



Caso de estudio del Proyecto Water2REturn

Tratamiento de Aguas Residuales y Recuperación de Nutrientes en *Matadero del Sur*, Salteras, Sevilla, España



Fig. 1: Localización del proyecto

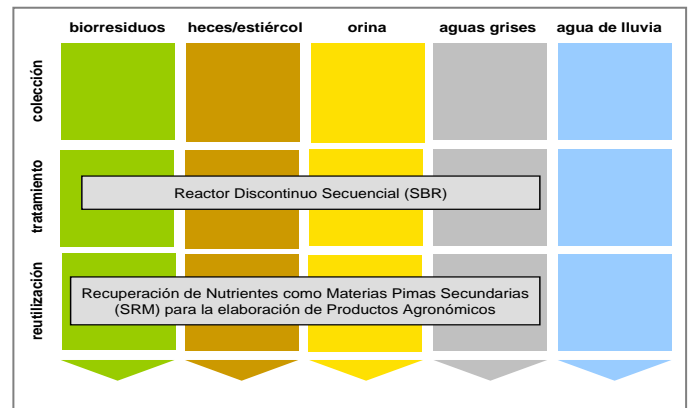


Fig. 2: Componentes de saneamiento aplicados en el proyecto

1 Datos generales

Tipo de proyecto:

Tratamiento de aguas residuales industriales de matadero y recuperación de nutrientes para su posterior uso agronómico (escala piloto)

Periodo del proyecto:

Inicio del proyecto: julio 2017

Inicio de la construcción: diciembre 2018

Inicio de la operación: junio 2020

Fin del proyecto: marzo 2022

Escala del proyecto:

Población cubierta: 4.173 (estimada según la carga orgánica de las aguas residuales brutas)

Caudal: 54 m³/día (de los 162 m³/día producidos por el matadero)

Tamaño de la planta de tratamiento: 375 m² de superficie para la unidad de tratamiento de aguas residuales, 2.000 m² para el sistema Water2REturn al completo)

Localización del piloto del proyecto:

Matadero del Sur S.A.

Carretera Nacional 630 Km. 803,5

41909 Salteras, Sevilla

España

Institución planificadora:

BIOAZUL S. L. (España)

Institución ejecutora:

BIOAZUL S. L. (España)

Identificación del proyecto:

Acuerdo de subvención: 730398

Recuperación y reciclaje de nutrientes convirtiendo el agua residual en productos de valor añadido para una economía circular en la agricultura ([Water2REturn, W2R](#))

Coordinador del proyecto:

BIOAZUL S. L. (España)

Agencia financiadora:

Comisión Europea (CE)

Presupuesto total:

7.075.919,87 €

Contribución de la CE:

5.871.895,76 €

2 Introducción del problema



“Aguas residuales generadas en la UE por la industria de los mataderos: alrededor de 750.000 m³/año”



“Rango de consumo de agua: entre 1,5-40 m³ por tonelada de animal procesado”



“Generación de aguas residuales: típicamente, el 80% del consumo de agua”



“Alto consumo energético en la industria cárnica: refrigeración: 90-1.094 kWh/t bovino, calentamiento de agua: 110-760 kWh/t porcino”



“Demanda agrícola de fertilizantes químicos: en torno a 13,6 Mt/año, 9,1 billones previstos en 2050”



“Coste de gestión de las aguas residuales: hasta el 25% del coste total de producción en la industria de los mataderos”

La **demanda agrícola de fertilizantes químicos** está creciendo debido al aumento de la población mundial. La importancia del reciclaje de nutrientes es crucial en Europa, donde la ausencia general de nutrientes representa una **amenaza considerable para la seguridad alimentaria de la UE**. Esta tensión entre la escasez de recursos y la creciente demanda continuará **elevando los precios de los recursos y nutrientes en el futuro cercano**.

Los fertilizantes químicos pueden tener un efecto negativo en la salud humana, especialmente cuando contienen nitrógeno, potasio, fósforo y metales pesados. Por otro lado, la expansión de la industria de producción animal está dando como resultado la generación de **aguas residuales y desechos ricos en nutrientes**, además de un **alto consumo energético**. La contaminación de los cuerpos de agua y la limitación de tierra cultivable debido a



Caso de estudio del Proyecto Water2REturn

Tratamiento de Aguas Residuales y Recuperación de Nutrientes en *Matadero del Sur*, Salteras, Sevilla, España

su uso para la eliminación de residuos sólidos aumentan la preocupación ambiental.

