha visto en apartados anteriores (2.5.7.)
- **Utilización de variedades de menor porte** (Abril et al 2009). Considerando fija la altura a la que la cosechadora realiza el corte, y por tanto, la cantidad de rastrojo que quedará sobre las parcelas, la variedad seleccionada, sí influye en la cantidad de residuo que se genera.

- **Técnica y momento de incorporación.** Para conseguir reducir las emisiones es conveniente que la paja se incorpore seca al suelo (Adhya et al, 2014; AEEA, 2017) y que sea incorporada mediante una labor que entierre parcialmente los residuos, y que además el terreno este lo más seco posible (Tariq et al 2017; AEEA, 2017).
- **Retirada de los restos de la cosecha de las parcelas** (Wassman et al, 2000; Sanchis, 2014; Tariq et al, 2017; AEEA, 2017). Supone la retirada total de los restos del cultivo para darles un uso alternativo (alimentación animal, compostaje, material para mulching en otros cultivos, etc.) como un subproducto del cultivo del arroz.

La tercera estrategia consiste en la reducción o la interrupción de los periodos de inundación, esta estrategia es para Adhya et al 2014, la más importante ya que es la que mayor reducción de emisiones permite conseguir.

Cuanto mayor es el tiempo que el arroz permanece inundado, mayor es el tiempo en que se dan condiciones de ausencia de oxígeno en el suelo, y por lo tanto, las bacterias pueden realizar la descomposición de materia orgánica, produciendo metano, de modo, que reduciendo la duración del periodo de inundación se reducen las emisiones de metano.

Se proponen las siguientes medidas para conseguir reducir las emisiones por la tercera de las estrategias:

- **Siembra directa en seco** (Adhya et al 2014; AEEA, 2017). Como alternativa al trasplante de las plántulas, esta técnica solo es eficaz si se realiza la siembra sobre terreno en seco, si se realiza sobre parcelas inundadas no consigue reducir las emisiones de metano, ya que no se reduce la duración del periodo de inundación de las propias parcelas. No obstante, si se realiza la siembra directa sobre terreno inundado se consigue una reducción de emisiones comprendida entre el 16 % y el 22 % (Wassman et al 2000) respecto al trasplante, ya que durante el trasplante al remover el fango, se libera metano (AEEA, 2017), aunque la técnica que menos emisiones produce es la siembra directa sobre terreno seco.
- **Drenaje único a mitad de temporada** (Adhya et al 2014; Faiz-ul et al, 2017; Tariq et al 2017; AEEA, 2017; Wassman et al, 2000). Consiste en retirar el agua de las parcelas, durante el periodo de producción, el tiempo que se mantienen secas las parcelas debe ser el suficiente para permitir al oxígeno penetrar en el suelo, y de ese modo reducir las emisiones. Se estima que el periodo para conseguir dicho objetivo es entre 5 y 10 días.
- **Alternación de inundación y secado (AWD – Alternative Wetting and Drying)** (Adhya et al 2014; Tariq et al 2017; AEEA, 2017). La técnica AWD, desarrollada por el Instituto Internacional de Investigaciones del Arroz (IRRI por sus siglas en inglés International Rice Research Institute) consiste en ir alternando a lo largo del ciclo de cultivo inundaciones y retiradas de agua de las parcelas de cultivo. Lo que permite que las situaciones de anaerobiosis se den con mayor dificultad y por lo tanto limita la acción bacteriana.

Para llevar a cabo la técnica AWD, se inundan las parcelas, por lo general, a una profundidad de agua de alrededor de 5 centímetros, dejando después que el campo se seque hasta que la capa superior del suelo comience a secarse (aproximadamente el nivel del agua alcanza unos 15 centímetros por debajo de la superficie del suelo), y volver a inundar las parcelas hasta que la lámina de agua alcance los 5 centímetros. El ciclo de inundaciones puede comenzar desde 20 después de la siembra y puede prolongarse hasta 2 semanas antes de la floración.

- **Cultivo aeróbico de arroz** (Adhya et al 2014) También conocido como arroz “en secano”, consiste en mantener los campos secos y proporcionar agua mediante riegos cuando el cultivo lo requiera. Esta técnica elimina gran cantidad de emisiones de metano, incluso puede llegar a suprimirlas, aunque los rendimientos obtenidos son menores comparados con los cultivos inundados.
- **Reducción del tiempo de inundación fuera del ciclo de cultivo.** Como medida excepcional, dadas las condiciones concretas de la zona de estudio, se puede plantear reducir el tiempo en el que se mantienen las parcelas inundadas una vez el ciclo de cultivo ha terminado, con la reducción de ese tiempo de inundación se reduce el tiempo que la materia orgánica es susceptible de sufrir situaciones anóxicas, especialmente en las inundaciones otoñales en las que los restos del cultivo acaban de ser incorporados al suelo.

Todas las propuestas anteriores consiguen reducir las emisiones de metano del cultivo del arroz. En el caso de la siembra directa sobre terrenos secos, se consiguen reducir las emisiones hasta en un 30 %; una reducción de alrededor de un 40% para el caso de un solo drenaje; y se puede llegar a conseguir reducciones de emisiones de metano de cerca del 90% en el caso de la técnica AWD (Adhya et al 2014).

Existe otra medida que puede conseguir reducir las emisiones de CH₄ y que no pasa por reducir el periodo de inundación, en este caso, la medida está relacionada con el tipo de enmienda que se utiliza en el cultivo, según Wassman et al 2000, para los cultivos de arroz que son drenados durante el ciclo de cultivo, se puede alcanzar una reducción de cerca del 60 % de las emisiones en caso de utilizar paja compostada, en lugar de utilizarla sin ningún tratamiento.

No obstante, aunque las técnicas de cultivo mencionadas anteriormente consiguen reducir las emisiones de metano, los drenajes de las parcelas, tienden a incrementar las emisiones de óxido nitroso, debido a la alternancia de periodos de presencia y ausencia de oxígeno en el suelo (Wassman et al, 2000; Adhya et al 2014; AEEA, 2017; Faiz-ul et al, 2017; Tariq et al 2017) esto ocurre debido a una serie de reacciones de reducción y oxidación (red-ox) que sufre la materia orgánica presente en el suelo, las reacciones red-ox son llamadas ciclos de nitrificación y desnitrificación que tienen lugar cuando se combinan las fases de presencia de O₂ seguida de una fase de ausencia del mismo. En el proceso de nitrificación se produce N₂O como consecuencia de la oxidación y en la desnitrificación como consecuencia de la reducción.

Tabla 2. Resumen estrategias de mitigación de emisiones en los arrozales. Elaboración propia

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES	
ESTRATEGIA 1. Aumento de los rendimientos	
Medida 1	Aumento de los rendimientos
ESTRATEGIA 2. Manejo de la paja	
Medida 2	Incorporación de menor cantidad
Medida 3	Quema de la paja
Medida 4	Variedades de porte bajo
Medida 5	Técnica y momento de aplicación
Medida 6	Retirada de los residuos de las parcelas
ESTRATEGIA 3. Reducción de los periodos de inundación	
Medida 7	Siembra directa en seco
Medida 8	Drenaje único
Medida 9	AWD
Medida 10	Cultivo aeróbico
Medida 11	Reducción de la inundación sin cultivo
ESTRATEGIA 4. Tipo de fertilización	
Medida 12	Cambio incorporación paja sin tratamiento por paja compostada

4. Aplicación de las estrategias de mitigación en las condiciones de cultivo del Parque Natural de la Albufera de Valencia

Siguiendo el orden de las alternativas del apartado anterior, se va a realizar una comprobación de la viabilidad para poder adoptar las propias estrategias en el Parque Natural de la Albufera.

