DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 5

ESCALA: 1:45.000

PLANO: Núcleos de población

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

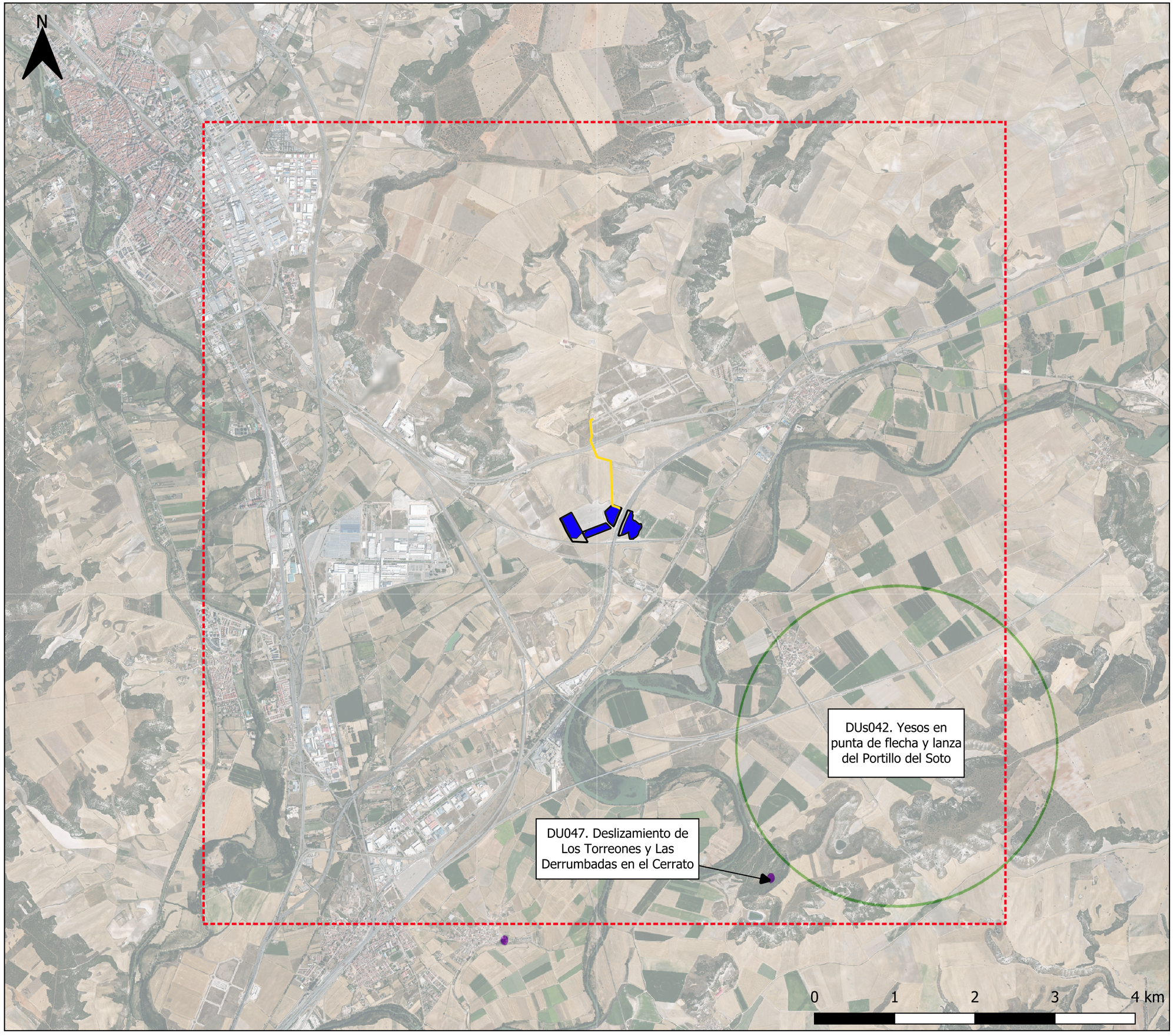
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 6

ESCALA: 1:45.000

PLANO: Lugares de Interés Geológico

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

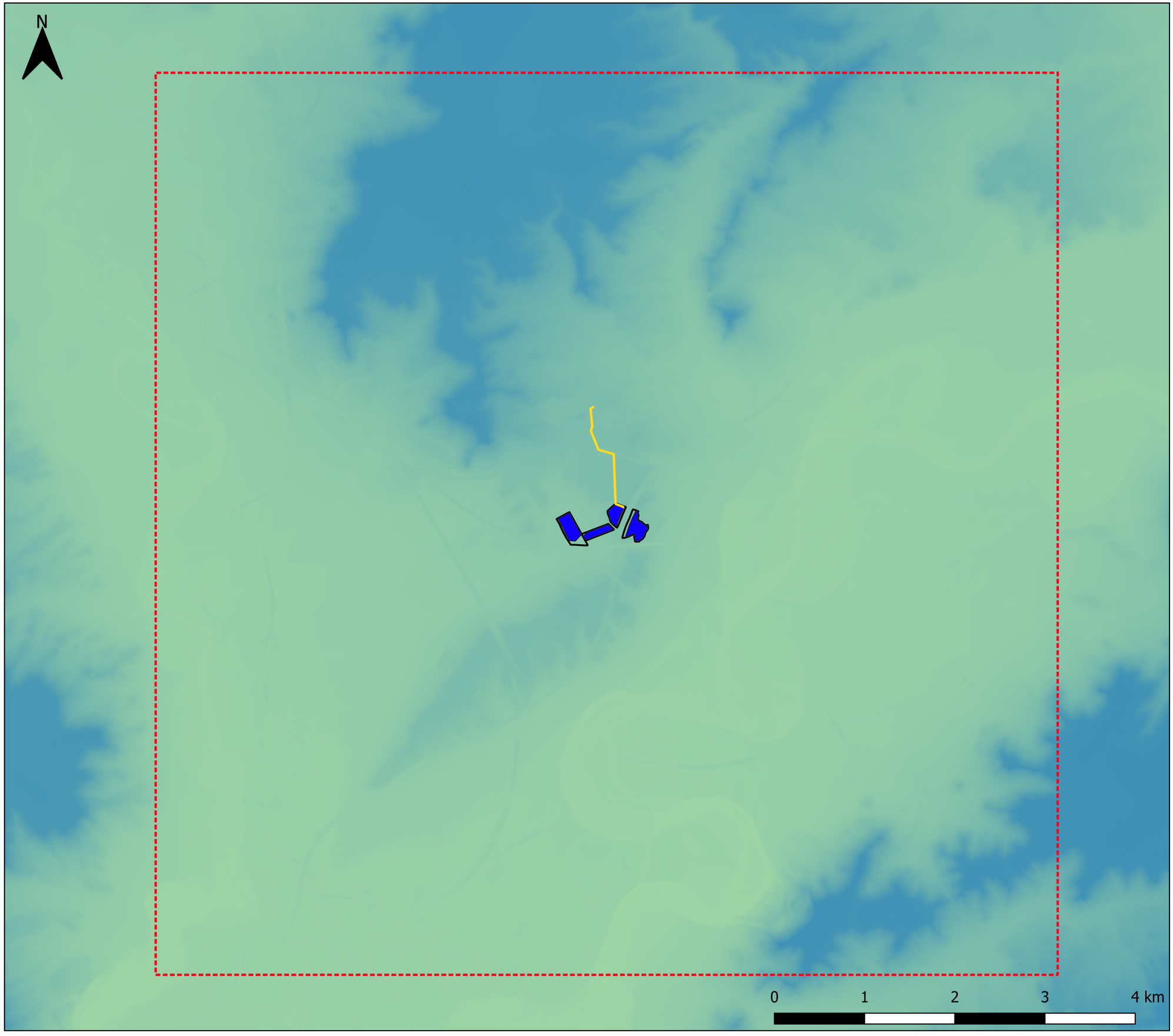
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 7

