



Unión Europea
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural
Europa invierte en
las zonas rurales

Gobierno
de Navarra  Nafarroako
Gobernua

 **digi
agri** Digitalización
del uso eficiente
del agua de riego

AYUDAS A PROYECTOS PILOTO DE COOPERACIÓN

*Financiadas a través del PDR de Navarra 2014-2020 y fondos adicionales EURI
(Next Generation)*

Digitalización del uso eficiente del agua de riego (DigiAgri)

ENTREGABLE 4

Estudio de cobertura y visibilidad

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción y objetivos	3
2. Selección de la zona de estudio (Análisis de visibilidad)	4
3. Descripción de las tecnologías disponibles.....	12
NB-IoT	13
General Packet Radio Service (GPRS)	14
LoRaWAN (Long Range Wide-Area Networks).....	15
Sigfox.....	16
4. Características a medir	17
5. Mediciones.....	18
Cobertura	18
Relación Señal/Ruido	19
Pérdida de información por paquete.....	20
Consumo energético.....	21
Manejo.....	22
6. Conclusiones.....	22

1. Introducción y objetivos

El objetivo general de este apartado es diseñar y desarrollar un estudio de visibilidad y cobertura para las tecnologías inalámbrica más óptimas o habituales utilizadas en el Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) en la agricultura.

Para lograr el objetivo general, el estudio persigue los siguientes objetivos técnicos:

- 1) Analizar la visibilidad de diferentes puntos para un Gateway en la zona de Funes a nivel de territorio y a nivel de parcelas.
- 2) Estudiar las comunicaciones más óptimas para el ámbito de trabajo agrario con variables como, consumo energético, autonomía y visibilidad directa con las antenas de transmisión o Gateways. Así como estudiar la cobertura real para cada método de conexión inalámbrica.

Los escenarios de comprobación se han considerado en diversas situaciones reales que se darán en campo una vez iniciado el estudio, siendo estas:

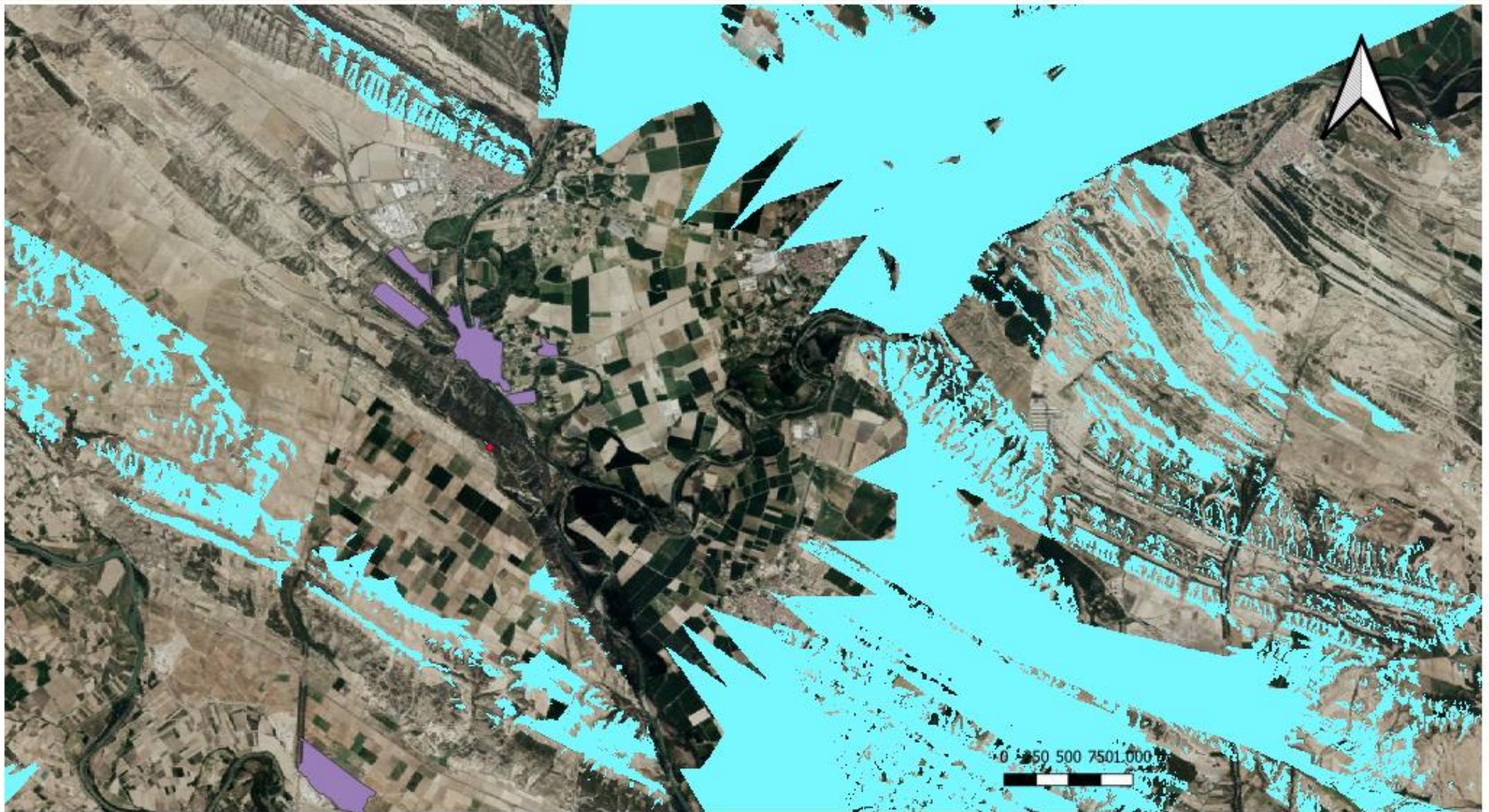
- 1) Situación muy favorable: visión directa y distancia cercana.
- 2) Situación favorable: visión directa y distancia media.
- 3) Situación media: sin visión directa y distancia media.
- 4) Situación complicada: sin visión directa y distancia lejana.