La primera estrategia propone un aumento de los rendimientos, en lugar de un aumento de la superficie cultivada. En el caso de la Albufera, la superficie cultivada no puede aumentar, ya que la totalidad de la superficie que puede ser destinada al cultivo del arroz ya está ocupada para dicho uso. Otro aspecto a considerar es que los rendimientos obtenidos en esta zona arrocerca son elevados, en torno a 8,5 ton/ha siendo la media de España de 7,7 ton/ha (AEEA, 2017). No obstante, podría contemplarse el empleo de variedades modificadas genéticamente (OGM) que aumenten los rendimientos manteniendo las condiciones y la superficie de cultivo. Pero debe descartarse esta medida, ya que la directiva europea (2001/18/EC) permite solo el cultivo de una variedad OGM, el maíz BT.

La segunda de las medidas pasa por una correcta gestión de la paja del arroz, en esta medida el factor clave, es reducir la cantidad de materia orgánica que se incorpora al suelo, ya que cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica mayor será la producción de CH₄, otro de los aspectos fundamentales es la forma en la que se realiza la incorporación de la misma y el estado en el que se encuentra tanto la propia paja como el suelo. Dentro de esta medida se contemplan las siguientes medidas:

- a) **Técnica y momento de aplicación.** Esta medida es perfectamente viable, siempre que las precipitaciones lo permitan, ya que se debería dejar secar la paja del arroz (tras la cosecha ya está seca) e incorporarla enterrándola con el terreno seco. Además de ser viable, estas medidas aparecen en los compromisos principales medida 10 para evitar la aparición de aguas anóxicas de la PAC (ver apartado 2.4.), por lo tanto se considera que esta medida ya se está realizando en los arrozales de la Albufera de Valencia.
- b) **Quema de la paja.** Aunque es una acción prohibida, con la concesión de permisos se puede conseguir acceder a su autorización, la quema de los rastrojos, según la bibliografía consultada puede llegar a reducir entre un 50% y un 60% las emisiones según Tariq et al (2017), por otra parte, Sanchis (2014) que realizó sus estudios en parcelas de experimentación en la Albufera indica que la reducción de emisiones durante el cultivo es del 43%. Como valor promedio se utilizará una disminución por valor de un 49 %.
- c) **Retirada de los restos de la cosecha de las parcelas.** En términos ambientales parece la medida que mayor resultado produce, ya que se evitan los problemas de la quema y las emisiones de la incorporación. El gran hándicap de esta medida es el elevado coste que tiene para los agricultores la retirada de la paja de las parcelas. No obstante, en esta línea de medidas ya se han realizado algunos avances con proyectos LIFE de la Unión Europea como: LIFE LOWCARBON FEED, LIFE SOSTRICE y LIFE ECORICE, que pretenden utilizar la paja de arroz como un ingrediente para la formulación de piensos animales; la generación de electricidad; o el compostaje. Aunque ninguno de ellos ha alcanzado el éxito suficiente para mantenerse como opción económicamente viable.

Se debe tener en cuenta, que si la parte baja se inunda demasiado pronto, es muy probable que no se pueda acceder a las parcelas para poder retirar la paja, ya que la paja debe permanecer un tiempo en la parcela para terminar de secarse.

Un estudio llevado a cabo por Sanchis (2014) demostró que la eliminación de los restos de cultivo supone una reducción del 55% de las emisiones de metano durante el ciclo de cultivo.

- d) **Incorporación de menor cantidad de residuo.** se plantea la retirada para un uso alternativo o la quema de una parte del residuo, y la parte restante iría destinada a la incorporación en el suelo, en este apartado se debería tener en cuenta las mismas consideraciones que en los dos anteriores. Por ejemplo, en California (EEUU) se quema el 25% de la paja y el 75% restante es incorporado (Abril et al 2009).

No obstante se plantea como medida de mitigación la incorporación del 50 % y la quema del 50 % restante. De modo que el porcentaje de reducción será del 24.5%

(49 % de reducción de emisiones derivada de la quema, pero solo se realiza la quema en el 50 % de la superficie)

- e) **Emplear variedades de menor porte**, la variedad utilizada influye mucho en la cantidad de paja que genera el cultivo ya que la altura que alcanza la planta no es la misma, se deberían priorizar variedades de caña baja (ver ilustración6).

Debe tenerse en cuenta que existe el Consejo Regulador Denominación de Origen Arroz de Valencia, dicha DO comprende las variedades tipo Senia (variedades Gleva, J. Sendra y Montsianell), la variedad Bomba y la variedad Albufera.

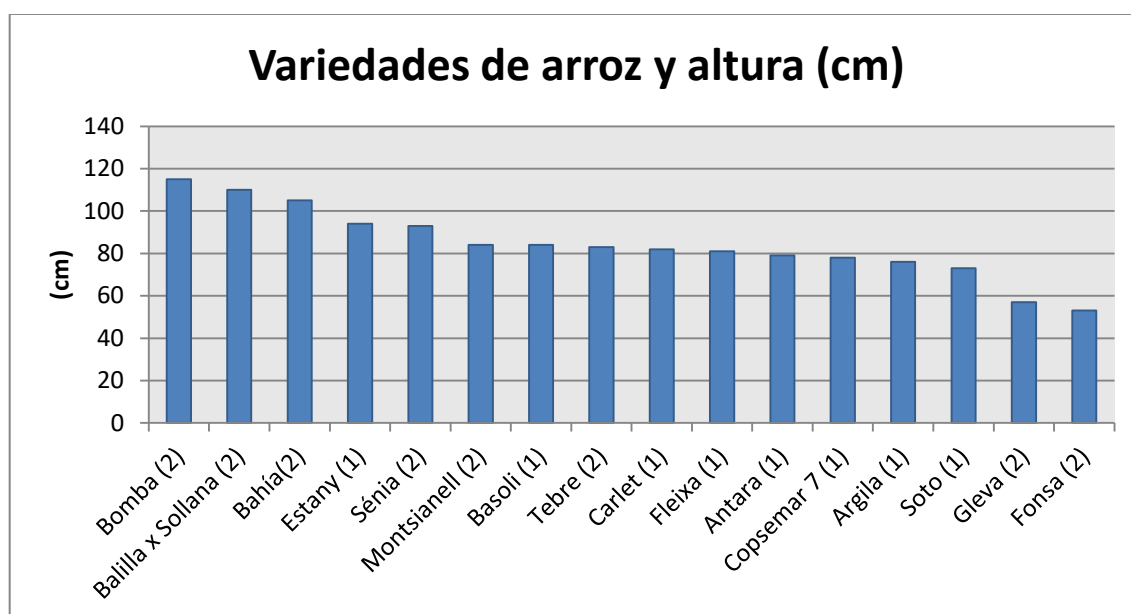


Ilustración 6. Altura de las variedades de arroz. Elaboración propia a partir de E. Pla 2016 (1) y Cerespain (2)

Para obtener una cifra de reducción de emisiones se ha fijado dicha cifra en la reducción de la cantidad de rastrojo que quedaría sobre las parcelas, para ello se ha fijado una altura de corte estándar de las cosechadoras de 15 centímetros, cifra que es independiente de la variedad sembrada, de modo que la cantidad de rastrojo se obtiene por diferencia entre la altura de la variedad y los 15 cm de corte de la cosechadora. El balance o porcentaje de aumento o disminución de emisiones se ha calculado tomando dos referencias como base, por un lado la cantidad media de rastrojo (*) de todas las variedades (las variedades que aparecen son todas de grano medio y corto), por otro lado se ha calculado tomando como base la cantidad de rastrojo de la variedad más alta (**), la variedad Bomba, obteniéndose una reducción promedio del 31% de las emisiones respecto a la variedad más alta, y una reducción comprendida entre el 58 % y el 62 % al utilizar las variedades más bajas respecto a la variedad Bomba. los resultados se reflejan en la tabla 3.