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Altitud

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

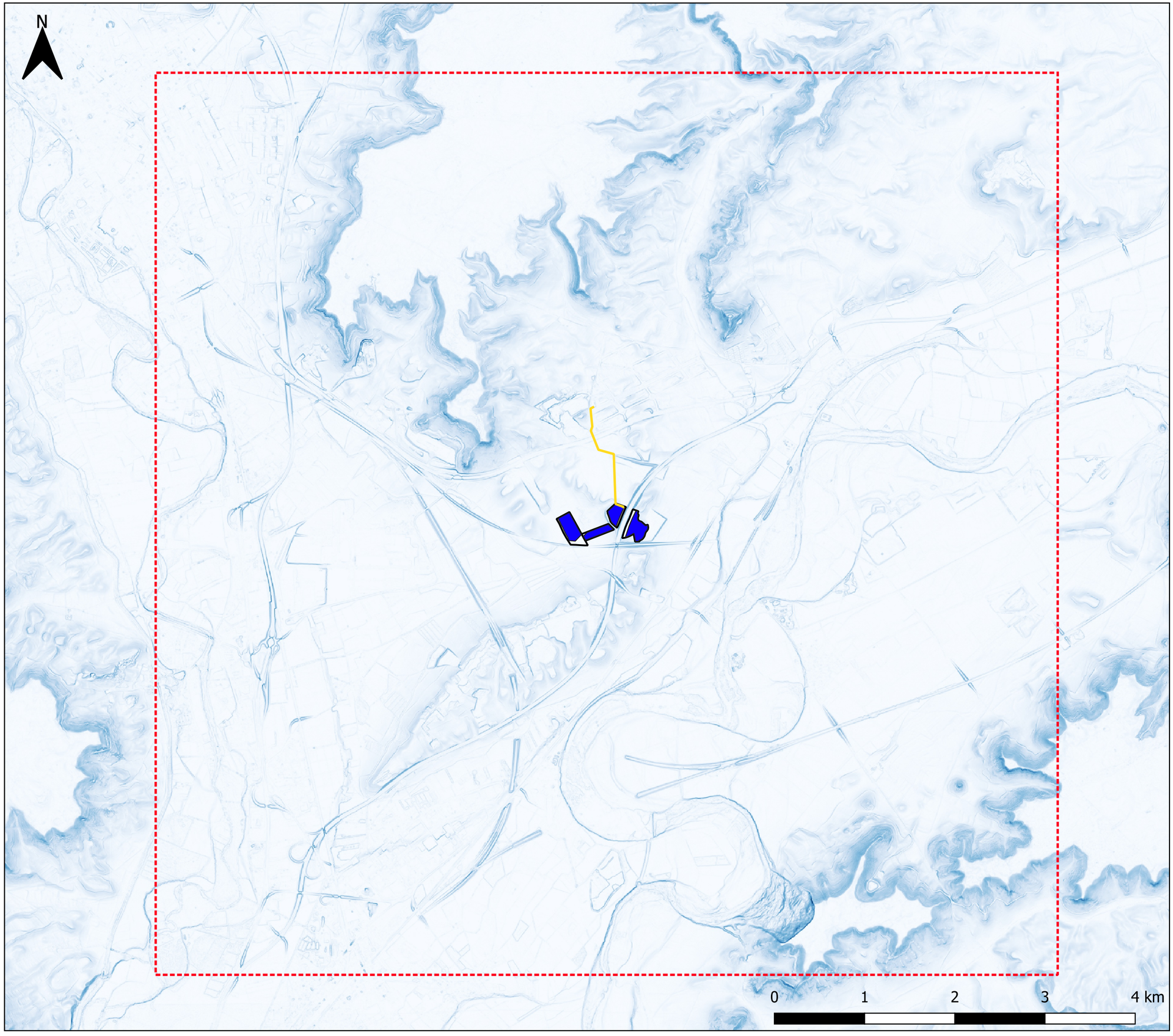
- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Altitud (m)

913
0

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 8

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Pendiente

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

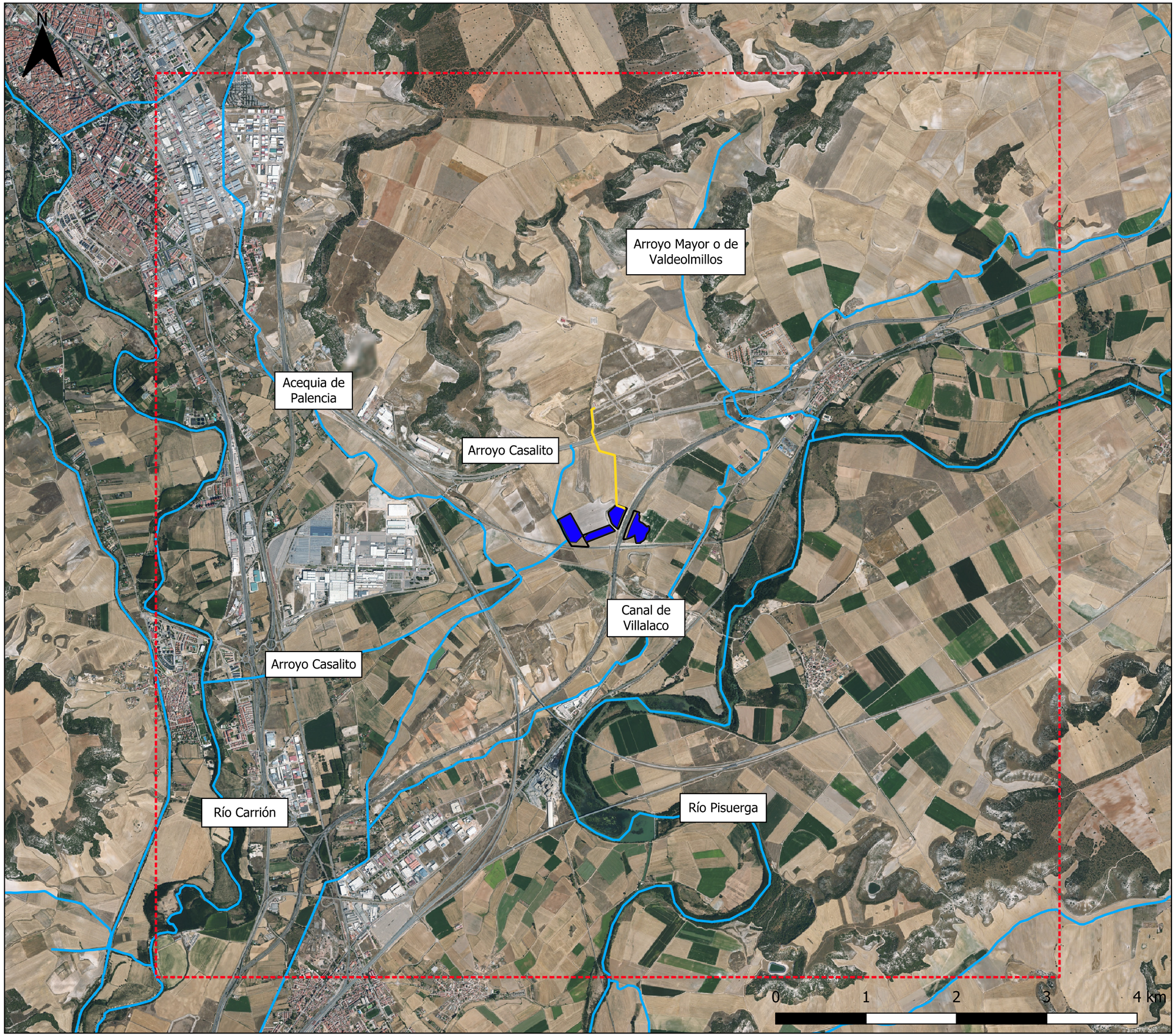
- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Pendiente (%)

70,71
0

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 9

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Hidrología

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

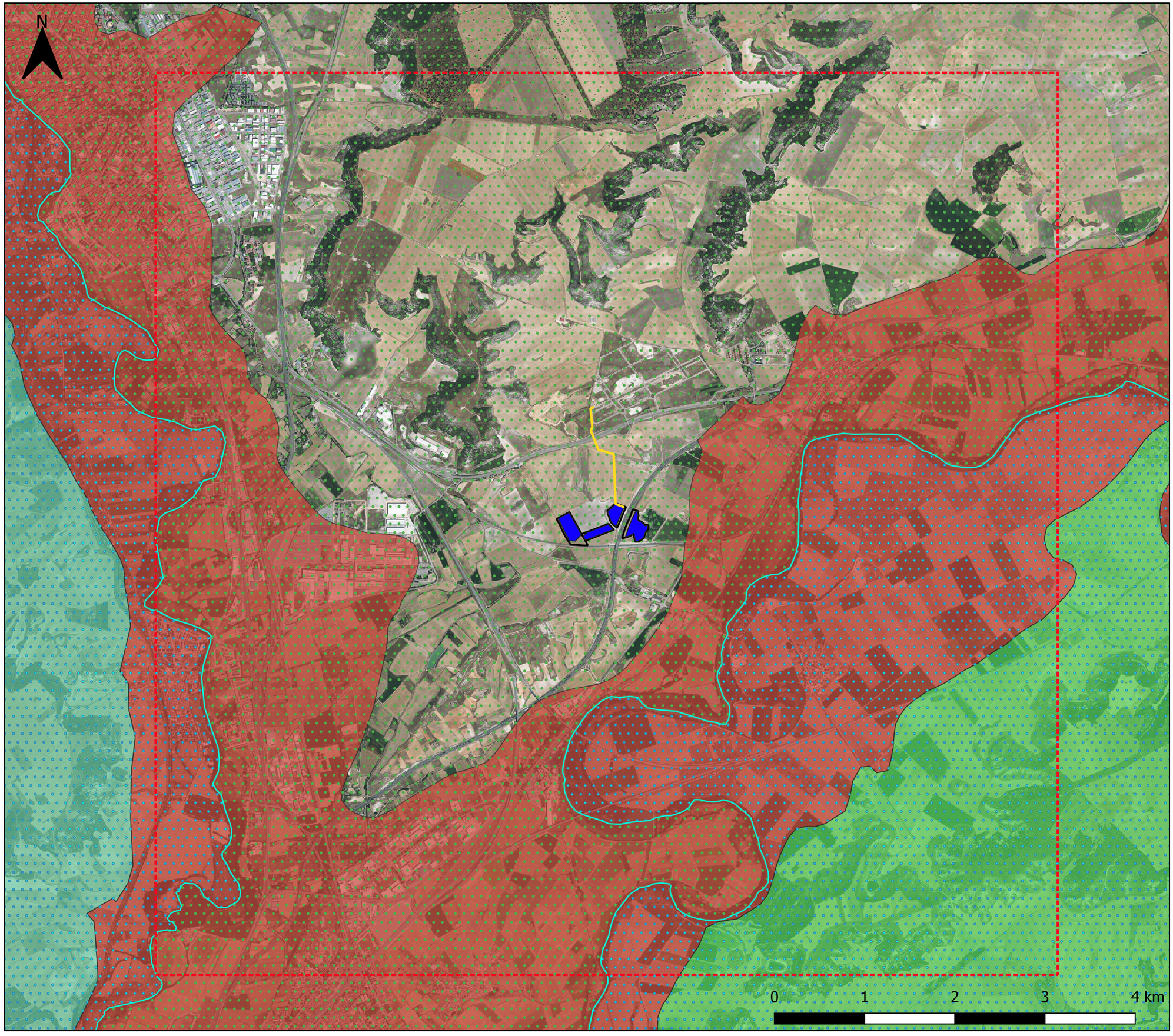
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio
- Cauces