2. Selección de la zona de estudio (Análisis de visibilidad)

En primer lugar, se ha estudiado la posibilidad de incluir un Gateway en la parte más elevada del municipio de Funes. Siendo este el accidente geográfico con cima en Gurugu. La posición especialmente elevada de este accidente podría suponer un gran incremento en la visibilidad de todos los dispositivos implantados en la zona y sus alrededores. El resultado de dicho análisis de visibilidad se muestra a continuación en el **Plano** denominado *“Plano de visibilidad a 160 cm del suelo para la instalación de Gateway en monte”*

Aunque la zona abarca una gran distancia, debido a la planicie del monte y la poca altura a la que se puede colocar el Gateway (1,6m máximo) provoca la ocultación de la mayoría de parcelas de Funes. Esto supone un impedimento a la hora de colocación del Gateway y se ha decidido realizar el estudio en dos zonas cercanas a la población de Funes. Estas zonas se corresponden con los polígonos rústicos 13 y 3 denominados a partir de ahora como “La plana” y “Zona Baja”. El **Plano** correspondiente es el denominado *“Plano de posición de los Gateways para La Plana y Zona Baja”*.



- Funes
- Gateway en monte
- Visibilidad directa

Hydrotecnica Green S.L.

DIGIAGRI: Digitalización del uso eficiente del agua de riego

Apoyo técnico de
Hydrotecnica Green:
Fdo: Miguel Preciados
Horcada

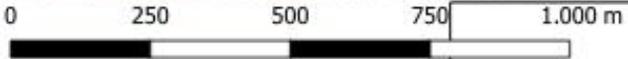
**Plano de visibilidad a 160cm del
suelo para instalación de
Gateway en Monte**

PAMPLONA
ESCALA: 1/60000



- Funes
- Parcelas de Funes Polígono 3 y 13

Visibilidad directa



Hydrotecnica Green S.L.

DIGIAGRI: Digitalización del uso eficiente del agua de riego

ID	CoordX	Coord Y	ID	CoordX	CoordY
La plana	597808	4683906	Zona baja	601163	4684495

Apoyo técnico de
Hydrotecnica Green:

Fdo: Miguel Preciados
Horcada

**Plano de posición de los
Gateways para La plana y Zona
Baja**

PAMPLONA
ESCALA: 1/20000

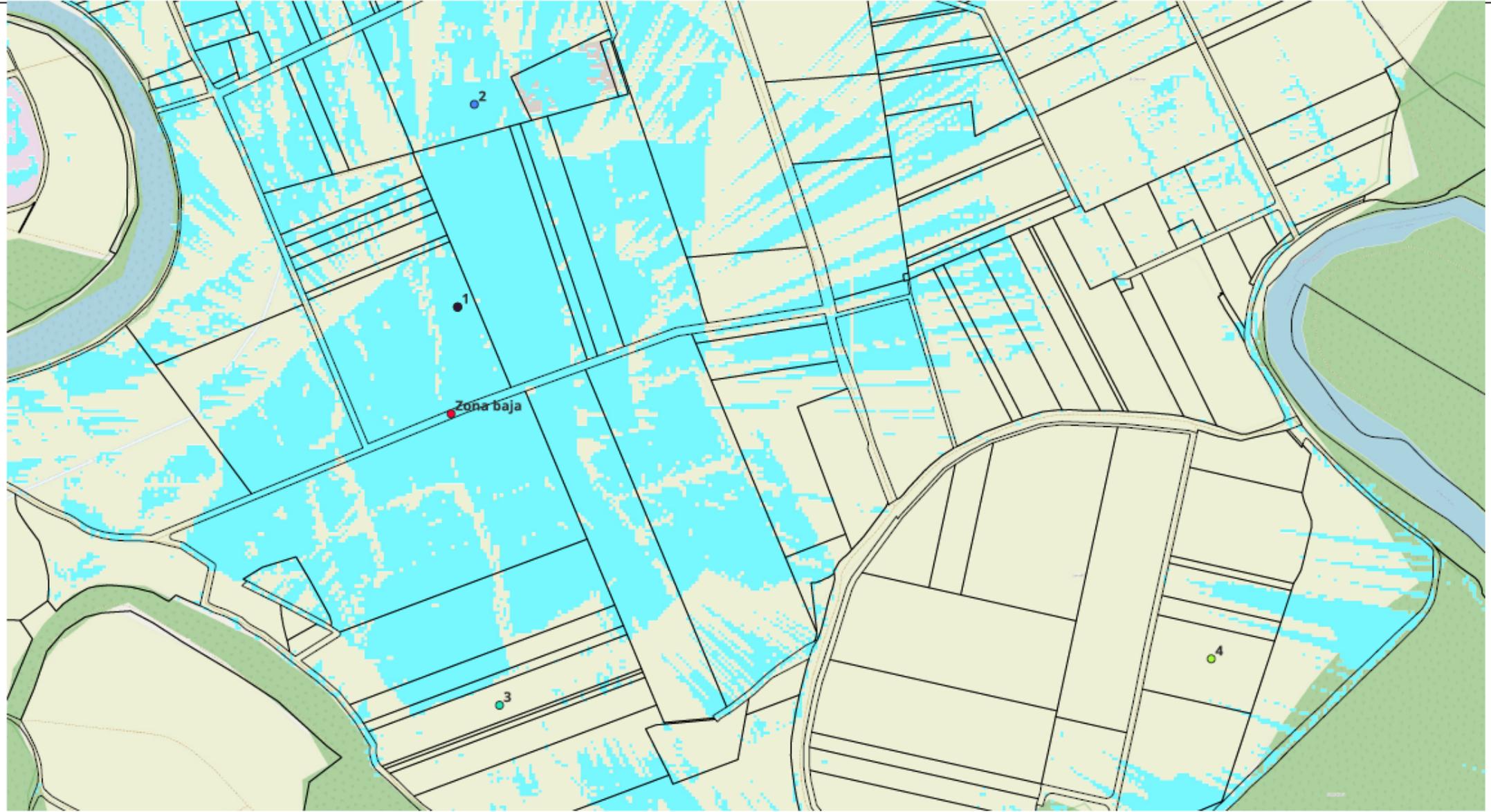
Los escenarios previamente definidos se duplicarán para ambos casos, el Gateway que les corresponda a una altura de 10cm del suelo y otra a 160cm de suelo. Pudiendo así ayudar a la visibilidad cuando el cultivo correspondiente esté incrementando su altura conforme su ciclo fenológico avanza. De todas las tecnologías que se utilicen se medirá la cobertura aportada en cada uno de los 4 escenarios dando importancia igual a todos ellos. El crecimiento de los cultivos puede provocar apantallamiento en los escenarios que originalmente tienen visibilidad directa, por lo que no puede ignorarse el comportamiento de un Gateway ante visibilidad no directa. Los diferentes escenarios se presentan en un grupo de planos comparando las zonas conocidas como “La plana” a un lado de un accidente topográfico y la “Zona Baja” al otro lado del mismo. Ahí encontramos los **4 escenarios** previamente mencionados con distancias similares entre los Gateways para poder comprobar su funcionamiento lo más fidedignamente posible.