Tabla 3. Reducción de cantidad de rastrojo según variedad. Fuente: elaboración propia

Variedad	Altura (cm)	Corte cosechadora (cm)	Cantidad rastrojo (cm)	Balance respecto a la media (%) *	Balance respecto a variedad Bomba (%) **
Bomba	115	15	100	37%	0%
Balilla x Sollana	110	15	95	31%	-5%
Bahía	105	15	90	25%	-10%
Estany	94	15	79	12%	-21%
Sénia	93	15	78	10%	-22%
Montsianell	84	15	69	0%	-31%
Basoli	84	15	69	0%	-31%
Tebre	83	15	68	-1%	-32%
Carlet	82	15	67	-3%	-33%
Fleixa	81	15	66	-4%	-34%
Antara	79	15	64	-6%	-36%
Copsemar 7	78	15	63	-7%	-37%
Argila	76	15	61	-10%	-39%
Soto	73	15	58	-13%	-42%
Gleva	57	15	42	-32%	-58%
Fonsa	53	15	38	-37%	-62%
Promedio	84	-	69	-	-31%

La tercera medida se centra en el tiempo de inundación, siendo el factor clave la reducción del mismo para conseguir disminuir las emisiones de metano a la atmosfera, este es uno de los aspectos más importantes en el caso de estudio, ya que las parcelas permanecen inundadas durante la mayor tiempo del año, directamente por el propio ciclo de cultivo del arroz o por motivos medioambientales propios del Parque Natural.

Se debe tener en cuenta dos limitaciones que pueden afectar a este tipo de medidas, la primera de ellas es una restricción puramente ambiental, en un humedal como la Albufera de Valencia, con la protección mediante figuras ambientales que posee (Parque Natural, ZEPA, RAMSAR, LIC y Red Natura 2000) no parece que la opción de reducir el tiempo que se mantienen inundadas las parcelas sea una opción buena, ya que lleva asociada una grave afección al ecosistema que la propia inundación de las parcelas genera.

Por otro lado, el hecho de que exista una zona de cultivo, la zona baja de la Albufera, cuyo nivel freático es igual e incluso inferior al del propio lago, hace que las parcelas se inunden de forma natural y para conseguir el drenaje sea necesario bombear el agua de las parcelas y para ello, se realiza por zonas delimitadas denominadas “tancats”.

Los llamados tancats de la Albufera son asociaciones de parcelas de arroz, ganadas poco a poco a la laguna tras los históricos aterramientos, actualmente existe un total de 103 tancats ocupando una superficie de casi 5.200 hectáreas de las 14.500 de cultivo que existen (Martínez, 2018). El nivel de estos arrozales se encuentra por debajo del nivel de las aguas de la laguna, por lo tanto necesitan estar completamente aislados de las aguas de la Albufera mediante altas motas (elevaciones del terreno), si no lo estuvieran, el nivel de agua en los campos llegaría a igualar los niveles de la Albufera, y permanecerían constantemente inundados. Así, todos los Tancats

comparten un mismo sistema hídrico: el agua entra por gravedad y es desaguada por motores (Tancatdelapipa.net).

Dentro de esta estrategia se contemplan varias medidas:

- a) **Siembra directa en seco.** En la parte alta debería retrasarse la inundación hasta el momento posterior a la siembra, ya que previo a la siembra se han realizado las tareas de preparación del terreno en seco, y no inundar previamente a la siembra, como se está realizando actualmente. En la parte baja esta medida dependería de si se han inundado o no las parcelas de forma natural.

No obstante el retraso en la fecha de inundación afecta negativamente al éxito reproductivo de muchas especies de aves acuáticas de la Albufera, y es por ello por lo que se descarta esta opción.

- b) **Drenaje único a mitad de temporada.** Se puede considerar que esta medida ya se realiza, ya que entre junio y julio se realiza un drenaje en el cultivo y otro drenaje más suele realizarse si es necesario realizar algún tratamiento fitosanitario.
- c) **Alternative Wetting and Drying (AWD).** La aplicación de esta técnica supondría la realización de sucesivos ciclos de inundación y drenaje, estos ciclos comenzarían a mediados o finales de mayo (suponiendo una siembra a principios del mes de mayo) hasta que florece el arroz en la Albufera. Estos ciclos de inundación y drenaje supondría la necesidad de bombear agua y además afectaría a la fauna, especialmente a las aves, ya que no se dispondría de una zona de agua constante mientras el cultivo del arroz se está desarrollando.

Otro aspecto a considerar es la capacidad de poder drenar las parcelas libremente, ya que en la Albufera el drenaje y la inundación están regidos por los tancats y no puede drenarse las parcelas individualmente cuando se desee, sino que debería de llevarse a cabo las operaciones de drenaje e inundación en toda la superficie del tancat.

No se contempla como una alternativa viable, por dos motivos, uno por la gran dificultad y coste económico que supondría la puesta en marcha de los grupos de bombeo en los tancats y debido al impacto que generaría sobre el ecosistema del propio humedal.

- d) **Cultivo aeróbico.** No se contempla como una alternativa viable plantear un cultivo de arroz sobre suelo seco en un humedal de tanta importancia como es la Albufera de Valencia, otro motivo es que las zonas bajas del humedal gran parte del año se inundan de forma natural al estar el nivel de las parcelas a misma cota e incluso inferior a la lámina de agua del lago.
- e) **Reducción del tiempo de inundación fuera del ciclo de cultivo.** La aplicación de esta medida sería bastante difícil y problemática. Por un lado la parte baja de la Albufera se inunda de manera natural en octubre, ya que además de estar a cota inferior al

lago, es en otoño cuando mayores precipitaciones se registran en el mediterráneo, por lo que la retirada del agua debería ser mediante bombeo, suponiendo un coste económico además de un aumento de las emisiones de CO₂ relacionadas con la puesta en marcha de las estaciones de bombeo, no olvidándose del sistema de los tancats por el que se rige la cota de agua en las parcelas.

En la parte alta no supondría un problema, ya que no se encuentra inundada al estar a cota superior al lago, puntualmente pueden inundarse algunas parcelas si se dan precipitaciones muy copiosas, pero dichas inundaciones no duran mucho tiempo. Por ello se considera que en la parte alta dicha medida se realiza.

Por otro lado, mantener inundadas las parcelas supone el hábitat ideal para las aves acuáticas que migran desde latitudes mayores en busca de inviernos suaves, tanto las que son objeto del aprovechamiento cinegético que tiene lugar desde noviembre hasta enero (ORDEN 20/2018), como las que no lo son. Por lo tanto la retirada del agua durante el otoño, el invierno y parte de la primavera supondría un grave efecto negativo en el ecosistema.

Otro inconveniente de esta medida es que contradice a la PAC (aunque adherirse a las ayudas de la PAC es voluntario) que contempla la inundación otoñal como compromiso principal para poder cobrar las ayudas dentro de la medida 10 del bloque Agroambiente y clima (ver apartado 2.4.)

La cuarta de las estrategias, que se refiere al tipo de fertilización, en cuanto a la fertilización orgánica, el principal problema en cuanto a la utilización de paja compostada en lugar de la propia paja incorporada sin compostar, reside en el coste, ya que primero debería ser retirada para posteriormente incorporarla una vez haya sido compostada, y por esto esta medida se ve incluida en la medida de retirar la paja de los campos para darle un uso alternativo.

Tabla 4. Resumen Viabilidad de las medidas de mitigación. Elaboración propia

ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES		¿Es viable la medida?
ESTRATEGIA 1. Aumento de los rendimientos		
Medida 1	Aumento de los rendimientos	NO
ESTRATEGIA 2. Manejo de la paja		
Medida 2	Incorporación de menor cantidad	Sí
Medida 3	Quema de la paja	Sí
Medida 4	Variedades de porte bajo	Sí
Medida 5	Técnica y momento de aplicación	*
Medida 6	Retirada de los residuos de las parcelas	Sí
ESTRATEGIA 3. Reducción de los periodos de inundación		
Medida 7	Siembra directa en seco	NO
Medida 8	Drenaje único	*
Medida 9	AWD	NO
Medida 10	Cultivo aeróbico	NO
Medida 11	Reducción de la inundación sin cultivo	NO
ESTRATEGIA 4. Tipo de fertilización		
Medida 12	Cambio fertilización orgánica	NO

*Las medidas 4 y 7 ya se están realizando en el cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia.