Así, se emiten al medio ambiente **grandes cantidades de aguas residuales** y desechos con un alto contenido en materia orgánica fácilmente metanizable y nutrientes, que potencialmente pueden transformarse en energía, productos fertilizantes y bioestimulantes, pero que son peligrosos para el medio ambiente si se vierten sin tratar.

La **Fundación Ellen MacArthur** describió el **concepto de economía circular** como un **nuevo modelo económico** que aborda los crecientes desafíos relacionados con los recursos para las empresas y la economía y **puede generar crecimiento, crear empleo y reducir los impactos ambientales**, incluidas las emisiones de carbono. De acuerdo con esta perspectiva, **la economía circular evitaría el vertido/las emisiones y trataría de extraer el máximo valor de los residuos de los mataderos**.

3 Solución propuesta

Water2REturn propone una **solución integrada** para el tratamiento de aguas residuales de mataderos, así como para la recuperación de nutrientes valiosos con un alto valor de mercado en el sector agrícola.

La tecnología Water2REturn adopta un **enfoque de economía circular** en el que **los nutrientes (y los recursos energéticos) presentes en las aguas residuales se reciclan de manera segura y eficiente** en diferentes formas, y luego **se inyectan nuevamente en el sistema agrícola como nuevas materias primas**.

Las **aguas residuales** son, por tanto, una **fuentes de nutrientes, energía y agua**, y no un desecho; las instalaciones de tratamiento de aguas residuales se convierten así en "**biorrefinerías**". El modelo de negocio de Water2REturn se basa en una **perspectiva viable, intersectorial e integrada para recuperar recursos** del ciclo del agua, considerando los **desafíos legales, sociales y de mercado** relevantes.

Water2REturn tiene como objetivo recuperar **tres productos agronómicos de alto valor**: concentrado de nutrientes, lodos hidrolizados fermentados con *Bacillus spp.* y biomasa de algas, y producir energía.

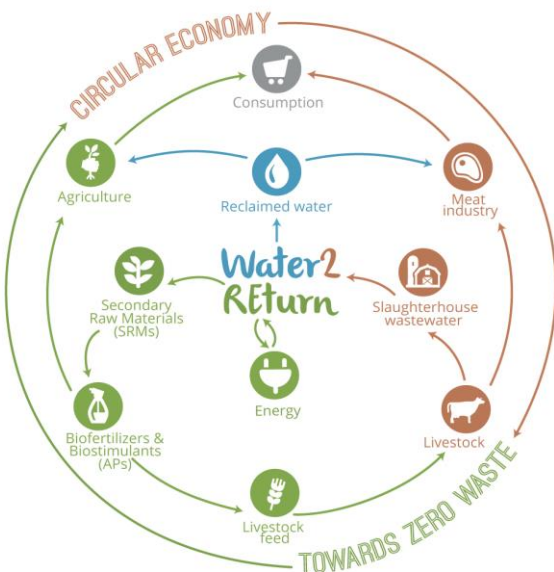


Fig. 3: Concepto de Water2REturn (fuente: BIOAZUL, 2017)

El Sistema Water2REturn está compuesto por cuatro líneas de tratamiento interrelacionadas:

LÍNEA DE AGUAS

La línea de agua consiste en un sistema de tratamiento de aguas residuales y recuperación de nutrientes. Tras la eliminación de partículas sólidas y grasas en una unidad de tratamiento preliminar, las aguas residuales son tratadas en un Reactor Discontinuo Secuencial (SBR), y posteriormente pasan por una unidad de filtración, compuesta por microfiltración + ultrafiltración + ósmosis inversa. Posteriormente, el agua regenerada se descarga de acuerdo con la regulación nacional.

La primera materia prima secundaria (SRM1) obtenida tras este tratamiento es un concentrado de nutrientes. Sin embargo, no es comercialmente factible formular un producto a partir del SRM1, debido a la baja concentración de nitrógeno de las aguas residuales de *Matadero del Sur*, pero es un buen candidato para la fertilización directa de los campos locales cercanos al matadero.