En cada uno de los **8 puntos (4 escenarios en 2 zonas diferentes)** se colocarán tantos dispositivos como coberturas se quieran estudiar para poder comparar entre ellos. La información de interés de las parcelas afectadas por los puntos de escenario aparece en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1 Información obtenida de IDENA de las parcelas afectadas por el estudio de visibilidad y cobertura

Refcat	cmunicipio	Municipio	cantidadc	Polígono	Parcela	refplano	Paraje	Área (m ²)
107021536	107	FUNES	1	2	1536	24423 A1	Riofornos	86144
107021541	107	FUNES	1	2	1541	24422 A7	Los Alamillos	69862
107021552	107	FUNES	1	2	1552	24422 B7	El Parador	57321
107020354	107	FUNES	1	2	354	24412 E7	Plantadohondo	49905
107020413	107	FUNES	1	2	413	24422 C7	Riofornos	24534
107021515	107	FUNES	1	2	1515	24423 C3	Sotoalto	20995
107021542	107	FUNES	1	2	1542	24422 A7	El Parador	20118
107130410	107	FUNES	1	13	410	24432 A1	Las Suertes	118238
107130391	107	FUNES	1	13	391	24421 D6	La castellana	89999
107130407	107	FUNES	1	13	407	24431 A7	Las Suertes	61789
107130334	107	FUNES	1	13	334	24421 D7	EL Raso	45546
107130363	107	FUNES	1	13	363	24421 D7	EL Raso	29180
107130340	107	FUNES	1	13	340	24421 C6	Montenegro	23091
107130344	107	FUNES	1	13	344	24421 C6	Montenegro	21333

Estas parcelas han sido seleccionadas ya que como se muestra en los siguientes planos son puntos que cumplen con las características de los 4 escenarios de prueba. Al utilizar el mismo punto a diferentes alturas ciertos escenarios deben moverse para poder seguir cumpliendo con una o varias de sus condiciones. Se ha considerado que debido a las extensas áreas de trabajo que caracterizan las tecnologías ha estudiar y la poca movilidad requerida entre escenarios este aspecto no influirá en los datos.



● Zona baja 160cm

Escenarios Zona baja

- 1
- 2
- 3
- 4

ID	Dis Gate (m)
1	164
2	178
3	455
4	1238

0 100 200 300 400 m



Visibilidad directa

Hydrotecnica Green S.L.

DIGIAGRI: Digitalización del uso eficiente del agua de riego

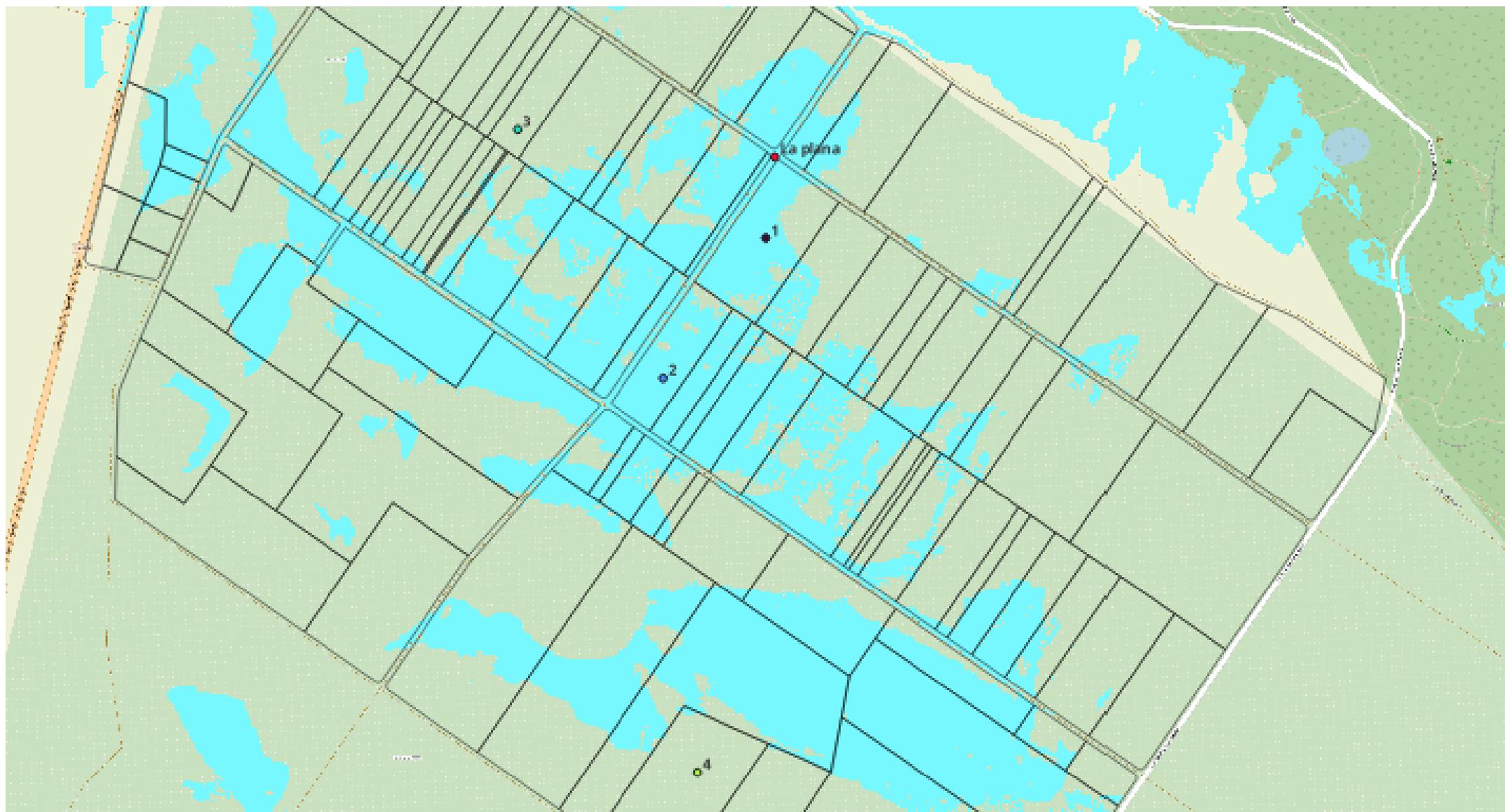
Apoyo técnico de
Hydrotecnica Green:

Fdo.: Miguel Preciados
Horcada

**Plano de escenarios Gateway en
Zona baja con altura a 160cm**

PAMPLONA

ESCALA: 1/6000



● La plana 160cm

Escenarios La plana

- 1
- 2
- 3
- 4

id	Distancia Gateway (m)
1	182
2	492
3	517
4	1248

0 100 200 300 400 m



Visibilidad directa

Hydrotecnica Green S.L.