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 10

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Marco Hidrogeológico

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

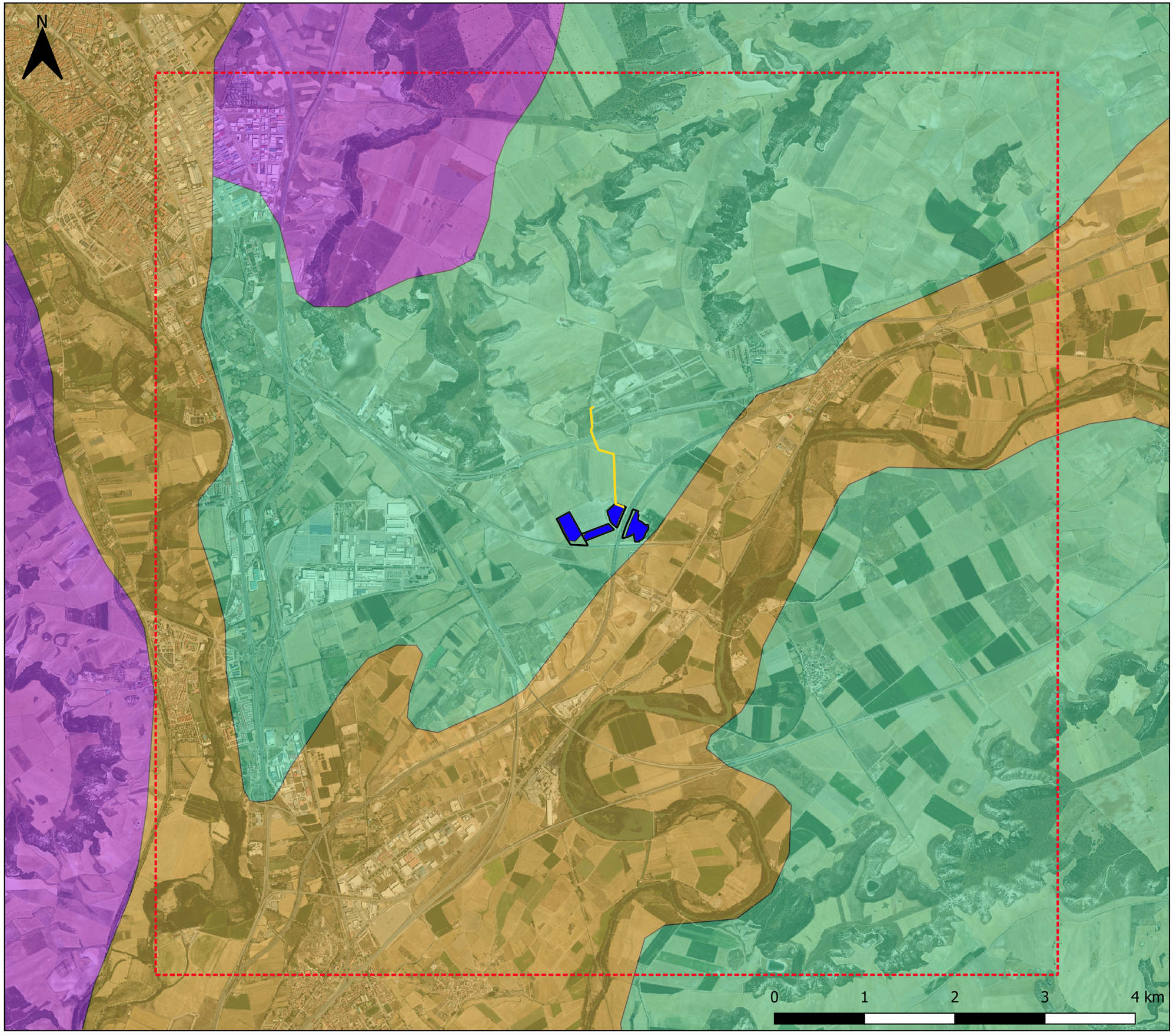
- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Masas de agua subterránea

- Aluviales del Pisuerga - Arlanzón
- Páramo de Astudillo
- Páramo del Esgueva
- Terciario detrítico bajo los páramos

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 11

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Series de vegetación

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

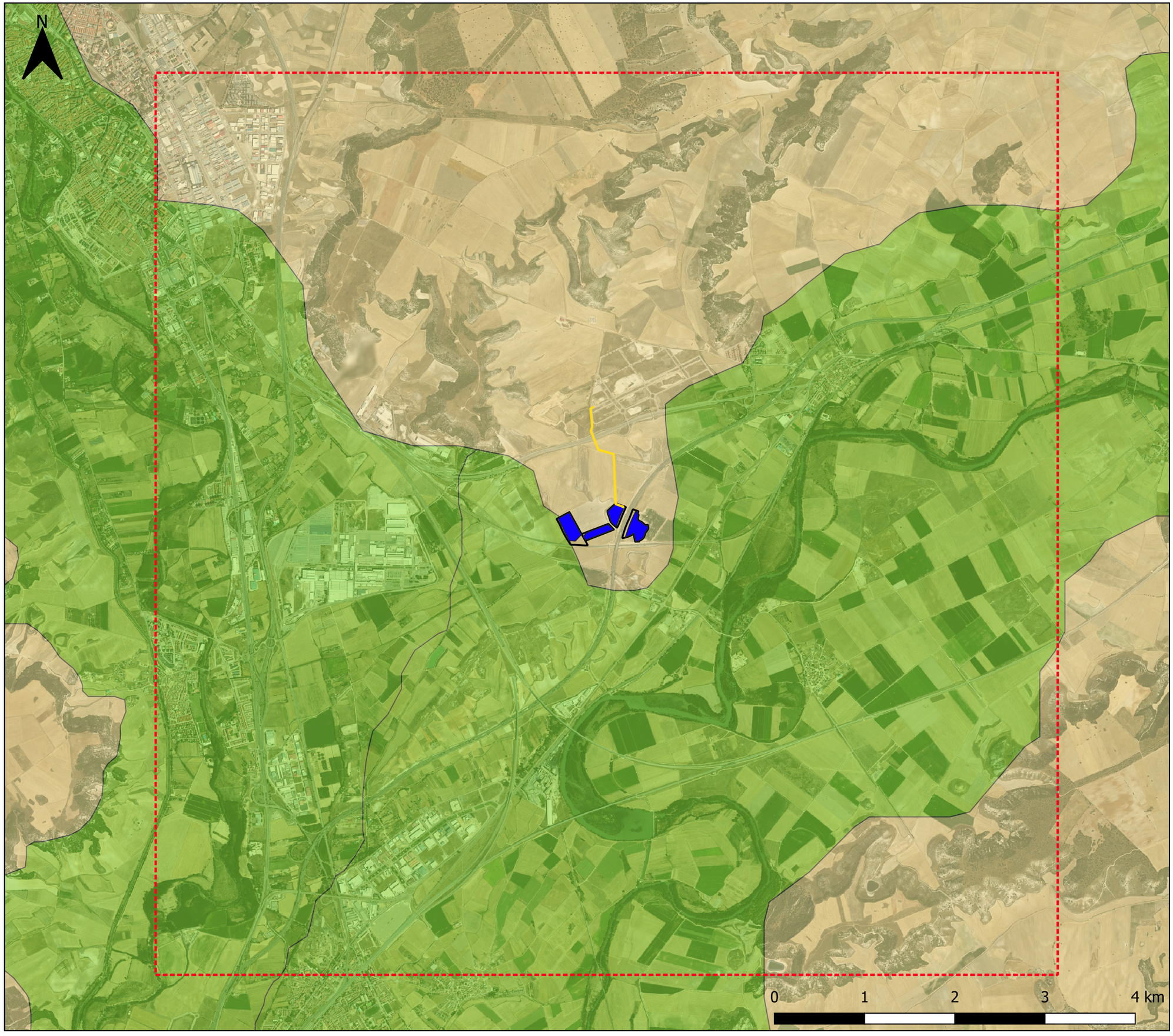
- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Series de vegetación