Fig. 4: Línea de aguas de Water2REturn

LÍNEA DE LODOS

Los lodos resultantes de la línea de aguas pasan por un primer proceso de pretratamiento donde se eliminan los microorganismos patógenos. Posteriormente, ingresa a la unidad de fermentación, donde los lodos son fermentados con *Bacillus spp.* Como resultado se obtiene un lodo hidrolizado, que es la segunda materia prima secundaria (SRM2). A partir de esta materia prima se formula y fabrica el segundo producto agronómico (AP2): un bioestimulante.



Fig. 5: Línea de lodos de Water2REturn



Caso de estudio del Proyecto Water2REturn

Tratamiento de Aguas Residuales y Recuperación de Nutrientes en *Matadero del Sur*, Salteras, Sevilla, España

LÍNEA DE ENERGÍA

Parte de los lodos hidrolizados de la línea de tratamiento anterior se valorizan en la línea de energía mediante un proceso de digestión anaerobia, en el que la materia orgánica se transforma en biogás, compuesto principalmente por CH₄ y CO₂. El biogás se convierte en energía en una unidad de cogeneración. La energía generada se puede utilizar para alimentar al matadero o al sistema mismo.



Fig. 6: Línea de energía de Water2REturn

LÍNEA DE ALGAS

La tecnología AlgaBioGas (AGB) utilizada en este proceso de tratamiento de algas se basa en un sistema de balsas de algas. El digestato de la línea de energía contribuye al crecimiento de la biomasa algal en la línea de algas. La tercera materia prima secundaria (SRM3) obtenida tras este tratamiento es una biomasa de algas. A partir de esta materia prima se formula y fabrica el tercer producto agronómico (AP3): un segundo bioestimulante.



Fig. 7: Línea de algas de Water2REturn

4 Ingeniería de BIOAZUL: línea de aguas

La línea de aguas de Water2REturn está compuesta por un SBR + una unidad de filtración (microfiltración + ultrafiltración + ósmosis inversa). Trata un caudal diario de 54 m³/día (de los 162 m³/día que produce el matadero), dando cobertura a una población de 4.173 personas (estimada en función de la carga orgánica de las aguas residuales brutas). La unidad de tratamiento de aguas residuales tiene 375 m² de superficie, de los 2.000 m² que ocupa el sistema Water2REturn al completo.

Descripción del tratamiento:

Separación de sólidos. La separación de sólidos comienza cuando se recogen las aguas residuales del matadero, que después se bombean al tamiz rotativo que retira los cuerpos más grandes del agua residual, y se dirige al primer tanque.

Los residuos sólidos se almacenan en un depósito diferente para su valorización o descarte.



Fig. 8: Unidad de separación de sólidos (tamiz rotativo) de Water2REturn

Unidad de flotación por aire disuelto (DAF). Cuando el segundo tanque demanda agua para alimentar el SBR, se bombea desde el primer tanque al DAF, que clarifica las aguas residuales al eliminar las grasas, aceites y otros residuos que flotan en la superficie después de disolver el aire a presión en el agua y despresurizarla. Al igual que en la operación de separación de sólidos, las aguas residuales continúan hasta el segundo tanque mientras que los residuos se trasladan a un tanque separado.



Fig. 9: DAF de Water2REturn

Reactor discontinuo secuencial (SBR). El SBR es el sistema que lleva a cabo el proceso de tratamiento. Opera en ciclos que consisten en las siguientes etapas:

Llenado: Las aguas residuales se introducen en el reactor, facilitando el crecimiento de microorganismos adecuados.

Reacción: La materia orgánica y los nutrientes contenidos en las aguas residuales se degradan. Se puede proporcionar aireación intermitente, combinando así diferentes condiciones (aeróbicas, anóxicas y anaeróbicas).

Decantación: La aireación y la mezcla en el reactor se interrumpen para crear condiciones favorables para la decantación del lodo activado.

Vaciado: Una vez que el agua residual clarificada se ha separado del manto de lodos al final del proceso de decantación, se retira del reactor.

Fase inactiva (opcional): La eliminación de lodos puede tener lugar al final de la etapa de reacción o durante las etapas de decantación, vaciado o inactividad.



Caso de estudio del Proyecto Water2REturn

Tratamiento de Aguas Residuales y Recuperación de Nutrientes en *Matadero del Sur*, Salteras, Sevilla, España

La duración de cada etapa y del ciclo completo de tratamiento se programan en función de los objetivos de depuración del agua que se persigan. Asimismo, los ciclos operativos pueden modificarse de acuerdo con las características del influente y los requisitos de calidad impuestos al efluente.