DIGIAGRI: Digitalización del uso eficiente del agua de riego

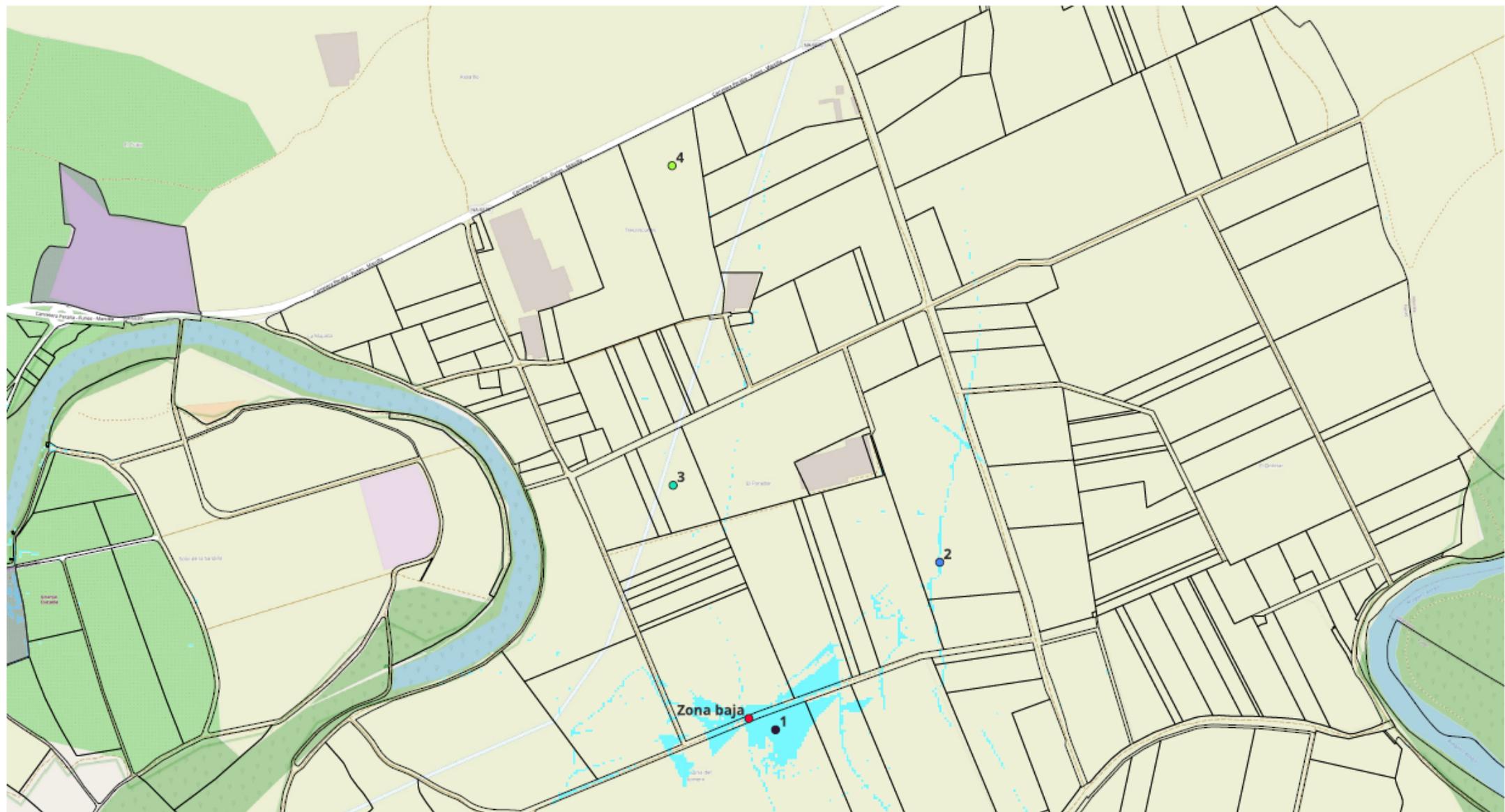
Apoyo técnico de
Hydrotecnica Green:

Fdo: Miguel Preciados
Horcada

Plano de escenarios Gateway en
La Plana con altura a 160cm

PAMPLONA

ESCALA: 1/8000



● Zona baja 10cm

■ Funes

Escenarios Zona baja 10cm

- 1
- 2
- 3
- 4

fid	Distancia Gateway (m)
1	59
2	502
3	497
4	1132

0 100 200 300 400 m



■ Visibilidad directa

Hydrotecnica Green S.L.