5. Costes de adopción de las alternativas.

En el siguiente apartado se va a tratar el aspecto económico de la adopción de las medidas, que se han considerado como viables para poder ser adoptadas en el Parque Natural, para ello se parte de los ingresos (Tabla 7), de los costes (Tabla 5) y de la rentabilidad (Tabla 8), de una explotación tipo. Los datos han sido obtenidos de Martínez (2018) y se trata de los costes, para la campaña 2015-2016, de una parcela de 29 hectáreas ubicada en Sueca (Valencia) en la que se cultiva arroz del tipo Japónica.

Se procederá a valorar el coste por hectárea que supondría la hipotética adopción de las cuatro medidas viables de aplicación (cultivo de variedades de porte bajo, incorporación de menor cantidad de residuo, quema de los restos y retirada de los restos de cosecha), a partir de la tabla 6, en la que se reflejan los costes derivados de la gestión de los restos del cultivo.

- Alternativa 1 Incorporar menos cantidad (50 % incorporación y 50 % quema) en el parque.
El coste de esta medida viene determinado por la cantidad en la que se decida fraccionar el uso de los restos de la cosecha, ya que de dicho fraccionamiento dependerá el coste total de su manejo. Como se ha mencionado en el apartado anterior se opta por quemar e incorporar en una proporción de 50-50.

Los gastos totales ascenderían a 3.860,42 €/ha (3.839,22 €/ha “gastos parcela tipo” + 0,50· 4,40 €/ha “coste quema” + 0,5 · 38 €/ha “coste incorporación”).

- Alternativa 2: Quema de la paja. El coste de la operación de la quema de los restos de cosecha es de 4,40 €/ha, por lo tanto el gasto total por hectárea ascendería a 3.843,62
- Alternativa 3: Cambio a variedades de porte bajo (Ej. Fonsa o Gleva) ya que producen menor cantidad de paja. Los costes de aplicación de esta medida, no pueden calcularse como una variable fija, ya que el coste de adquisición de las semillas de las diferentes variedades no dependen únicamente de la altura que alcanza la variedad, ya que influyen otros aspectos como el rendimiento, las resistencias y tolerancias, la calidad del grano etc. No obstante la altura es una variable a tener en cuenta, ya que cuanto menor es la altura más difícil es que se produzca el encamado y por ello en el desarrollo de variedades se tiende hacia una altura menor. Por lo tanto se va a considerar que no tiene un aumento de costes.
- Alternativa 4: Retirada de la paja del campo. La retirada de los restos de cosecha suponen un coste de 40 € por tonelada (Navarro, 2006), con una producción de 5 a 6 toneladas de paja por hectárea (Ribó et al 2016) supone un coste medio de 220,00 € por hectárea, por otro lado Bellón (2016) cifra los costes entre 81 €/ha y 102 €/ha, por lo que se ha tomado un valor medio entre dichas cifras, ascendiendo el valor medio del coste de retirada de los residuos a 156 €/ha.

La implementación de esta medida supondría un aumento de costes de 156,00 €/ha que sumados a los 3.839,22 €/ha de gastos de una parcela tipo, supondría un gasto total de 3.995,22 €/ha.

Tabla 5. Costes del cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia. Elaboración propia a partir de Martínez, 2018

GASTOS	€ / Hectárea	TOTAL
Costes fijos		
Impuestos	56,00 €	
Seguros	18,00 €	
Renta tierra	1.164,00 €	
CCRR + Desagüe + Gastos tancat	480,00 €	
	Subtotal	1.718,00 €
Costes variables		
Fangueado	90,00 €	
Laboreo (2 pases fresadora, grada, cultivador)	180,00 €	
Nivelación parcelas	72,00 €	
Reparación márgenes	42,00 €	
Abonado	84,00 €	
Abono	105,00 €	
Siembra	48,00 €	
Semilla	162,00 €	
Pulverización herbicida	84,00 €	
Herbicida	178,50 €	
Pulverización fungicida	84,00 €	
Fungicida	63,90 €	
Mano de obra adicional (eliminación malas hierbas, trasplante...)	480,00 €	
Cosecha	336,00 €	
Gestión de la paja	*	
	Subtotal	2.009,40 €
Intereses de capital		
3,00 % anual	111,82 €	
	Subtotal	111,82 €
	TOTAL GASTOS	3.839,22 €

Tabla 6. Costes de la gestión de los restos de cosecha. Elaboración propia a partir de Aguilar et al 2007 (1) y Navarro E.A 2006 (2)

COSTES GESTIÓN DE LA PAJA	€ / Hectárea
Quema ¹	4,40 €
Incorporación ¹	38,00 €
Retirada ²	156,00 €

Tabla 7. Ingresos del cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia. Elaboración propia a partir de Martínez, 2018

INGRESOS	€ / Hectárea	TOTAL
Ingresos por venta de la cosecha		
Producción media (8,5 kg/ha) x precio medio Cooperativa (0,31 €/kg)	2.635,00 €	
Seguros		Subtotal
		2.635,00 €
Importe ayudas PAC 2016		
Pago básico	451,38 €	
Pago verde	230,20 €	
Ayuda arroz	112,94 €	
Agroambientales	440,07 €	
		Subtotal
		1.234,59 €
		Total
		Ingresos
		3.869,59 €

Tabla 8. Rentabilidad del cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia. Elaboración propia

BALANCE DE RENTABILIDAD	TOTAL
Beneficio cultivo: Ingresos por venta - Total gastos	-1.204,22 €
Rentabilidad: Beneficio cultivo + Ingresos PAC	30,37 €

6. Selección de alternativas.

6.1. Introducción.

El Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP), propuesto por Saaty en 1980, se basa en la idea de que la complejidad de un problema de toma de decisiones con criterios múltiples se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados.

La principal característica de AHP es que el problema de decisión se modeliza mediante una jerarquía en cuyo vértice superior está el objetivo del problema, la meta a alcanzar, y en la base se encuentran las posibles alternativas. En los niveles intermedios se representan los criterios y subcriterios en base a los cuales se toma la decisión.

Algunas de las ventajas que presente el método AHP frente a otros métodos de decisión son los siguientes:

- Presenta un modelo matemático que lo sustenta
- Permite analizar los problemas por partes
- Se pueden medir criterios cuantitativos y cualitativos
- Permite verificar el índice de consistencia

A continuación se va a proceder a describir el método propuesto por Saaty (1980) para llegar al resultado. El modelo AHP se puede dividir en 4 etapas.

1. Primera etapa: Modelización.

En esta primera etapa se debe realizar la jerarquización del problema, organizar las ideas y definir los objetivos, los criterios y subcriterios y las alternativas.

Se comienza por definir el objetivo del proceso, para posteriormente definir cuáles serán las alternativas a valorar para priorizar cual es mejor para el objetivo definido.

El siguiente paso es determinar cuáles van a ser los criterios y subcriterios a valorar, dichos objetivos deben representar el problema de la forma más completa posible. Además deben de ser cuantificables y medibles, tanto si son numéricamente (criterios cuantitativos) como si lo son subjetivamente (criterios cualitativos).

El problema se estructura en tres niveles, en el primero de ellos se encuentra el objetivos o meta a alcanzar, en el segundo de ellos los criterios que serán objetos de valoración y por los cuales se llegará a seleccionar una u otra opción, dentro de los criterios pueden establecerse de manera jerárquico diferentes subcriterios. Por último, en el tercer nivel se encuentran las alternativas que nos llevarían a solucionar el problema.