- 19b
- 22a
- I

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 12

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Tipos de paisaje

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

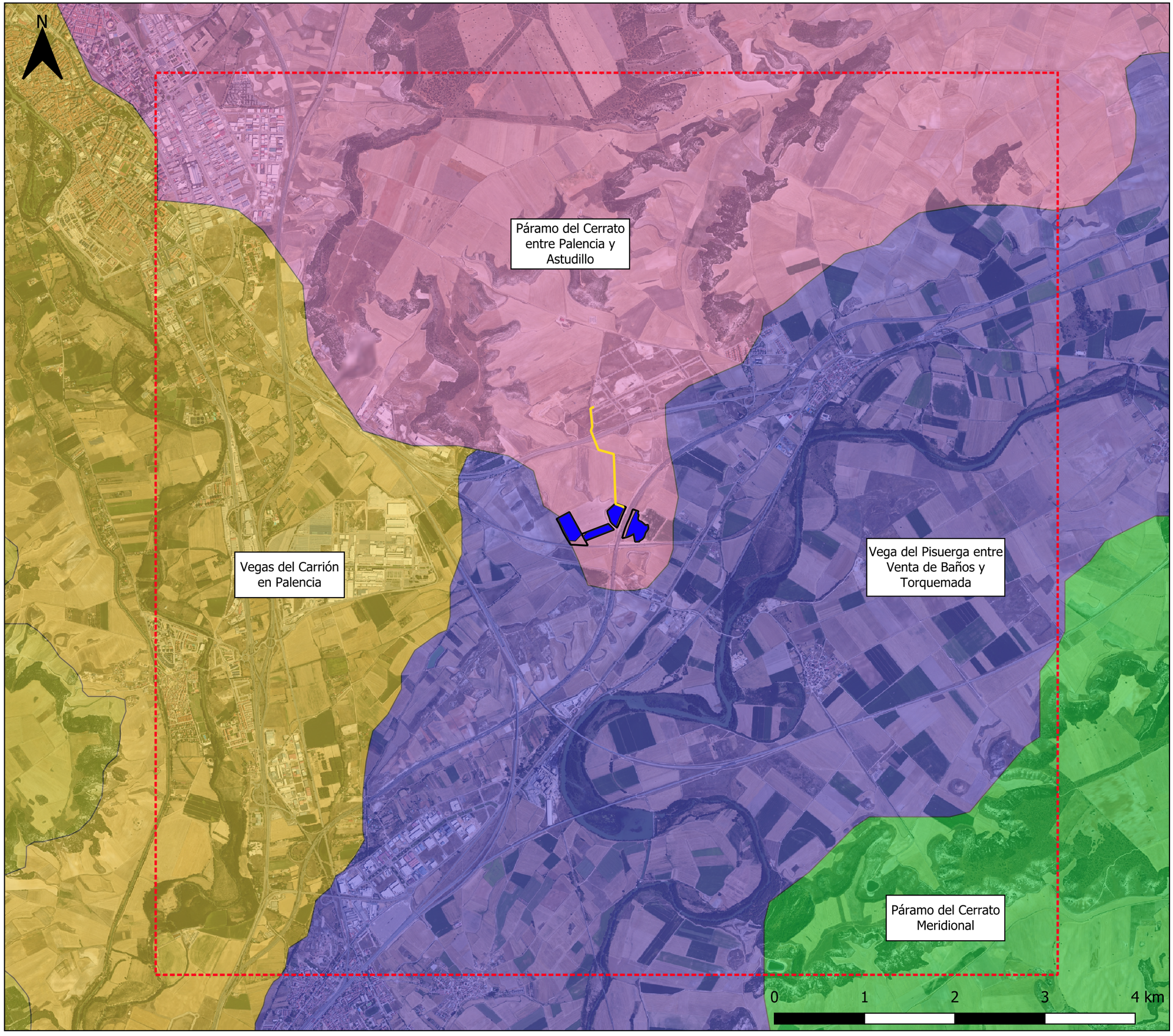
- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Tipos de paisaje

- Páramos Calcáreos Castellano-Leoneses
- Vegas del Duero

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 13

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Unidades de paisaje

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

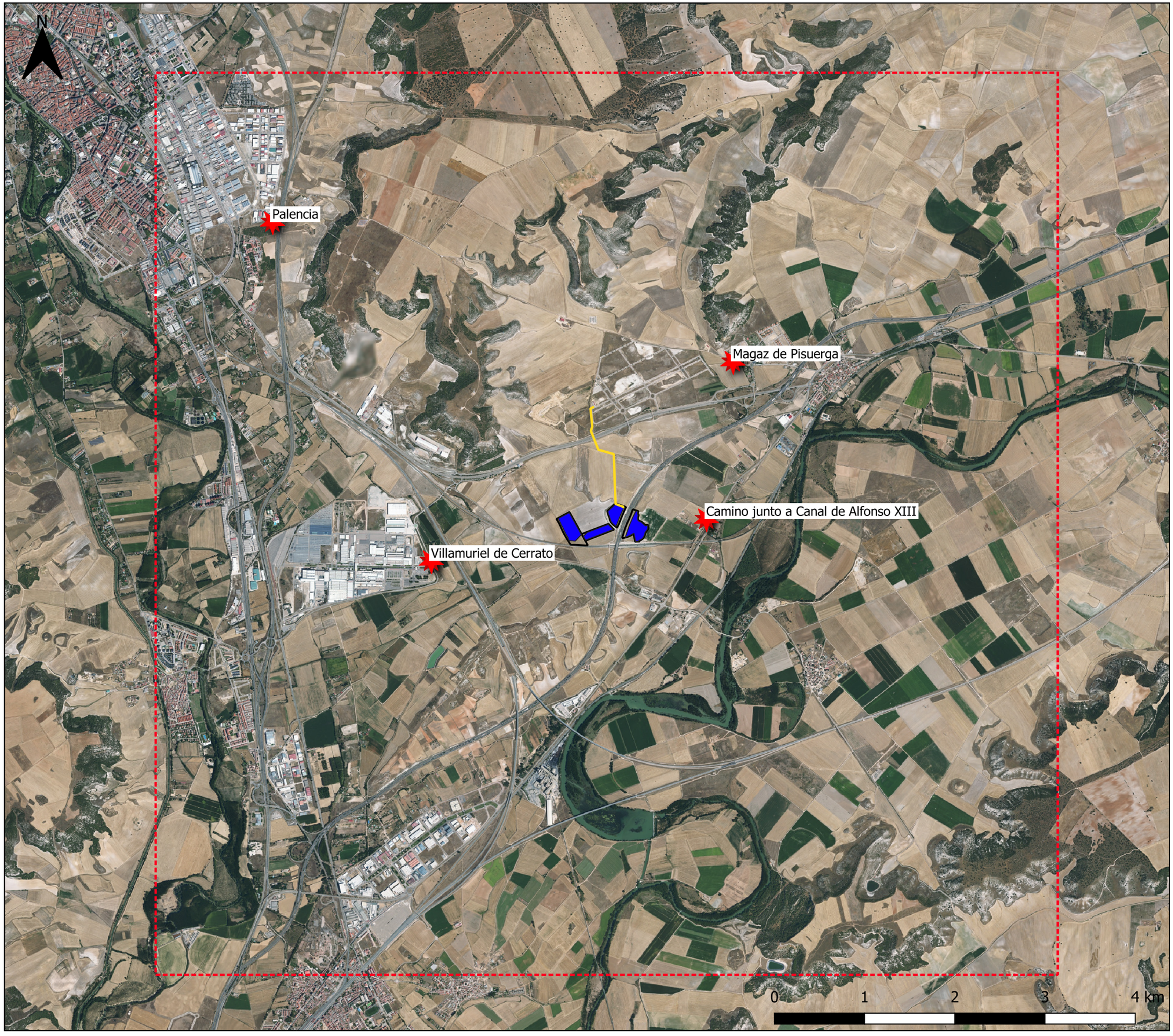
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 14

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Incidencia paisajística. Puntos de Observación