DIGIAGRI: Digitalización del uso eficiente del agua de riego

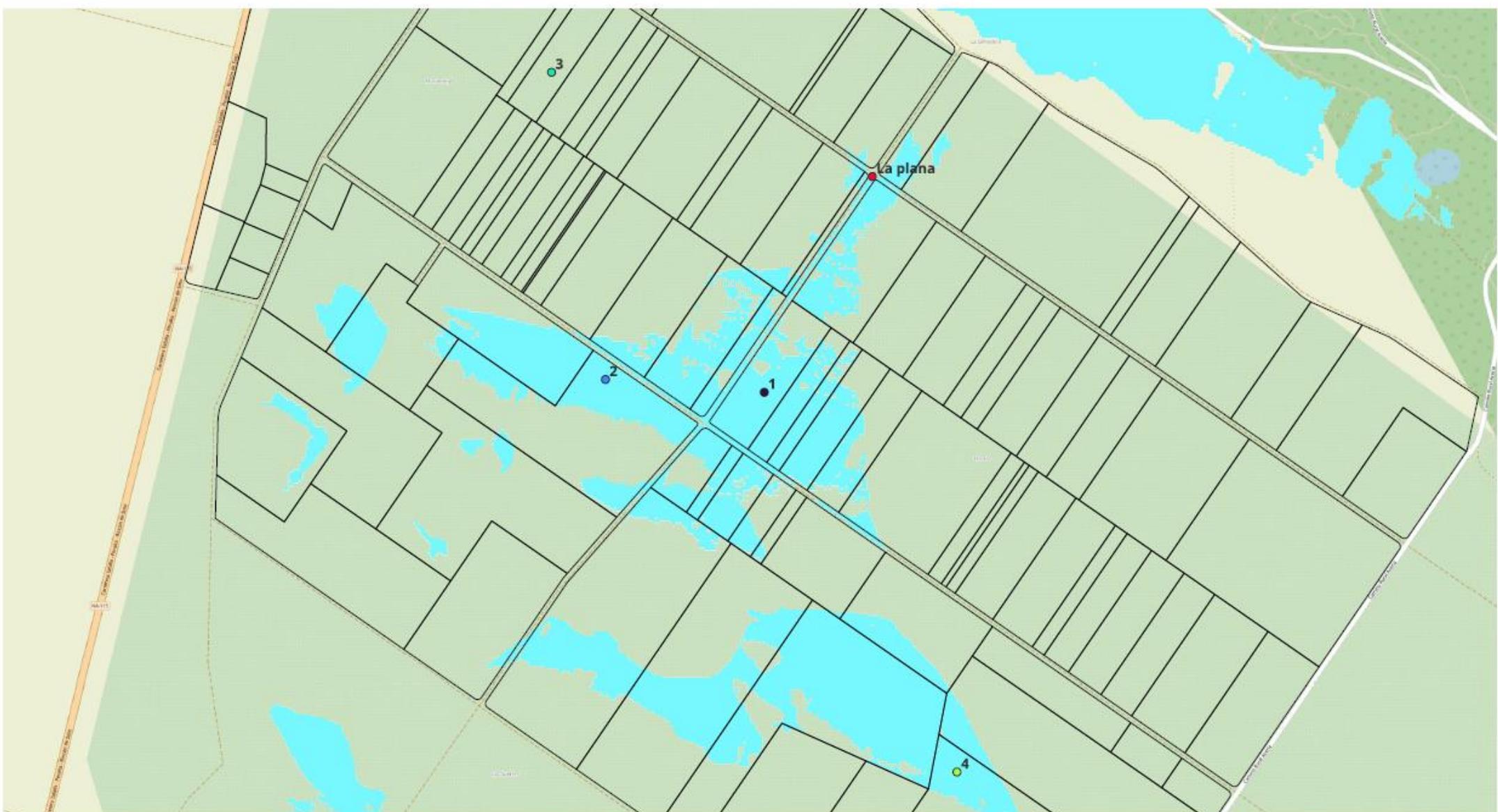
Apoyo técnico de
Hydrotecnica Green:

Fdo.: Miguel Preciados
Horcada

**Plano de escenarios Gateway en
Zona Baja con altura a 10cm**

PAMPLONA

ESCALA:
1/8000



● La plana 10cm

Escenarios La Plana 10cm

- 1
- 2
- 3
- 4

id	Distancia gateway (m)
1	491
2	684
3	690
4	1222

0 100 200 300 400 m



Visibilidad directa

Hydrotecna Green S.L.

DIGIAGRI: Digitalización del uso eficiente del agua de riego

Apoyo técnico de Hydrotecna Green:

Fdo.: Miguel Preciados Horcada

Plano de escenarios Gateway en La plana con altura a 10cm

PAMPLONA

ESCALA: 1/8000



3. Descripción de las tecnologías disponibles

En la actualidad la agricultura de precisión está cobrando cada vez mayor importancia en el mundo. La necesidad de recabar datos para la toma de decisiones objetivo y optimizada requiere de gran cantidad de dispositivos en constante funcionamiento. En la agricultura dichos dispositivos pueden ser desde sensores de humedad y temperatura hasta tractores con movimiento autónomo o mapeo automático de la parcela. Claramente, cada dispositivo exige unas necesidades de y características diferentes, pero tienen algo fundamental en común, la necesidad de conexión inalámbrica.

Las conexiones inalámbricas eliminan la necesidad de usar cables que pueden ser dañados a lo largo de la campaña y permiten un monitoreo a distancia de las variables medidas. Es por ello que cada vez más sensores de humedad, programadores de riego y muchos otros aparatos permiten una conexión a distancia con plataformas web o móviles. Aumentando la calidad de vida del agricultor y mejorando la vigilancia del mismo sobre sus parcelas.

Existen diferentes métodos de conexión inalámbricos para el IoT. Cada sistema tiene sus fortalezas y desventajas aunque podemos encontrar ciertas características fundamentales para cada una de ellas, principalmente frecuencia de trabajo, ancho de banda y consumo de batería. Estas características son de especial interés en el ámbito rural en el que se encuentra este proyecto ya que la falta de red energética en la mayoría de casos puede suponer un problema para consumos altos. En función de la utilidad buscada por el dispositivo IoT, requerirá un ancho de banda suficientemente rápido y amplio para poder ejecutar acciones o comunicaciones en tiempo real. Un ejemplo de bajo requerimiento de banda sería una sonda que emite la lectura cada 30 minutos frente a un programador de riego que debe ejecutar una acción de apertura de válvulas en tiempo real, o descargarse un calendario de riego cada vez que se actualice la plataforma a la que se conecta. La frecuencia de trabajo puede suponer una limitación si se usan frecuencias restringidas o con un tráfico alto. Lo cual puede suponer mala comunicación Nodos-Gateway o incluso evitarlas por completo. El resultado óptimo es que el dispositivo tenga una amplia gama de frecuencias de emisión y recepción para asegurar una banda libre y sin restricciones legales.

Con estas características en mente se han tenido en cuenta las siguientes tecnologías: NB-IoT, GPRS, LoRaWAN y Sigfox.

NB-IoT

Narrowband-IoT (NB-IoT) es la primera tecnología centrada en conectar a internet objetos cotidianos que requieren pequeñas cantidades de datos en períodos de tiempo largos. Es una de las distintas tecnologías que se denominan, low-power wide-area networking (LPWAN). Este tipo de redes son las tecnologías de comunicación inalámbrica que permiten transmitir datos entre un dispositivo y una estación base/Gateway separados por centenares de metros o kilómetros con un muy bajo consumo energético. Las cuales las convierten en candidatos muy óptimo para este tipo de utilidades.

Utiliza una red de baja potencia que requiere banda estrecha proporcionando mejores niveles de cobertura y mayor duración de batería de los sensores. La cobertura Narrow Band tiene mucha mayor capacidad de penetración y puede llegar perfectamente a niveles de -3 en sótanos o atravesar cubiertas vegetales vigorosas. Uno de los factores que puede influir en la cobertura y calidad de señal de los dispositivos a lo largo de las campañas agrícolas.

La velocidad de transmisión es baja y está diseñada para transmitir paquetes de datos pequeños, de hasta 200 Kbps, esto hace que la duración de la batería sea mucho mayor y que sea la tecnología adecuada para la comunicación entre maquinas situadas en entornos sin posibilidad de recibir energía de la red eléctrica convencional como es el caso de ámbito rural.