En este caso, como el enfoque Water2REturn es el de concentrar los nutrientes en el efluente, solo se promueve la nitrificación y no la desnitrificación. De esta manera, los agricultores tendrán acceso a una fuente constante y garantizada de agua de riego, lo cual es un gran beneficio en regiones áridas.

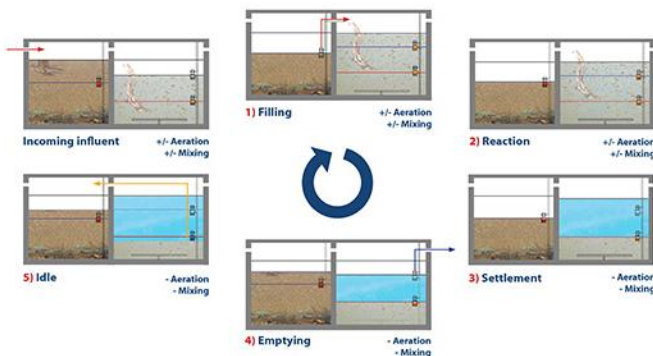


Fig. 10: Funcionamiento del SBR de Water2REturn



Fig. 11: SBR de Water2REturn

Espesador. Después de bombear el exceso de lodo del SBR al espesador, se asienta en el fondo del tanque mientras el agua mezclada sale clarificada por la parte superior del tanque. El agua de la parte superior del espesador sale al segundo tanque, mientras que los lodos se recogen por el fondo para su valorización.



Fig. 12: Espesador de Water2REturn

Sistema de recuperación de nutrientes. Después de la operación del SBR, el agua está llena de nutrientes que deberían recuperarse para aumentar el valor de la planta de tratamiento. Así, los siguientes pasos de filtración están diseñados para obtener un concentrado de nutrientes, y el agua es nuevamente utilizable.

Microfiltración y Ultrafiltración. Después de clarificarse en el SBR, el agua se somete a dos procesos de filtración adicionales para eliminar cualquier sólido menor de 0.08 µm. Luego, se bombea a la unidad de Ósmosis Inversa para finalizar el proceso de tratamiento.



Figs. 12 & 13: Microfiltración (izquierda) y Ultrafiltración (derecha) de Water2REturn

Ósmosis Inversa. La Ósmosis Inversa es el último proceso antes de que el agua se pueda volver a utilizar. Consiste en una planta de filtración que permite eliminar todas las bacterias, virus e iones polivalentes y univalentes, así como la mayor parte de los contaminantes que quedan en el agua. El agua que sale de este proceso es apta para su reutilización. Dos flujos diferentes salen de la unidad de Ósmosis Inversa: el agua tratada totalmente reutilizable y un subproducto concentrado de nutrientes que se puede utilizar como fertilizante.



Fig. 14: Ósmosis Inversa de Water2REturn

Una vez que el sistema entró en funcionamiento en junio de 2020, se estableció y aplicó un protocolo de analíticas del agua tratada del SBR para evaluar su actuación y la eficiencia del tratamiento hasta el final del proyecto. Este programa de muestreo incluye los parámetros que se consideran habitualmente al evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales según la Directiva del Consejo del 21 de mayo de 1991 [91/271/EEC](#):



Caso de estudio del Proyecto Water2REturn

Tratamiento de Aguas Residuales y Recuperación de Nutrientes en *Matadero del Sur*, Salteras, Sevilla, España

DBO5, DQO, TSS, VSS. También se ha comprobado el contenido de Nitrógeno midiendo semanalmente el N-NH_4 y el N-NO_3 en muestras tomadas de diferentes puntos de muestreo: el influente del SBR (pozo de bombeo de entrada), el reactor SBR, el efluente tratado (pozo de salida de la depuradora) y, a partir de junio de 2021, en el DAF.

Semanalmente, desde septiembre de 2020, se realizan dos tipos de muestreos: muestreos puntuales y muestreos agregados de 24h. Todas las muestras han sido tomadas, conservadas y trasladadas siguiendo los estándares normalizados para el desarrollo de la actividad. Se han comprobado los resultados para saber si cumplen los límites de vertido permitidos por la legislación vigente (Directiva [91/271/EEC](#)):

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5 a 20 °C) sin nitrificación: concentración permitida, 25 mg/l O_2 ; porcentaje mínimo de reducción requerido, 70-90%.
- Demanda química de oxígeno (DQO): concentración permitida, 125 mg/l O_2 ; porcentaje mínimo de reducción requerido, 75%.
- Sólidos suspendidos totales (TSS): concentración permitida, 35 mg/l; porcentaje mínimo de reducción requerido, 90%.