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

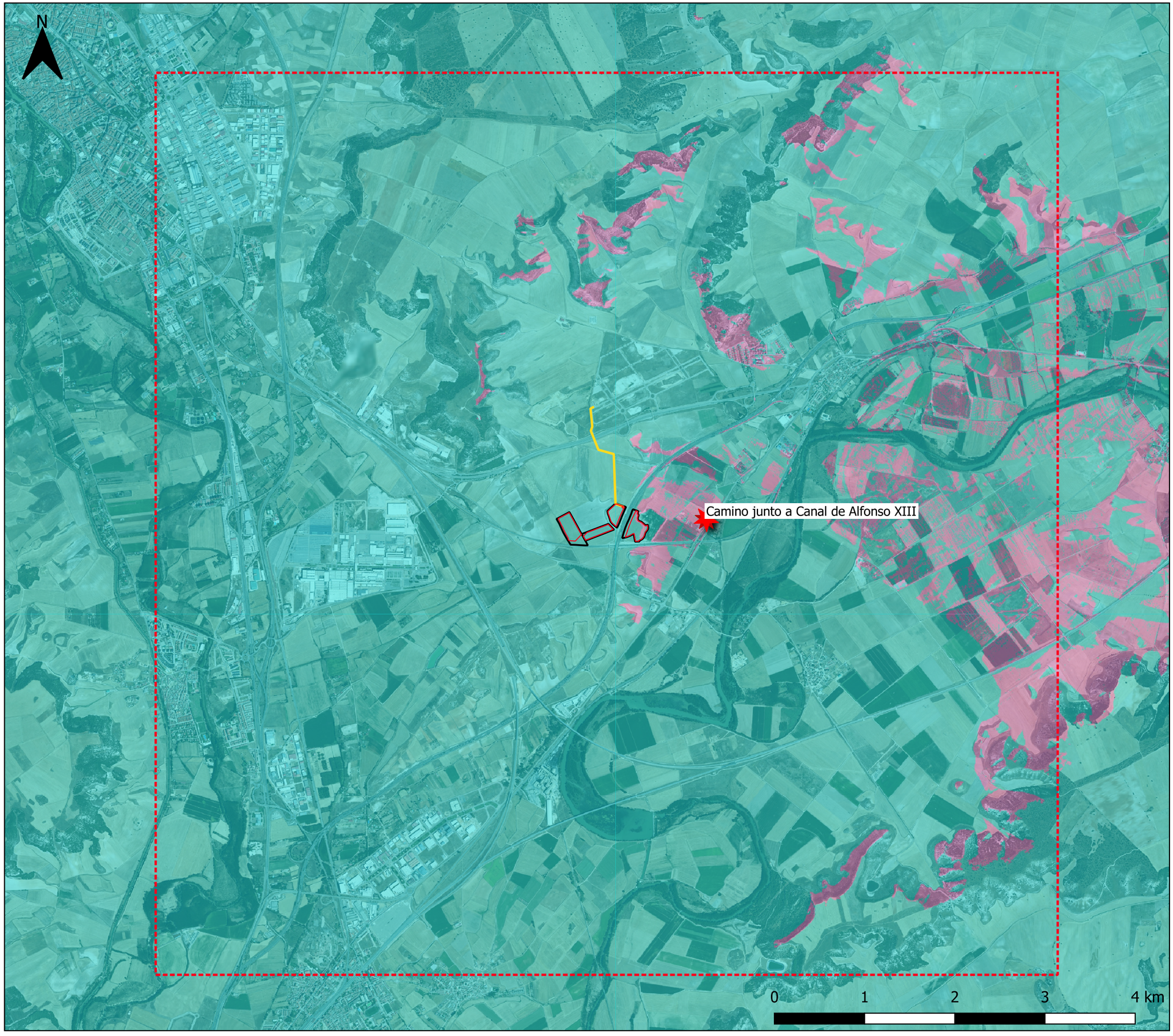
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio
- Punto de observación

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 15

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Incidencia paisajística. C. V. camino Canal Alfonso XIII

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

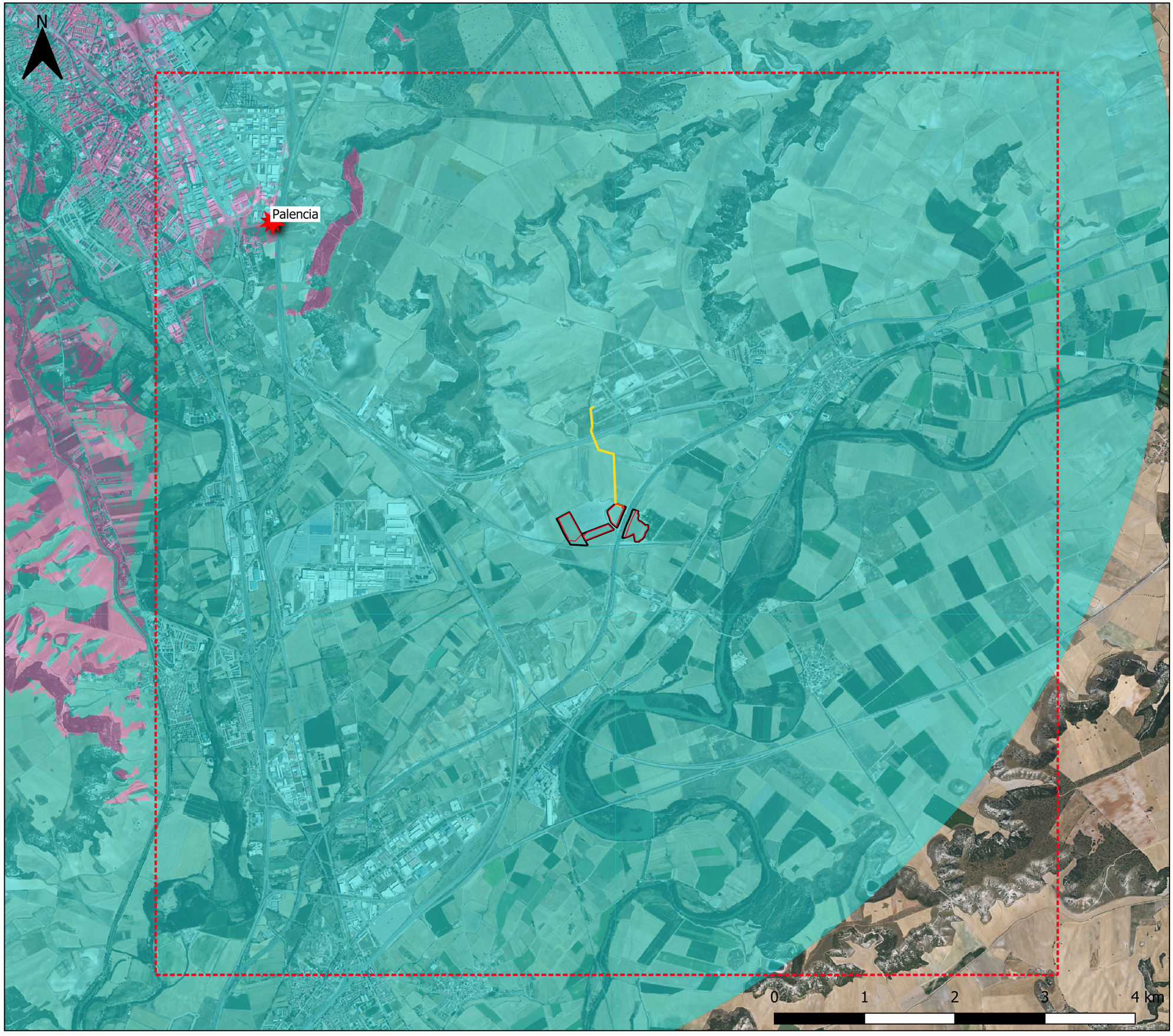
LEYENDA

- Vallado PSF Angeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio
- Punto de observación

Cuenca visual
- Zona no visible
- Zona visible

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 16

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Incidencia paisajística. C. V. Palencia