Esta tecnología ha sido desarrollada para permitir comunicaciones eficientes y una alta durabilidad de la batería, para dispositivos distribuidos masivamente. Utiliza la ya existente red móvil LTE para conectar todos esos objetos. Con unos rangos de frecuencias amplios 450 MHz hasta 6 GHz, pudiendo evitar fácilmente franjas o frecuencias problemáticas.

NB-IOT está diseñado para ampliar el futuro de la conectividad IOT de una manera más segura y fiable. Es ideal para dispositivos que generan un tráfico de datos no muy alto y tienen un ciclo de vida largo. Con una cobertura rural de hasta 10km de radio presenta una gran cantidad de variables óptimas para su uso en campo.

La capacidad de batería de un dispositivo NB-IoT es de 10 años.

El nodo que se ha seleccionado como representación de esta tecnología de comunicación ha sido el Digi XBee 3 Cellular LTE-M/NB-IoT la capacidad de transmisión de los módulos es 20 dBm. Con un peso por paquete de 12 bytes.

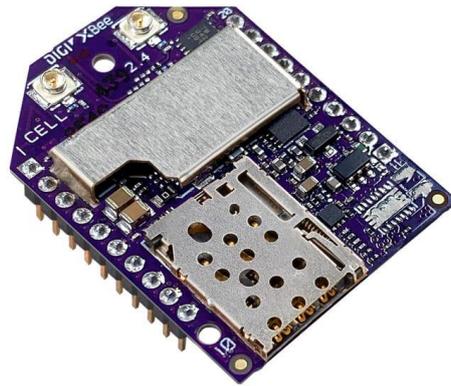


Figura 1. Módulo NB-IoT Digi XBee 3 Cellular LTE-M/NB-IoT

General Packet Radio Service (GPRS)

Es considerada la generación 2.5, entre la segunda generación (GSM) y la tercera (UMTS). Proporciona altas velocidades de transferencia de datos (especialmente útil para conectar a Internet) y se utiliza en las redes GSM.

GPRS es básicamente una comunicación basada en paquetes de datos. Los intervalos de tiempo se asignan en GSM generalmente mediante una conexión conmutada, pero en GPRS los intervalos de tiempo se asignan a la conexión de paquetes, mediante un sistema basado en la demanda. Esto significa que si no se envía ningún dato por el usuario, las frecuencias quedan libres para ser utilizadas por otros usuarios. Esto puede ahorrar problemas a la hora de ocupar frecuencias de uso público o industrial, ya que la red de frecuencia según en que rangos se oscile puede estar restringida o muy saturada de tráfico.

Con GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión, pasando de velocidades de 9,6 Kbps máximos teóricos en GSM a 110 Kbps máximos teóricos en GPRS aunque en la práctica se queden en 40/60 en recepción y 20 Kbps de transmisión. Pudiendo trabajar en las bandas de 900, 1800 y 1900 MHz.

La capacidad de batería de un dispositivo GPRS es de 10 años.

Al utilizar la red de telefonía móvil se considera que tiene cobertura casi global.

El nodo que se ha seleccionado como representación de esta tecnología de comunicación ha sido el Módulo GSM GPRS A6 Cuatro Bandas.



Figura 2. Módulo GSM GPRS A6 Cuatro Bandas.

LoRaWAN (Long Range Wide-Area Networks)

Una de las tecnologías más populares de la categoría LPWAN, ampliamente utilizada en IoT en otros campos industriales y de la salud. LoRaWAN es un estándar desarrollado sobre la modulación radio LoRa con una alta implantación en Europa. Si bien es cierto que puede ser una red de operador ofrecida por varias compañías en un mismo territorio, aquí en España no hay aún operadores que ofrezcan cobertura en todo el territorio. El interés de LoRaWAN es que, a diferencia de las demás LPWAN, permite el despliegue de redes propias autogestionadas.

Su propio nombre menciona su amplio rango de alcance (20km de radio) con bajo consumo energético, muy apropiado para el uso agrícola. Sin embargo consigue estas características perdiendo capacidad de transmisión siendo esta 50 Kbps en rangos de frecuencia muy limitados (863-870 MHz o 433MHz). Además de tener un límite debido a la restricción de ciclo de trabajo de Europa Lora tiene un máximo número de paquetes por día que puede enviar. Limitando mucho sus funcionalidades y posibilidades de uso en agricultura de precisión. Siendo este límite máximo de ciclos de trabajo un 1%.

La capacidad de batería de un dispositivo LoRaWAN es de 15 años.

El nodo que se ha seleccionado como representación de esta tecnología de comunicación ha sido The Things Uno (LoRaWAN 868 MHz). Con un poder de transmisión de 14 dBm y un tamaño de paquete de envío de 12 Bytes.



Figura 3. The things Uno módulo de LoRaWAN 868 MHz

Sigfox

Finalmente se estudia la tecnología Sigfox, esta tecnología se caracteriza por su eficiencia energética y el uso de bandas de frecuencia sin necesidad de licencias, que están disponibles en todo el mundo. La intercomunicación entre dispositivos conectados se materializa gracias a la tecnología de radio de banda ultra estrecha empleada. Esta tecnología se caracteriza por su eficiencia energética y el uso de bandas de frecuencia sin necesidad de licencias, que están disponibles en todo el mundo, incluyendo las conocidas como bandas ISM. Sin embargo, esta elección conlleva ciertas restricciones, siendo una de las limitaciones más notables el «duty cycle» que limita el tiempo durante el cual puede ocupar el canal. Un aspecto relevante a considerar es el límite de «140 mensajes diarios por dispositivo» que Sigfox impone.

Trabaja en la misma frecuencia que LoRaWAN (868MHz) con un alcance más amplio (40km) pero menor capacidad de envío de datos 0.1Kbps. El tamaño de los paquetes de datos es igual con 12 bytes así como su poder de transmisión en 14 dBm.

La capacidad de batería de un dispositivo Sigfox es de 15 años.

El nodo que se ha seleccionado como representación de esta tecnología de comunicación ha sido Arduino MKR FOX 1200. Con un poder de transmisión de 14 dBm y un tamaño de paquete de envío de 12 Bytes.



Figura 4. Arduino MKR FOX 1200 módulo de Sigfox.

En la siguiente Tabla 2 aparecen las características técnicas adicionales de los módulos, uno para cada cobertura:

Tabla 2 Características técnicas de los módulos utilizados.