Todas las muestras tomadas cumplen con lo marcado por la legislación vigente, ya sean los valores de concentración de DBO5, DQO y SST o el porcentaje de reducción establecido, lo que significa que el tratamiento realizado es satisfactorio.

5 Localización y condiciones

El sistema está instalado en un matadero en funcionamiento llamado "*Matadero del Sur*".

Matadero del Sur es una empresa familiar con casi 40 años de experiencia en el sector cárnico. Desde 1984 están establecidos en el municipio de Salteras, a 14 kilómetros del centro de Sevilla, España. Funciona como matadero frigorífico general, con salas de despiece y envasado, fábricas de embutidos y secadero de jamones ibéricos.

La empresa, que opera a nivel nacional desde 1978 e internacionalmente desde 1990, también cuenta con varias granjas extensivas e intensivas para la cría y engorde de ganado vacuno y porcino.

Este largo recorrido empresarial e industrial ha convertido a *Matadero del Sur* en un auténtico referente en la producción cárnica andaluza.



Fig. 15: Sistema Water2REturn en *Matadero del Sur*



Fig. 16: Sistema Water2REturn en *Matadero del Sur*

6 Industria de los mataderos

El proceso de sacrificio es muy exigente en términos de consumo de agua dulce. No es fácil proporcionar datos sobre el consumo de agua y energía, ya que hay muchos factores en juego, como los tipos de tecnologías utilizadas por la planta, requisitos específicos del país, tipos de tratamiento y procesamiento, etc. Como estimación, la producción animal requiere alrededor de 2.422 Gm^3 de agua por año, siendo la alimentación animal el componente más intensivo en consumo de agua. Esta cifra por sí sola destaca las necesidades de la industria de tecnologías eficientes en cuanto al uso de recursos y deja espacio para tecnologías similares a Water2REturn. La solución Water2REturn puede **ahorrar efectivamente hasta un 20-40% de agua en la industria** a través de su reciclaje para fines de riego y limpieza, así como **recuperar hasta el 90% de los nutrientes de las aguas residuales del matadero y descargar agua regenerada con bajo contenido en nutrientes, reduciendo la contaminación de los cuerpos de agua**.

Durante el proceso de sacrificio, más específicamente, se requiere agua para muchas fases: limpieza de canales, desinfección de equipos, limpieza de corrales, instalaciones de refrigeración y para el personal empleado en el matadero. Estrictas reglas determinan que durante el proceso de sacrificio, los operadores deben utilizar agua dulce, ya que los alimentos producidos están destinados al consumo humano y se deben descartar riesgos para la salud.

7 Impacto ambiental, económico y social

La capacidad de tratamiento proyectada del sistema Water2REturn es de 50 m^3 por día (de los 150 m^3 de caudal diario del matadero). Teniendo en cuenta este hecho, las evaluaciones ambientales, económicas y sociales consideraron dos escenarios diferentes.

El primer escenario se basa en el demostrador para una capacidad de tratamiento de 54 m^3 por día (capacidad media calculada con datos reales). El segundo escenario es una adaptación del sistema Water2REturn para una capacidad total de tratamiento de 162 m^3 por día, como capacidad media de la planta de tratamiento de aguas residuales del matadero según los datos reales recopilados.

Se han hecho estudios del análisis del ciclo de vida (LCA) y del coste del ciclo de vida (LCC) comparando ambos escenarios.



Caso de estudio del Proyecto Water2REturn

Tratamiento de Aguas Residuales y Recuperación de Nutrientes en *Matadero del Sur*, Salteras, Sevilla, España

Diferentes escenarios demuestran que la producción de bioestimulantes y la reducción de fertilizantes químicos tienen un papel importante para determinar los beneficios del sistema Water2REturn para ambos escenarios de capacidad.