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

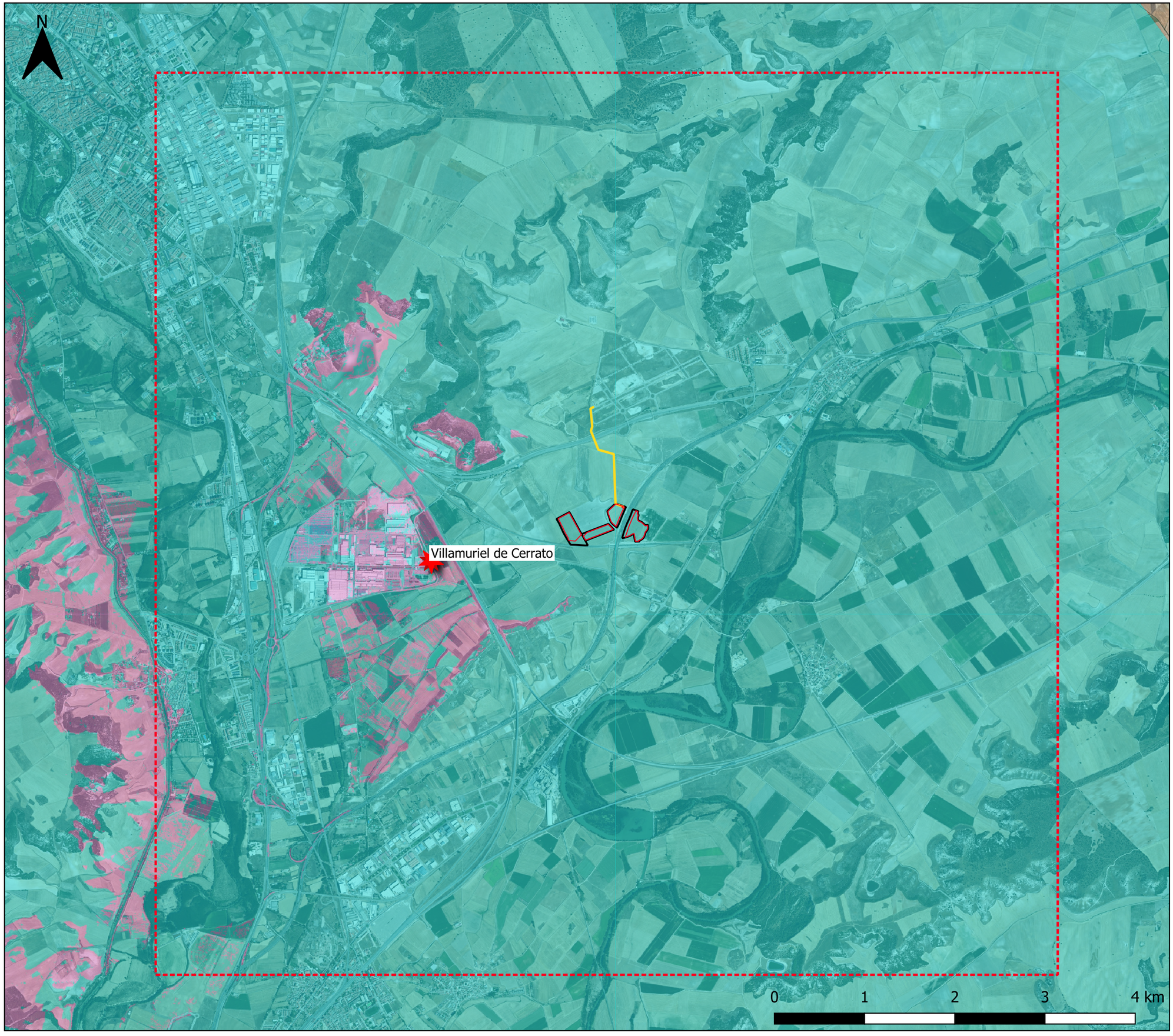
LEYENDA

- Vallado PSF Angeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio
- Punto de observación

Cuenca visual
- Zona no visible
- Zona visible

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 17

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Incidencia paisajística. C. V. Villamuriel de Cerrato

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

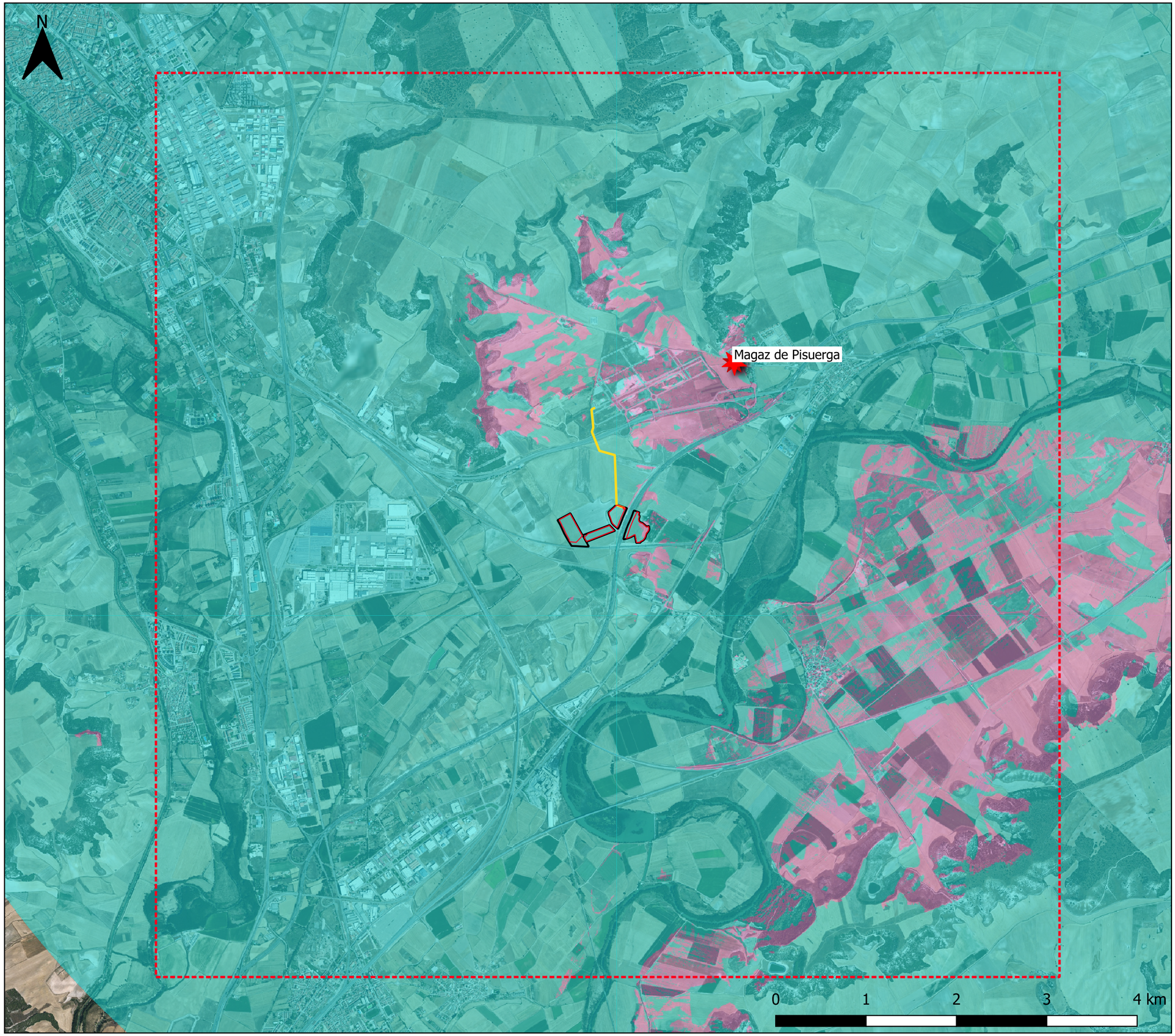
LEYENDA

- Vallado PSF Angeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio
- Punto de observación

Cuenca visual
- Zona no visible
- Zona visible

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 18

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Incidencia paisajística. C. V. Magaz de Pisuerga

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- Vallado PSF Angeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio
- Punto de observación

Cuenca visual
- Zona no visible
- Zona visible

ingnova PROYECTOS

BENBROS

N

ZEC/LIC "Riberas del Río Pisuerga y afluentes"

ZEC/LIC "Montes del Cerrato"