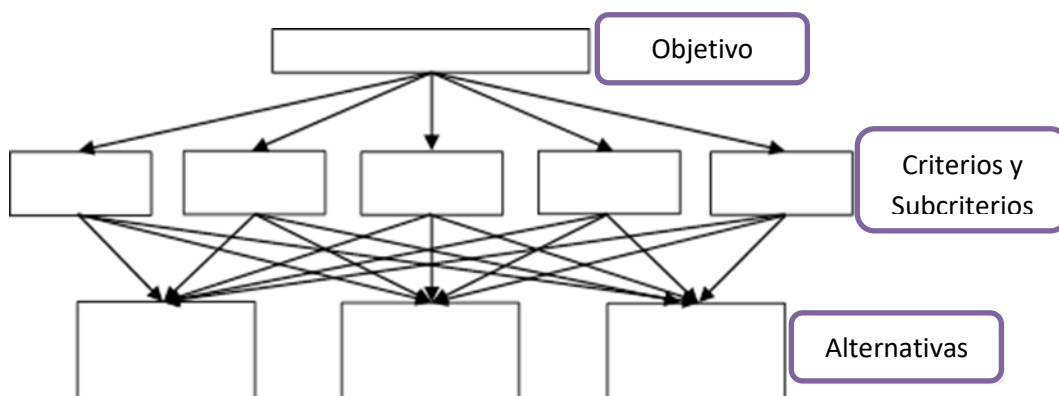


Ilustración 7. Jerarquización AHP. Elaboración propia a partir de Saaty (1980)

2. Segunda etapa: Valoraciones.

La segunda etapa consiste en ordenar y ponderar según cada uno de los criterios y subcriterios las diferentes alternativas planteadas, siguiendo el orden jerárquico descrito en el apartado anterior, primero se realiza una comparación entre criterios (y subcriterios si los hubiere) y posteriormente se compara cada una de las alternativas para cada uno de los diferentes criterios definidos.

Esta etapa se lleva a cabo mediante comparaciones pareadas, es decir, se compara cada criterio o alternativa i con cada criterio o alternativa j . para ello se utiliza una escala con valores comprendidos entre el 1 y el 9 para calificar las preferencias. La relación entre la variable numérica (1-9) y su definición queda reflejada en la siguiente tabla.

Tabla 9. Escala de comparación pareada propuesta por Saaty. Elaboración propia a partir de Saaty (1980)

Valor numérico	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia grande
7	Importancia muy grande
9	Importancia extrema
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios entre cada juicio

El siguiente paso es la construcción de la matriz de comparaciones pareadas, dicha matriz será una matriz cuadrada $A_{n \times n} = [a_{ij}]$ con $1 \leq i, j \leq n$. para la construcción se deben tener en cuenta los siguientes axiomas (Saaty, 1980):

- a) Axioma de reciprocidad. Si A es una matriz de comparaciones a pares, entonces se cumple que si $A_{ij}=x$, $A_{ji}= 1/x$. de modo que solo se necesitan $n(n-1)/2$ comparaciones.

- b) Axioma de homogeneidad. Los elementos que se comparen entre sí deben de ser del mismo orden de magnitud y jerarquía.
- c) Axioma de independencia. Los criterios no tiene dependencia con las propiedades de las diferentes alternativas.
- d) Axioma de las expectativas. En la toma de una decisión, se asume que la jerarquía es completa.

3. Tercera etapa: Priorización y síntesis.

Cuando ya se tiene elaborada la matriz, el siguiente paso es calcular lo que se conoce como prioridad, es decir, la importancia que cada decisor a asignado a cada elemento de la propia matriz.

Las prioridades adquieren la forma de vectores. Para una matriz A (nxn), se denomina autovalores o autovectores propios de A ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) a las soluciones de la ecuación: $\det (A-\lambda I)=0$. El autovector de la matriz ($\lambda_{\text{máx}}$) es el máximo de los autovectores obtenidos al realizar la ecuación anterior. En la situación ideal, n es el autovector dominante de [A] y [a] el autovector asociado.

Al vector propio obtenido de la matriz de criterios se le nombrará Vc, e indica el peso o importancia relativa que cada uno de los criterios tiene en la valoración.

Al vector propio obtenido de la matriz de alternativas, para un criterio determinado, le denominaremos Vai o vector columna, que indica el peso o importancia relativa de cada una de las alternativas para cada uno de los criterios seleccionados (i). Se obtendrán tantos vectores propios como criterios.

4. Cuarta etapa: Análisis de la consistencia.

El grado de inconsistencia se mide mediante el Ratio de Inconsistencia (CR) y permite saber si el juicio establecido mediante las matrices pareadas es correcto (consistente) o no lo es (incosistente). Para ello se basa en un modelo matemático, y la forma de calcularlo es la siguiente.

- Se normaliza la matriz A:

$$A_{\text{normalizada}} = \left[\frac{a_{kj}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \right]$$

- Se suman sus filas:

$$\frac{a_{11}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \frac{a_{12}}{\sum_{k=1}^n a_{k2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}} = b_1$$

$$\frac{a_{21}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \frac{a_{22}}{\sum_{k=1}^n a_{k2}} + \dots + \frac{a_{2n}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}} = b_2$$

⋮

$$\frac{a_{n1}}{\sum_{k=1}^n a_{nk}} + \frac{a_{n2}}{\sum_{k=1}^n a_{nk}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{k=1}^n a_{nk}} = b_n$$

- Se forma un vector de prioridades B:

$$B = \left[\frac{b_1}{n}, \frac{b_2}{n}, \dots, \frac{b_n}{n} \right]^T$$

- El producto de la matriz A y el vector de prioridades B forma la matriz columna C:

$$A \cdot B = C = [c_1, c_2, \dots, c_n]^T$$

- Se realiza el cociente entre la matriz C y el vector de prioridades B, obteniendo el vector columna D:

$$\frac{C}{B} = D$$

- Se suman y promedian sus elementos:

$$\lambda_{m\acute{a}x.} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

- Se obtiene el Índice de Consistencia (CI):

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x.} - n}{n - 1}$$

- Se divide el CI por la consistencia aleatoria para obtener el CR:

$$CR = \frac{CI}{\text{Consistencia aleatoria}}$$

Tabla 10. Consistencia aleatoria. Elaboración propia a partir de Saaty (1980).

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistencia aleatoria	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

- Se compara el CR con los límites de consistencia:

Tabla 11. Límites de consistencia. Elaboración propia a partir de Saaty (1980).

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de Consistencia
3	5,00%
4	9,00%
5 o mayor	10,00%

Si la matriz resulta consistente ($CR < \text{límite de consistencia}$) se considera una matriz válida, si por el contrario resulta inconsistente ($CR > \text{límite de consistencia}$), se deberá revisar y repetir las valoraciones de la matriz.

6.2. Aplicación práctica.

La aplicación del método AHP al caso de estudio, tiene como estructura jerárquica la representada en la ilustración 8.

Para el caso concreto del Parque Natural de la Albufera de Valencia, la selección de alternativas se ha realizado por separado para cada una de las zonas, zona alta y zona baja, para ambas zonas los criterios, subcriterios y alternativas son iguales.

Los actores seleccionados para realizar la priorización de las alternativas han sido los siguientes:

1. Andrés Ferrer Gisbert (Profesor titular del Dpto. Ingeniería Rural y Agroalimentaria UPV)
2. David Jorge García (Doctorando del Dpto. Economía y Ciencias Sociales UPV)
3. Diego Gómez de Barreda Ferraz (Profesor titular del Dpto. de Producción Vegetal UPV)
4. José María Álvarez-Coque (Catedrático del Dpto. Economía y Ciencias Sociales UPV)
5. Raúl Compes López (Profesor titular del Dpto. Economía y Ciencias Sociales UPV - Vicepresidente de la Asociación Española de Economía Agraria)
6. Rosa Vercher Aznar (Profesora titular del Dpto. Ecosistemas Agroforestales).
7. Salvador Calvet Sanz (Profesor titular del Dpto. Ciencia Animal UPV – Presidente Red Remedia)
8. Víctor David Martínez Gómez (Profesor titular del Dpto. Economía y Ciencias Sociales UPV)

Los criterios y subcriterios, así como las alternativas sometidas al proceso de selección han sido las siguientes:

C1. Criterio económico.

- Aumento de costes de cultivo (variable cuantitativa)

C2. Criterio social.