Módulos	Conexión inalámbrica	Sensibilidad (dBm)	Capacidad de transmisión (dBm)	Ancho de banda (KHz)
The Things Uno	LoRaWAN 868 MHz	-146	14	125
Módulo GSM GPRS A6	GPRS (850/900/1800 /1900) MHz	-137	14	82,6
Arduino MKR FOX 1200	Sigfox	-142	14	0,1
Digi Xbee 3 Cellular ITE-M/NB-IoT	NB-IoT	-113	20	62,5

4. Características a medir

El método de medición en campo de la capacidad de cobertura y la calidad de la misma se ha decidido que sea *in situ* por medio de la aplicación LTE Discovery. Esta aplicación permite la conectividad con bandas con determinados valores de MHz, pudiendo observar la calidad de la señal por medio de los dBm mostrados en la aplicación. Se llevará a cabo la siguiente Tabla 3 para poder definir la calidad de la señal:

Tabla 3 Niveles de decibelio-milivatio (dBm) y cobertura asociada

dBm	Calidad de señal
< -111	Sin cobertura
Entre -111 y -97	Baja
Entre -97 y -87	Buena
Entre -87 y -71	Muy buena
> -71	Excelente

Debido a la variabilidad innata de las comunicaciones inalámbricas, a las que afectan gran cantidad de variables físicas y eléctricas, se tomarán medidas para cada banda alrededor de los puntos marcados en los planos de cada escenario. El resultado de nivel de cobertura medido se mostrará como XX/YY siendo XX e YY los valores máximo y mínimo de la señal en el momento de medida respectivamente. En consonancia con esta variable se mostrará la relación Señal/Ruido (SNR por sus siglas en inglés), para identificar fuentes de error o interferencia a las que son susceptibles los módulos, con preferencia a tener

el mayor valor de SNR posible. Una relación alta expresa una señal más fuerte en comparación con el nivel de ruido presente en un sistema. Esto es beneficioso porque facilita la detección, interpretación y procesamiento de la señal de interés, ya que el ruido tiene menos influencia en la medición o la transmisión de la información. Por último la "pérdida por paquete" se refiere a la cantidad de datos perdidos o dañados durante la transmisión de paquetes de datos a través de una red. Ocurre cuando los paquetes de datos no llegan a su destino correctamente, ya sea porque se pierden en el camino, se corrompen durante la transmisión o se descartan debido a congestión en la red. puede tener varios efectos negativos, especialmente en aplicaciones sensibles al tiempo o que requieren una alta confiabilidad en la entrega de datos, como puede ser la apertura de válvulas de riego al alcanzar un nivel de humedad de terminado en un sensor de humedad.

El consumo energético de cada módulo se mide en los 3 estados en los que puede trabajar, siendo estos: Deep Sleep (modo de bajo consumo que apaga casi por completo el dispositivo), En espera (encendido pero sin transmitir) y Transmitiendo. Los transmisores que más energía consuman serán menos propicios a ser seleccionados.

Finalmente, tras la realización del estudio y el manejo por parte de los técnicos o agricultores de los dispositivos conectados por IoT se realizará una conclusión de la eficiencia de trabajo y problemas que hayan surgido la hora de instalar y usar dichos módulos.

5. Mediciones

Cobertura

Durante el periodo de prueba se captaron las siguientes medidas de cobertura para cada zona y escenario mostradas en la Tabla 4 y Tabla 5:

Tabla 4. Resultados del estudio de coberturas para cada tecnología aplicada para 160cm de altura Gateway

Escenarios	NB-Iot dBm		LoRaWAN dBm		GPRS dBm		Sigfox dBm	
	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja
1	-70/-72	-65/-66	-75/-77	-72/-74	-74/-76	-67/-69	-77/-79	-78/-79
2	-74/-75	-78/-79	-80/-85	-86/-88	-77/-79	-84/-86	-80/-86	-86/-88
3	-79/-80	-77/-78	-86/-90	-83/-87	-80/-85	-80/-86	-85/-86	-90/-95
4	-82/-83	-81/-82	-89/-92	-88/-90	-85/-88	-85/-86	-86/-90	-92/-98

Tabla 5. Resultados del estudio de coberturas para cada tecnología aplicada para 10cm de altura Gateway

Escenarios	NB-Iot dBm		LoRaWAN dBm		GPRS dBm		Sigfox dBm	
	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja
1	-80/-83	-75/-76	-90/-93	-88/-90	-85/-87	-84/-86	-87/-89	-88/-89
2	-85/-90	-77/-78	-95/-99	-90/-93	-88/-94	-87/-92	-90/-96	-86/-90
3	-91/-92	-81/-83	-97/-100	-99/-105	-94/-96	-94/-96	-95/-96	-100/-105
4	-95/-97	-90/-92	-100/-110	-106/-110	-97/-106	-80/-83	-96/-100	-102/-108

Del estudio de coberturas se extrae la conclusión de que NB-IoT tienen la mejor cobertura en los 8 escenarios mientras que LoRaWAN pierde cobertura cuanto más lejos y oculto está el nodo. Este efecto ocurre en todas las tecnologías, pero LoRaWAN es la que más señal pierde seguido de Sigfox y GPRS respectivamente.

Relación Señal/Ruido

Durante el periodo de prueba se captaron las siguientes medidas de Relación señal/Ruido para cada zona y escenario, mostradas en la Tabla 6 y Tabla 7:

Tabla 6. Relación Señal/ruido para cada escenarios y módulo con Gateway a 160cm

Escenarios	NB-Iot dBm		LoRaWAN dBm		GPRS dBm		Sig fox	
	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja
1	11,780	12,405	11,757	9,867	10,396	4,675	5,892	3,434
2	10,706	10,282	8,387	9,106	3,206	8,348	6,589	8,366
3	10,265	9,968	10,213	5,819	8,046	4,584	4,742	3,707
4	9,661	8,724	9,854	8,843	4,492	4,418	5,214	4,420

Tabla 7. Relación Señal/ruido para cada escenarios y módulo con Gateway a 10cm

Escenarios	NB-Iot dBm		LoRaWAN dBm		GPRS dBm		Sig fox	
	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja
1	11,262	11,859	11,240	9,433	9,939	4,469	5,633	3,283
2	10,235	9,830	8,018	8,705	3,065	7,981	6,607	7,998
3	9,813	9,529	9,764	5,563	7,692	4,382	4,533	3,544
4	9,236	8,340	9,420	8,454	4,294	4,224	4,205	4,226

La tecnología con mayor relación señal/ruido es la NB-Iot, mientras que la tecnología Sigfox presenta la mayor susceptibilidad al ruido. Por otra parte las tecnologías como LoRaWAN y GPRS, muestran valores de SNR muy variables en los diferentes escenarios y entre zonas. Implicando una susceptibilidad al ruido muy variable no deseable en aparatos de IoT que deben conectarse entre sí ya actuar en consonancia.