Los resultados de LCA han demostrado que, debido a la recuperación de nutrientes de las aguas residuales sin tratar, la planta Water2REturn, incluso sin bioestimulantes, tiene un impacto ambiental menor que la situación de referencia para ambas capacidades. Si la tasa de reducción de fertilizantes químicos es superior al punto de equilibrio ambiental (1,4 %), la planta Water2REturn se vuelve beneficiosa para el medio ambiente.

Debido a las unidades adicionales y al consumo de energía, la planta Water2REturn sin bioestimulantes tiene costes de ciclo de vida más altos en comparación con el escenario de referencia. Si la tasa de reducción de fertilizantes químicos es superior al punto de equilibrio económico (2,3% para capacidad total y 2,7% para capacidad reducida), la planta Water2REturn genera ahorros económicos.

Diferentes escenarios demuestran que la producción de bioestimulantes y la tasa de reducción del consumo de fertilizantes químicos tienen un papel significativo para determinar los beneficios ambientales y ahorros económicos del sistema Water2REturn para ambos escenarios de capacidad.

En comparación con la situación de referencia, todos los escenarios con una tasa de reducción de fertilizantes superior al punto de equilibrio (1,4 %) son beneficiosos para el medio ambiente. El punto de equilibrio económico es más alto debido a los grandes costes de inversión en el sistema Water2REturn.

El escenario de plena capacidad (162 m³/d) tiene un mejor desempeño ambiental y económico que el escenario de capacidad reducida (54 m³/d) debido a los efectos de escala de los impactos y beneficios relacionados con la construcción y operación del sistema Water2REturn.

Los resultados de ecoeficiencia muestran que el desempeño ambiental y económico van de la mano. La reducción de fertilizantes químicos da como resultado tanto beneficios ambientales como ahorros económicos siempre que se excedan los puntos de equilibrio ambientales y económicos, lo que representa una situación beneficiosa (win/win) para el sistema Water2REturn.

En cuanto a la huella social, los resultados del LCA social indican que la construcción de la planta juega un papel relevante en el riesgo de la tecnología Water2REturn y esto debe ser tomado en cuenta cuando ingrese al mercado. Por esta razón, se debe prestar atención a la selección de empresas productoras de los elementos para las diferentes líneas. La producción de bioestimulantes representa una oportunidad con un impacto positivo en las comunidades locales y los trabajadores. Además, el uso de bioestimulantes permite reducir el uso de fertilizantes, evitando riesgos para los trabajadores y las comunidades locales.

8 Análisis financiero

Las condiciones con las que la planta tiene un mejor rendimiento económico y financiero es la que tiene una capacidad de tratamiento de 162 m³/d de aguas residuales de matadero con producción de dos productos agronómicos (APs) con sus precios de venta más altos. La producción de los dos APs aumenta considerablemente la rentabilidad de

la planta por los precios de venta más altos de 6.250,00€/m³ y 11.200,00€/m³. Los precios medios de venta de los AP también ofrecen buenas perspectivas para la sostenibilidad de la inversión, mientras que el escenario con los precios de venta mínimos de los AP es el menos sostenible, especialmente para la capacidad de tratamiento de 54 m³/d del sistema Water2REturn.

Tabla 1: Análisis financiero del sistema Water2REturn para dos capacidades de tratamiento

Escenario	CAPEX (€/y)	OPEX (€/y)	Punto de equilibrio (€)	Periodo de recuperación (a)
Situación de partida, 54 m ³ /d	380,511.67	31,560.00	N/A	N/A
Situación de partida, 162 m ³ /d	1,141,535.00	94,680.00	N/A	N/A
W2R+SRMs, 54 m ³ /d	551,770.11	227,088.29	726,340.60	3.89
W2R+SRMs, 162 m ³ /d	847,472.65	556,101.26	1,230,962.63	1.78
W2R APs, 54 m ³ /d	726,340.60	802,730.54	1,324,945.51	1.54
W2R+APs, 162 m ³ /d	847,473.00	2,251,893.43	2,464,626.37	0.89

8 Contacto

Institución coordinadora del proyecto:

BIOAZUL S.L.

Avda. Manuel Agustín Heredia nº 18 1ª

29001 Málaga (Spain)

Teléfono +34 951047290

E-mail info@bioazul.com

Website: <http://www.bioazul.com>

Coordinadora general del proyecto:

Pilar Zapata Aranda, pzapata@bioazul.com

Coordinador del sistema piloto:

Alejandro Caballero Hernández, acaballero@bioazul.com