Afectará a los siguientes aspectos:

- Menor creación de empleo en el sector (variable cualitativa)
- Afecciones a la salud (variable cualitativa)

C3. Criterio ambiental.

Afectará a los siguientes aspectos:

- Volumen de las emisiones (variable cuantitativa)
- Impacto en el agua (variable cualitativa)
- Impacto sobre fauna y hábitat (variable cualitativa)

Las alternativas planteadas son las siguientes:

- a) Incorporar menos cantidad (50 % incorporación y 50 % quema) en el parque.
- b) Quema de la paja.

- c) Cambio a variedades de porte bajo (Ej. Fonsa o Gleva) ya que producen menor cantidad de paja.
- d) Retirada de la paja del campo.

Puede consultarse el cuestionario completo en el ANEXO I.

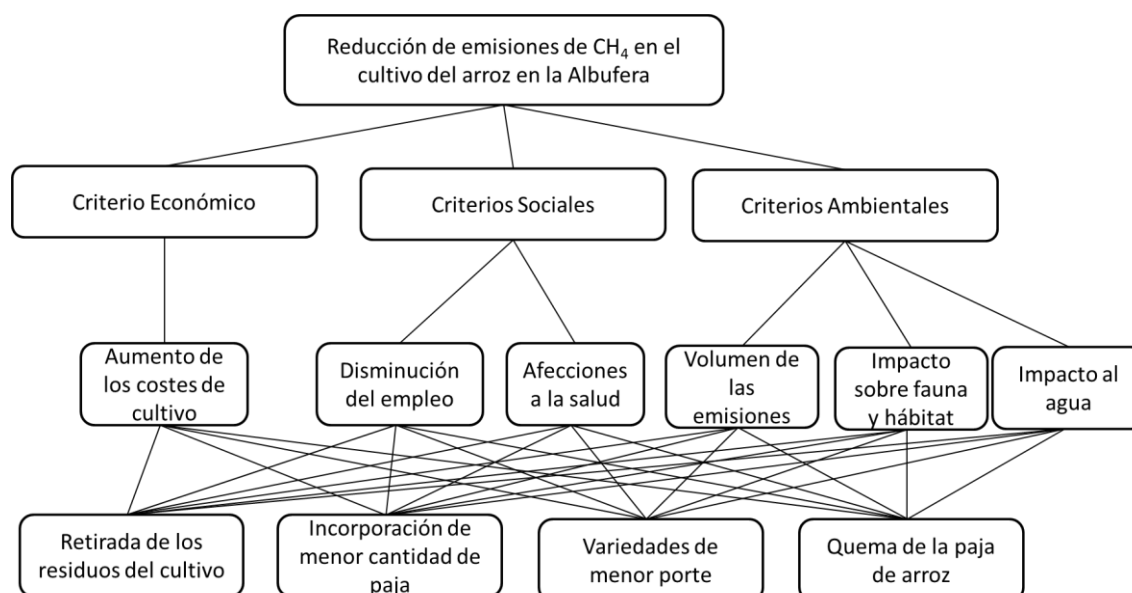


Ilustración 8. Jerarquización según modelo AHP. Elaboración propia

6.3. Resultados.

En el siguiente apartado se muestran los resultados de la aplicación de la metodología AHP, para la selección de alternativas. Los resultados muestran que la alternativa “Retirada de la paja del campo” ha sido la más valorada, para los dos escenarios planteados, zona baja y zona alta de la Albufera, alcanzando el vector propio un valor de 30,88 % y 32,40 %, respectivamente. (Tabla 12)

En ambos escenarios, también la segunda y tercera alternativa más valoradas han sido “Cambio a variedades de porte bajo (Ej. Fonsa o Gleva) ya que producen menor cantidad de paja” y “Quema de la paja”, respectivamente.

En cuanto a la priorización de criterios y subcriterios, el criterio más valorado ha sido el ambiental (47 %), seguido del económico (32,9 %) y por último el criterio social (20,1 %). (Ilustración 9). El resultado de la priorización de subcriterios muestra que el más valorado ha sido “Aumento de costes del cultivo” (32,9 %), seguido del subcriterio “Impacto en el agua” (22,5 %), el menos valorado ha sido el subcriterio “Menor creación de empleo en el sector” (9,8 %). (Ilustración 10).

Tabla 12. Resultado selección de alternativas. Elaboración propia.

ZONA BAJA		ZONA ALTA	
Alternativa	Valor	Alternativa	Valor
Incorporar menor cantidad	15,10%	Incorporar menor cantidad	14,35%
Quema de la paja	26,08%	Quema de la paja	25,47%
Variedad de bajo porte	27,94%	Variedad de bajo porte	27,77%
Retirada de residuos	30,88%	Retirada de residuos	32,40%

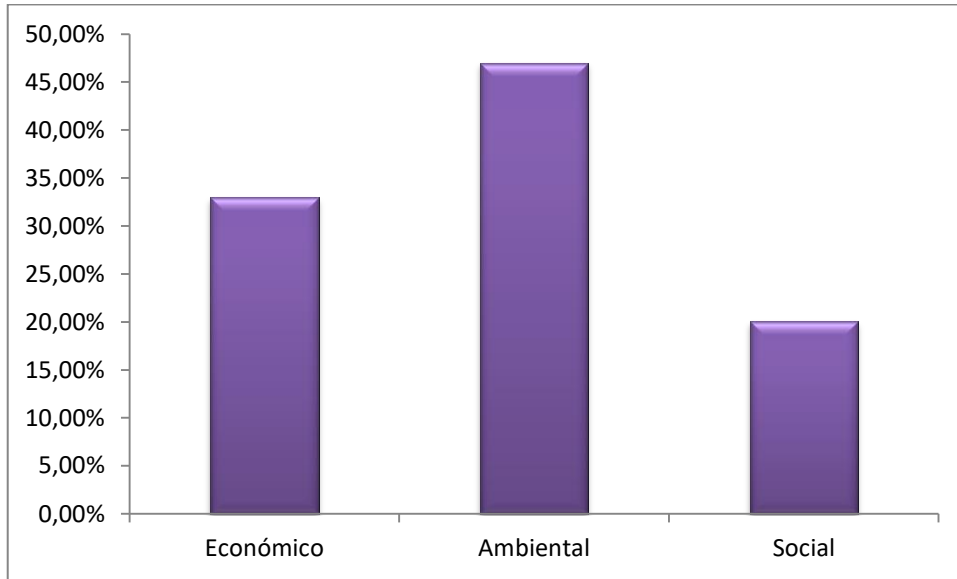


Ilustración 9. Resultados priorización de criterios. Elaboración propia

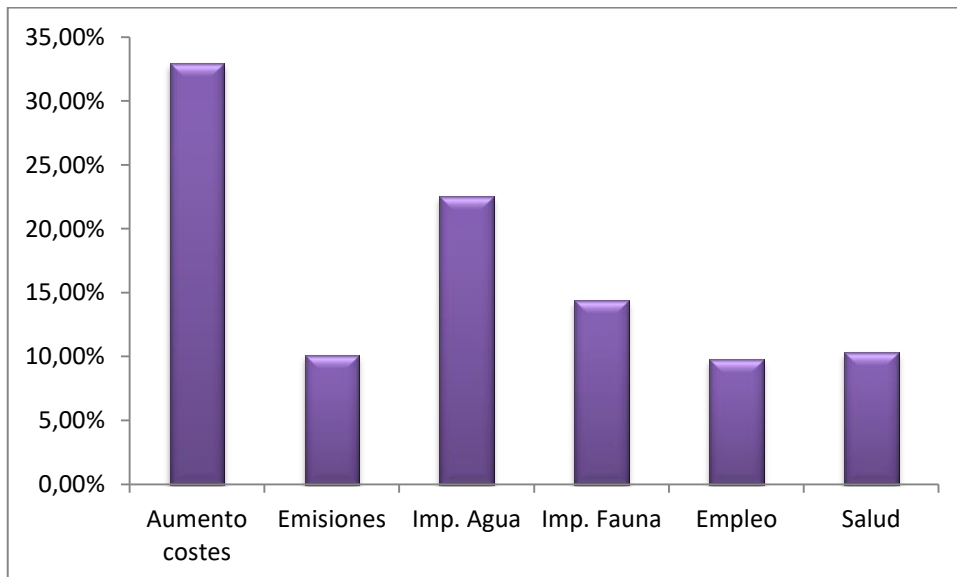


Ilustración 10. Resultados priorización subcriterios. Elaboración propia

7. Conclusiones

Se han encontrado hasta doce medidas posibles de cultivar el arroz consiguiendo reducir las emisiones de metano, las cuales, se pueden dividir en cuatro bloques: aumento de rendimientos, reducción de materia orgánica, tipo de fertilización y disminución del periodo de inundación.