Nuevamente los resultados a 160cm del suelo muestran mejoras frente a un Gateway a 10cm. La peor visibilidad y cercanía del suelo parece generar ciertas interferencias que empeoran la señal transmitida recibida y comportamiento en general.

Pérdida de información por paquete

La cantidad de pérdida de información por paquete se muestra en la Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 8. Pérdida de información por paquete para cada escenarios y módulo con Gateway a 160cm

Escenarios	NB-Iot dBm		LoRaWAN dBm		GPRS dBm		Sig fox	
	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja
1	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	1%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
3	0%	0%	1%	0%	1%	1%	1%	1%
4	0%	0%	0%	1%	0%	1%	1%	1%

Tabla 9. Pérdida de información por paquete para cada escenarios y módulo con Gateway a 10cm

Escenarios	NB-Iot dBm		LoRaWAN dBm		GPRS dBm		Sig fox	
	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja	La plana	Zona Baja
1	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	1%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
3	1%	0%	1%	0%	1%	1%	1%	1%
4	1%	1%	0%	1%	0%	1%	1%	1%

La pérdida de información por paquete en los resultados obtenidos no es suficiente como para tenerla en cuenta a la hora de seleccionar ningún módulo un 1% es un valor totalmente asequible, No hay diferenciación entre tecnologías en este apartado en ninguna variable de estudio.

Consumo energético

El consumo energético se muestra en la Figura 5. En este caso se muestra el promedio de las zonas de La Plana y la Zona baja la separación geográfica no tiene efecto alguno en el consumo del dispositivo, Se ha considerado que ambas zonas han tenido un tráfico y comportamiento similares y por lo tanto los datos recabados en ambas zonas se usarán para aumentar la fiabilidad de los resultados. Aunque la información acerca del consumo en Deep Sleep e Idle es importante el mayor consumo se ha observado en transmisión (Trans), con una enorme diferencia respecto a los otros estados.

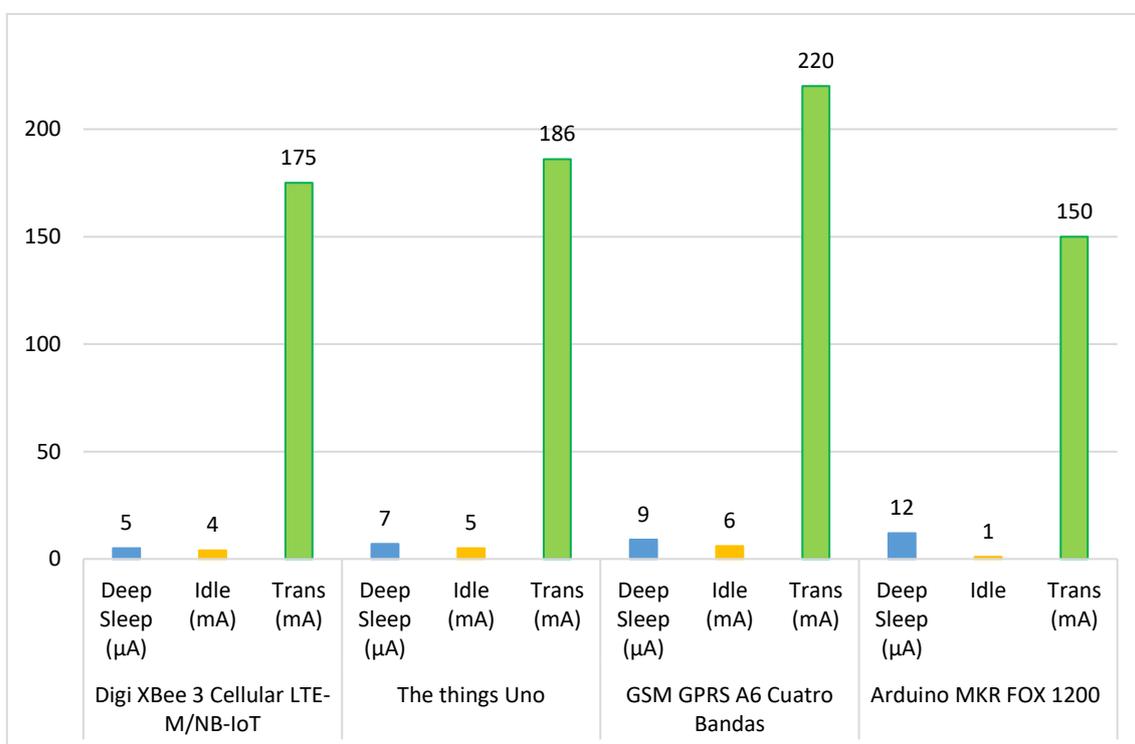


Figura 5. Consumo energético en los 3 estados de estudio para cada módulo.

En este caso el dispositivo energéticamente más propicio es Arduino MKR FOX1000 seguido de Digi XBee, The things Uno y GMS. Aunque las diferencias no son especialmente amplias en transmisión.



Manejo

Por la parte de manejo de los equipos se ha llegado a la conclusión que LoRaWAN no es adecuado para programadores de riego ya que su alto tiempo de respuesta puede provocar problemas a la hora de abrir válvulas en tiempo real, Su baja tasa de transmisión de datos y bajo consumo energético lo hace más apropiado para sensorica de suelo más que programación de riego a tiempo real. Con estos mismos argumentos se desecha Sigfox, le cual trabaja prácticamente en las mismas condiciones que LoRaWAN aunque con una mejora pero sin llegar a ser competitiva con las otras tecnologías,

En estos aspectos de control y manejo real GPRS y NB-IoT funcionaron de manera similar, dejando como selección más óptima de las seleccionadas la tecnología NB-IoT principalmente por su mejor cobertura,

Otro aspecto dominado por NB-IoT es el enorme rango de frecuencias en las que puede trabajar, Con varias unidades de medida por encima de las otras, permitiendo una enorme adaptabilidad de trabajo para evitar problemas de trafico en la frecuencia de trabajo.

6. Conclusiones

Con la información obtenida del estudio se ha llegado a la conclusión que el sistema de comunicación inalámbrica que mejor funciona es NB-IoT con el módulo NB-IoT Digi XBee 3 Cellular LTE-M/NB-IoT. Sus características técnicas y rendimiento en campos han sido superiores en casi todos los parámetros de estudio, además de poder manejar diversos dispositivos de agricultura de precisión adecuadamente. A diferencia de ciertos métodos de comunicación cuya limitada capacidad de comunicación les impide reaccionar en tiempo real o con suficiente rapidez. Siendo más adecuados para otros tipos de utilidades como sensórica antes que manejo.