La mayoría de alternativas encontradas tienen dos orientaciones básicas, una es la disminución de la materia orgánica de las parcelas, generalmente de la cantidad de paja que queda tras la cosecha en las propias parcelas, y la segunda consiste en la reducción o interrupción de los periodos que se mantienen inundadas las parcelas.

Del total de medidas encontradas, dos de ellas se puede considerar que ya se están realizando en el Parque Natural de la Albufera, y de las diez restantes, tan solo cuatro de ellas se consideran como viables de aplicar, ya que no suponen un riesgo para el ecosistema del humedal ni su aplicación se convierte en una tarea inviable debido a la propia orografía de las parcelas de cultivo. Estas cuatro medidas son las siguientes:

- Incorporar menos cantidad (50 % quema y 50 % incorporación) en el Parque Natural de la Albufera.
- Quema de la paja.
- Cambio a variedades de porte bajo (Ej. Fonsa o Gleva) ya que producen menor cantidad de paja.
- Retirada de la paja del campo.

Tras el proceso de selección mediante la aplicación de la metodología Analytic Hierarchy Process (AHP), la alternativa seleccionada ha sido la de "Retirada de la paja del campo". Dicha alternativa ha sido la más valorada tanto para la zona baja de la albufera (vector propio = 30,88%) como para la zona alta (vector propio = 32,40 %).

8. Referencias bibliográficas

Adhya, T. K. et al. 2014. "Wetting and Drying: Reducing Greenhouse Gas Emissions and Saving Water from Rice Production." Working Paper, Installment 8 of Creating a Sustainable Food Future. Washington, DC: World Resources Institute.

Comisión Europea. Proyecto LIFE SOSTRICE. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=4859. Fecha de consulta 15/06/2019

Abril Alejandro, Abril Diana y Navarro Enrique, 2009. La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento.

Agrodigital. Compostaje de lodos de depuradora y paja de arroz. (2018). Disponible en: <https://www.agrodigital.com/2018/06/01/compostaje-de-lodos-de-depuradora-y-paja-de-arroz>. Fecha de consulta 15/01/2019

Aguilar Portero Manuel, Navarro García Luis, García Cano José Manuel, 2007. Estudio agroeconómico del cultivo del arroz bajo producción integrada en las marismas del Guadalquivir. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.

Asociación Española de Economía Agraria (AEEA), 2017. Agricultura y cambio climático, situación en España. XII Congreso AEEA.

Azeem Tariq, Quynh Duong Vu, Lars Stoumann Jensen, Stephane de Tourdonnet, Bjoern Ole Sander, Reiner Wassmann, Trinh Van Mai, Andreas de Neergaar, 2017. Mitigating CH₄ and N₂O emissions from intensive rice production systems in northern Vietnam: Efficiency of drainage patterns in combination with rice residue incorporation.

Bellón Fernando, 2016. Humo de pajas (de arroz) en la Albufera de Valencia

Cerespain.com. Variedades de arroz. Disponible en: <http://www.cerespain.com/variedades-de-arroz.html> Fecha de consulta 01/07/2019

Comisión Europea. Proyecto LIFE ECORICE. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=2699. Fecha de consulta 15/06/2019

Comisión Europea. Proyecto LIFE LOWCARBON FEED. Disponible en: <https://www.lifelowcarbonfeed.com/>. Fecha de consulta 15/06/2019

Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC - Commission Declaration.

E. Reig, J. Aznar and V. Estruch ,2017.A comparative analysis of the sustainability of rice cultivation technologies using the Analytic Network Process. Spanish Journal of Agricultural Research 2010 8(2), 273-284.

El Tancat de la Pipa. Disponible en: <http://tancatdelapipa.net/que-es-el-tancat-de-la-pipa-2/>. Fecha consulta 28/06/2019

Estruch Guitart, Vicent, 2007. Estratègies de les explotacions arrosseres valencianes, dinàmica estructural i perspectives de futur. Estudis Agroambientals n.3. Institut Valencià d' Investigació i formació Agroambiental (IVIFA).

FAO, 2004. El año internacional del arroz.

FAO, 2004. El arroz y la nutrición humana.

FAOSTAT. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Consultado 22/05/2019

Gómez De Barreda Ferraz, Diego. (2009). Universidad Politécnica de Valencia. Labores de cultivo del arroz en el Parque Natural de la Albufera de Valencia

Hidalgo García María del Mar, 2013. La influencia del cambio climático en la seguridad alimentaria. Cuaderno de estrategia número 161. Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE). Ministerio de Defensa. Gobierno de España

Intergovernmental Panel On Climate Change, 1992. Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments.

IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jorge García David, 2018. Valoración económica de los servicios ecosistémicos proporcionados por el Parque Natural de la Albufera (València) por el método AMUVAM (Analytic Multicriteria Valuation Method). Trabajo Final de Master. Universitat Politècnica de València.

Kruègr Martin, Frenzel Peter and Conrad Ralf, 2001. Microbial processes influencing methane emission from rice fields. Global Change Biology (2001) 7, 49 – 63.

Martínez Albert, 2018. Motoristas de l'Albufera, una profesión olvidada. Las provincias. Disponible en: <https://www.lasprovincias.es/extras/vida-verde/motoristas-lAlbufera-profesion-olvidada-20181227180353-nt.html>

Martínez Pérez, Nora, 2018. El apoyo al cultivo del arroz situación en el lago de la Albufera (Valencia). Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Estadísticas agrarias. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/> Consultado 20/05/2019.

Navarro Enrique A., 2006. Clean technology for the test manufacture of high-value pulp and paper products from rice straw and other regional agricultural fibres. Proyecto AFTEC.

ORDEN 20/2018, de 14 de junio, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural

Osca Lluch José María, 2015. Cultivos herbáceos extensivos: cereales. Segunda edición. Editorial Universitat Politècnica de València.

Pla Eva, 2016. Valor agronómico de nuevas variedades de arroz. IRTA

Programa de Desarrollo Rural de la Comunitat Valenciana, 2014. PDR 2014-2020

R. Wassmann, R. S. Lantin, H. U. Neue, L. V. Buendia, T.M. Corton & Y. Lu, 2000. Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. III. Mitigation options and future research needs. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58: 23–36, 2000.

Ribó. M, Albiach. R, Pomares. F, Canet. R (2017). Alternativas de gestión de la paja de arroz en la Albufera de Valencia. IVIA.

Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill.

Sanchis Jiménez, E (2014): Emisiones de gases en el cultivo del arroz: Efecto de la gestión de la paja. Trabajo Final de Master. Universitat Politècnica de València.

Syed Faiz-ul Islam, Jan Willem van Groenigen, Lars Stoumann Jensen, Bjoern Ole Sander, Andreas de Neergaard, 2017. The effective mitigation of greenhouse gas emissions from rice paddies without compromising yield by early-season drainage.

United Nations Framework Convention on Climate Change, 2011. Fact sheet: Climate change science - the status of climate change science today.

Zanchetta Chittka Johannes Chaos, 2016. Valoración económica del impacto ambiental generado por la descomposición anaeróbica de la paja del arroz en el parque nacional de la Albufera de Valencia. Trabajo Final de Grado, Universitat Politècnica de València

ANEXO I: CUESTIONARIO AHP.

Instrucciones

Con el propósito de determinar cuál es la mejor solución para REDUCIR LAS EMISIONES DE METANO DEL CULTIVO DEL ARROZ EN LA ALBUFERA, se le van a realizar unas preguntas que permitirían calcular la importancia de los criterios que se consideran en el modelo que se va a utilizar.

Se debe tener en cuenta que debido a las características físicas del propio parque natural, se encuentra dividido en dos zonas. La zona baja: áreas contiguas al lago de la Albufera donde la tierra de labor se sitúa a un nivel igual o inferior a la lámina de agua del lago. Y la zona alta: resto de áreas. Se van a plantear las alternativas de manera individual para cada una de las zonas.

Los criterios y subcriterios son los que aparecen en la siguiente lista.

C1. Criterio económico.

- Aumento de costes de cultivo (variable cuantitativa)

C2. Criterio social.

Afectará a los siguientes aspectos:

- Menor creación de empleo en el sector (variable cualitativa)
- Afecciones a la salud (variable cualitativa)

C3. Criterio ambiental.

Afectará a los siguientes aspectos:

- Volumen de las emisiones (variable cuantitativa)
- Impacto en el agua (variable cualitativa)
- Impacto sobre fauna y hábitat (variable cualitativa)

Las alternativas planteadas son las siguientes:

- a) Incorporar menos cantidad (50 % incorporación y 50 % quema) en el parque.
- b) Quema de la paja.
- c) Cambio a variedades de porte bajo (Ej. Fonsa o Gleva) ya que producen menor cantidad de paja.
- d) Retirada de la paja del campo.

Para puntuar dichos criterios necesitamos que indique su preferencia entre cada pareja y la intensidad de la misma en una escala numérica de 1 a 9 que atiende a la siguiente descripción:

- 1 igualmente importante
- 3 ligeramente más importante
- 5 bastante más importante
- 7 mucho más importante
- 9 absolutamente más importante

Le agradecemos que evalúe todos los pares sin dejar ninguno en blanco.

CUESTIONARIO SOBRE PONDERACION DE CRITERIOS

Para cada pareja de criterios le rogamos indique **marcando con una X en la casilla** cuál de los dos criterios nombrados es el que considera más importante y en qué grado. Recuerde **que se trata de criterios para evaluar la mejor solución para reducir las emisiones de metano en el cultivo del arroz en la Albufera.**

Respecto a los criterios globales

CRITERIO	9	7	5	3	1	3	5	7	9	CRITERIO
Económico										Ambiental
Económico										Social
Ambiental										Social

Respecto a los criterios sociales

CRITERIO	9	7	5	3	1	3	5	7	9	CRITERIO
Disminución del empleo										Afecciones a la salud

Respecto a los criterios ambientales

CRITERIO	9	7	5	3	1	3	5	7	9	CRITERIO
Volumen de las emisiones										Impacto en el agua
Volumen de las emisiones										Impacto sobre fauna y hábitat
Impacto en el agua										Impacto sobre fauna y hábitat

CUESTIONARIO PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Instrucciones

A continuación, Ud encontrará una escala de intensidades que serán usadas para juzgar cada una de las alternativas en función de un criterio específico.

Las alternativas planteadas son las siguientes:

- e) Incorporar menos cantidad (50 % incorporación y 50 % quema).
- f) Quema de la paja.
- g) Variedades de porte bajo.
- h) Retirada de la paja del campo.

Para hacer las comparaciones por pares se utilizará la siguiente escala.

- 1 Igualmente importante
- 3 Moderadamente más importante
- 5 Más importante
- 7 Mucho más importante
- 9 Extremadamente más importante

Para cada uno de los criterios, deberá llenar una matriz como la siguiente:

ALTERNATIVA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ALTERNATIVA
Incorporar menos cantidad										Quema de la paja
Incorporar menos cantidad										Variedades de porte bajo
Incorporar menos cantidad										Retirar del campo
Quema de la paja										Variedades de porte bajo
Quema de la paja										Retirar del campo
Variedades de porte bajo										Retirar del campo

Le rogamos nos indique **marcando con una X en la casilla** cuál de las dos alternativas nombradas es la que Ud. considera más importante respecto al criterio indicado y en qué grado.

Se van a presentar dos escenarios diferentes, uno para la zona baja o inundable de L'Albufera y otro para la zona alta.

ESCENARIO 1: ZONA BAJA

En esta zona del Parque Natural de L'Albufera se dispone de poco tiempo desde que se recolecta el arroz hasta que se inunda el campo, debido a que la cota es igual o inferior a la del propio lago

Criterio: DISMINUCIÓN DEL EMPLEO

ALTERNATIVA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ALTERNATIVA
Incorporar menos cantidad										Quema de la paja
Incorporar menos cantidad										Variedades de porte bajo
Incorporar menos cantidad										Retirar del campo
Quema de la paja										Variedades de porte bajo
Quema de la paja										Retirar del campo
Variedades de porte bajo										Retirar del campo

Criterio: AFECCIONES A LA SALUD

ALTERNATIVA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ALTERNATIVA
Incorporar menos cantidad										Quema de la paja
Incorporar menos cantidad										Variedades de porte bajo
Incorporar menos cantidad										Retirar del campo
Quema de la paja										Variedades de porte bajo
Quema de la paja										Retirar del campo
Variedades de porte bajo										Retirar del campo

Criterio: IMPACTO EN EL AGUA

ALTERNATIVA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ALTERNATIVA
Incorporar menos cantidad										Quema de la paja
Incorporar menos cantidad										Variedades de porte bajo
Incorporar menos cantidad										Retirar del campo
Quema de la paja										Variedades de porte bajo
Quema de la paja										Retirar del campo
Variedades de porte bajo										Retirar del campo

Criterio: IMPACTO SOBRE FAUNA Y HÁBITAT

ALTERNATIVA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ALTERNATIVA
Incorporar menos cantidad										Quema de la paja
Incorporar menos cantidad										Variedades de porte bajo
Incorporar menos cantidad										Retirar del campo
Quema de la paja										Variedades de porte bajo
Quema de la paja										Retirar del campo
Variedades de porte bajo										Retirar del campo

ESCENARIO 2: ZONA ALTA

Al encontrarse a cotas superiores a las del lago, las inundaciones otoñales y la duración de las mismas son dependientes de las precipitaciones, el drenaje de las parcelas se consigue de forma natural.

Criterio: DISMINUCIÓN DEL EMPLEO

ALTERNATIVA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ALTERNATIVA
Incorporar menos cantidad										Quema de la paja
Incorporar menos cantidad										Variedades de porte bajo
Incorporar menos cantidad										Retirar del campo
Quema de la paja										Variedades de porte bajo
Quema de la paja										Retirar del campo
Variedades de porte bajo										Retirar del campo

Criterio: AFECCIONES A LA SALUD

ALTERNATIVA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ALTERNATIVA
Incorporar menos cantidad										Quema de la paja
Incorporar menos cantidad										Variedades de porte bajo
Incorporar menos cantidad										Retirar del campo
Quema de la paja										Variedades de porte bajo
Quema de la paja										Retirar del campo
Variedades de porte bajo										Retirar del campo

Criterio: IMPACTO EN EL AGUA

ALTERNATIVA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ALTERNATIVA
Incorporar menos cantidad										Quema de la paja
Incorporar menos cantidad										Variedades de porte bajo
Incorporar menos cantidad										Retirar del campo
Quema de la paja										Variedades de porte bajo
Quema de la paja										Retirar del campo
Variedades de porte bajo										Retirar del campo

Criterio: IMPACTO SOBRE FAUNA Y HÁBITAT

ALTERNATIVA	9	7	5	3	1	3	5	7	9	ALTERNATIVA
Incorporar menos cantidad										Quema de la paja
Incorporar menos cantidad										Variedades de porte bajo
Incorporar menos cantidad										Retirar del campo
Quema de la paja										Variedades de porte bajo
Quema de la paja										Retirar del campo
Variedades de porte bajo										Retirar del campo