0 1 2 3 4 km

DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 19

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Red Natura 2000

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

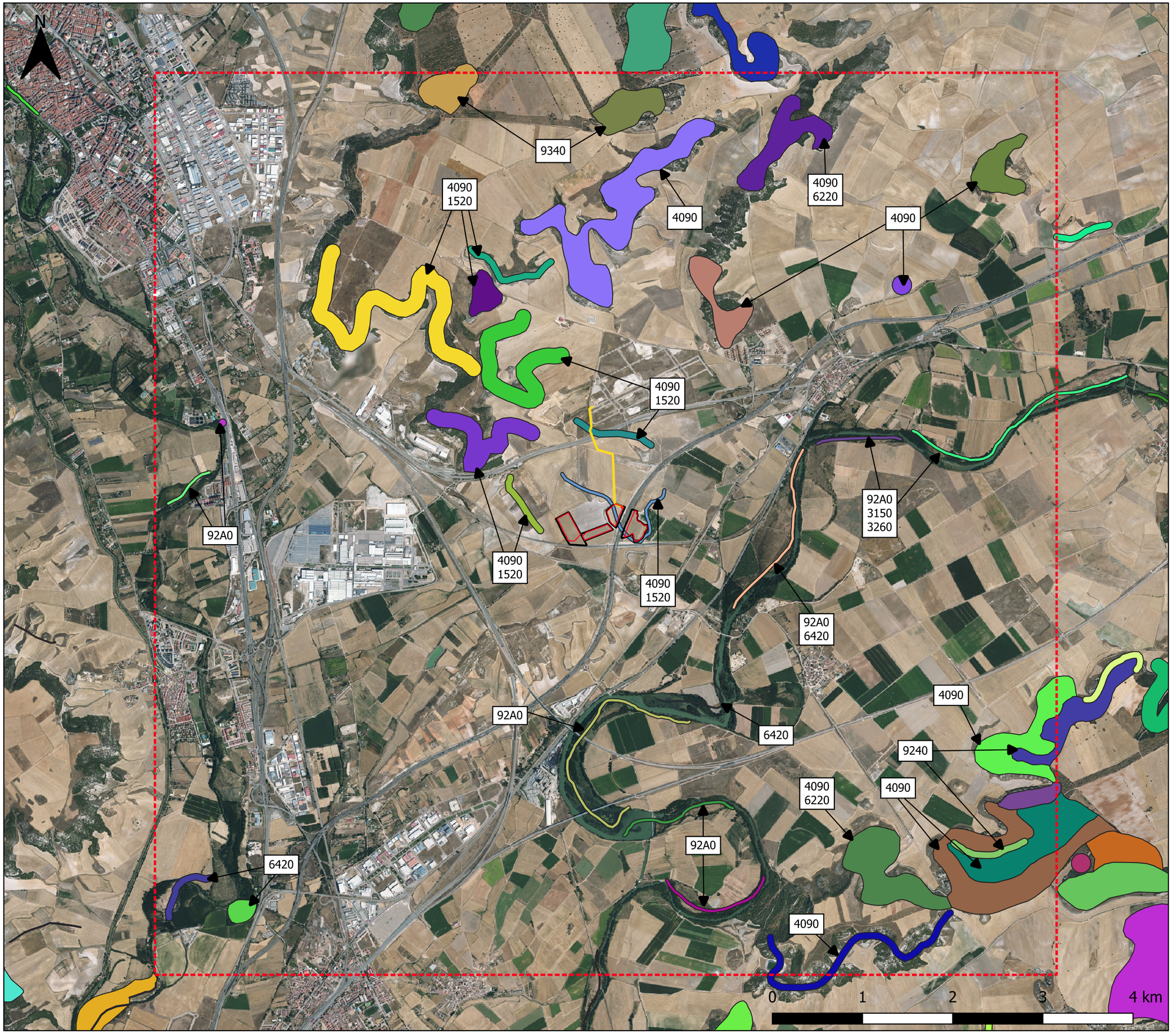
- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Red Natura 2000

- ZEPA
- ZEC/LIC
- ZEC/LIC Y ZEPA

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 20

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Hábitats de Interés Comunitario

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

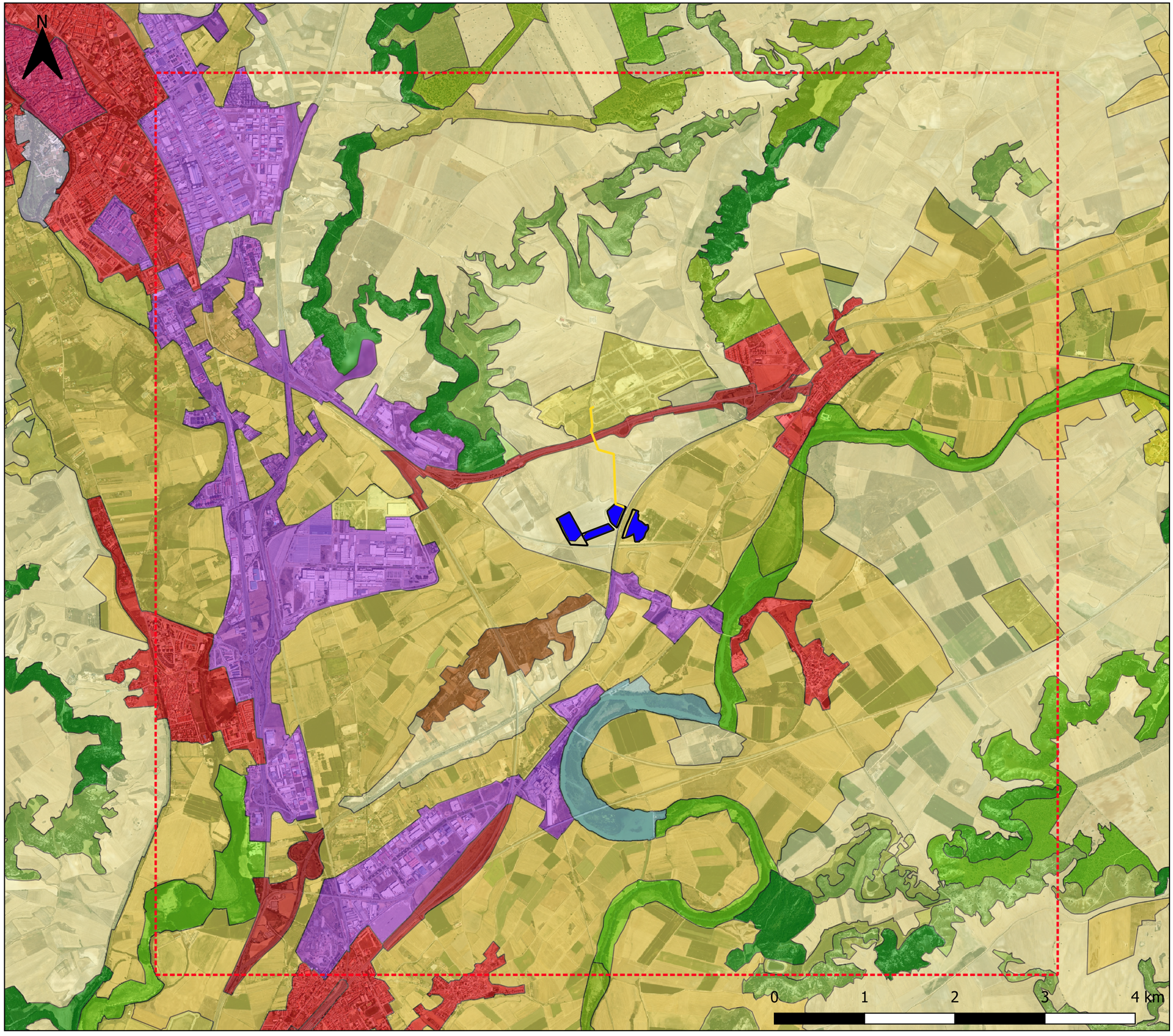
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- Vallado PSF Angeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 21

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Usos de suelo

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

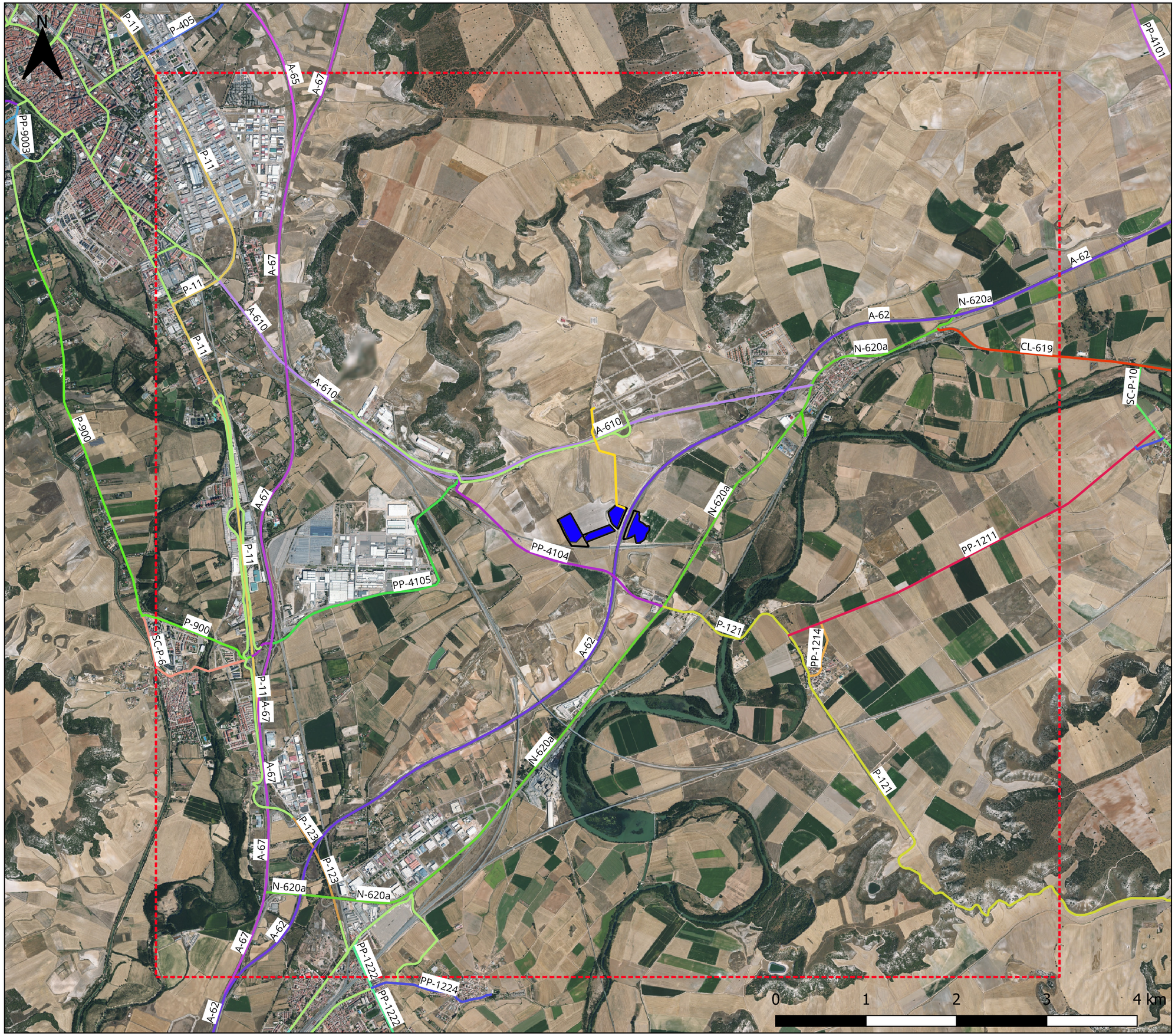
- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Usos de suelo

- Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados
- Tierras de labor en secano
- Terrenos regados permanentemente
- Praderas

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº:	ESCALA:
22	1:40.000

PLANO: Red de Carreteras

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

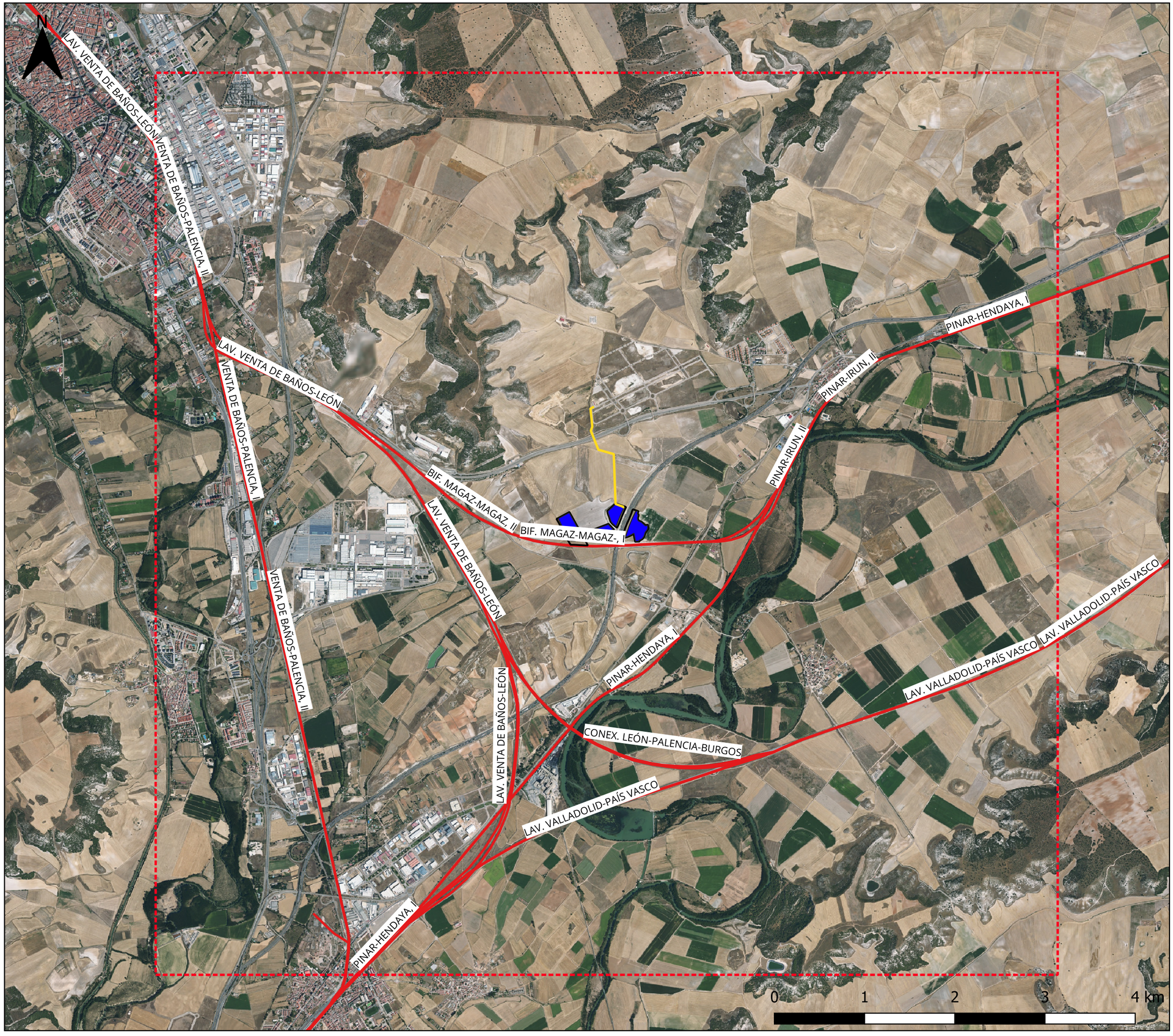
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 23

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Red Ferroviaria

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

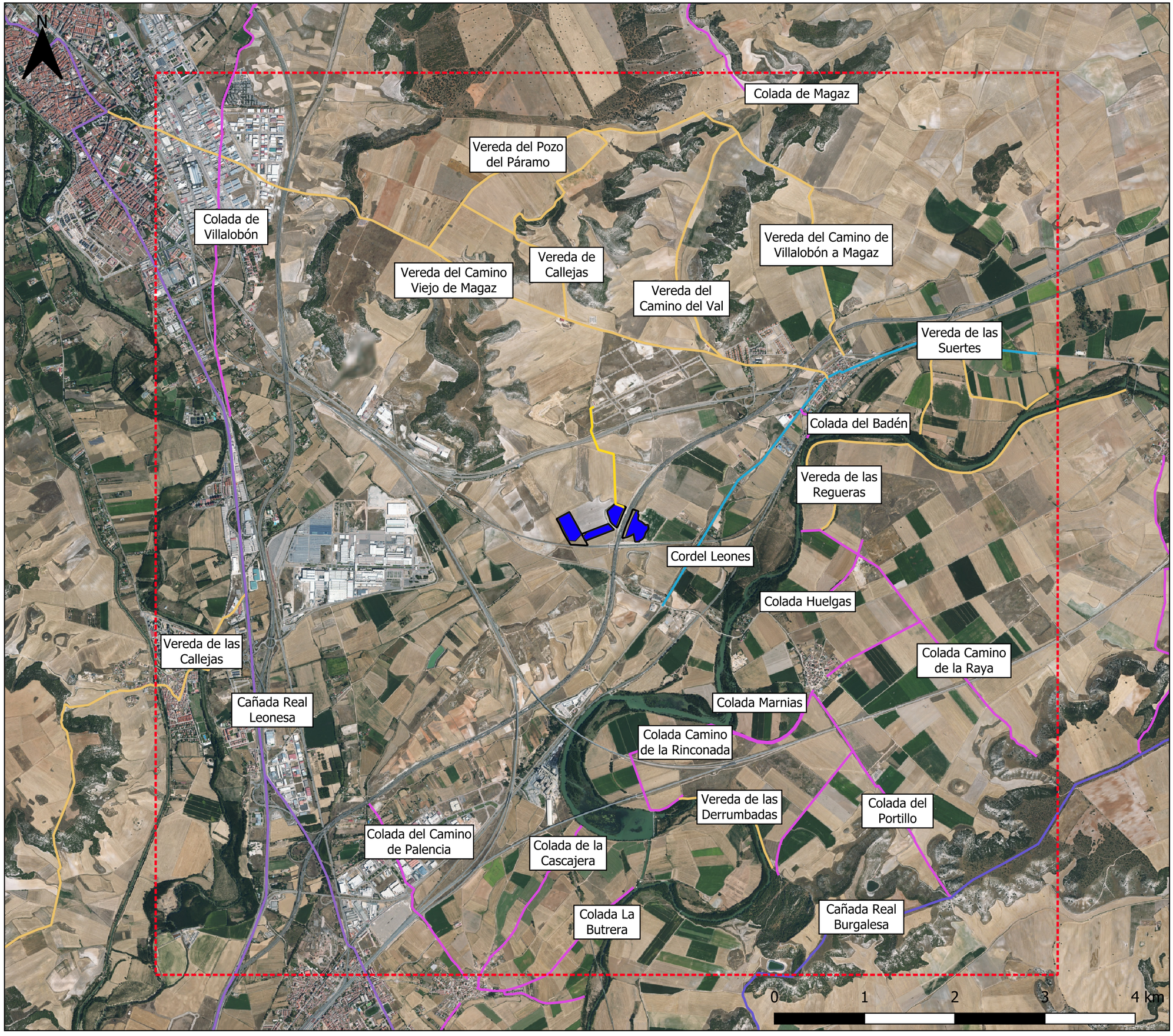
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 24

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Vías pecuarias

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

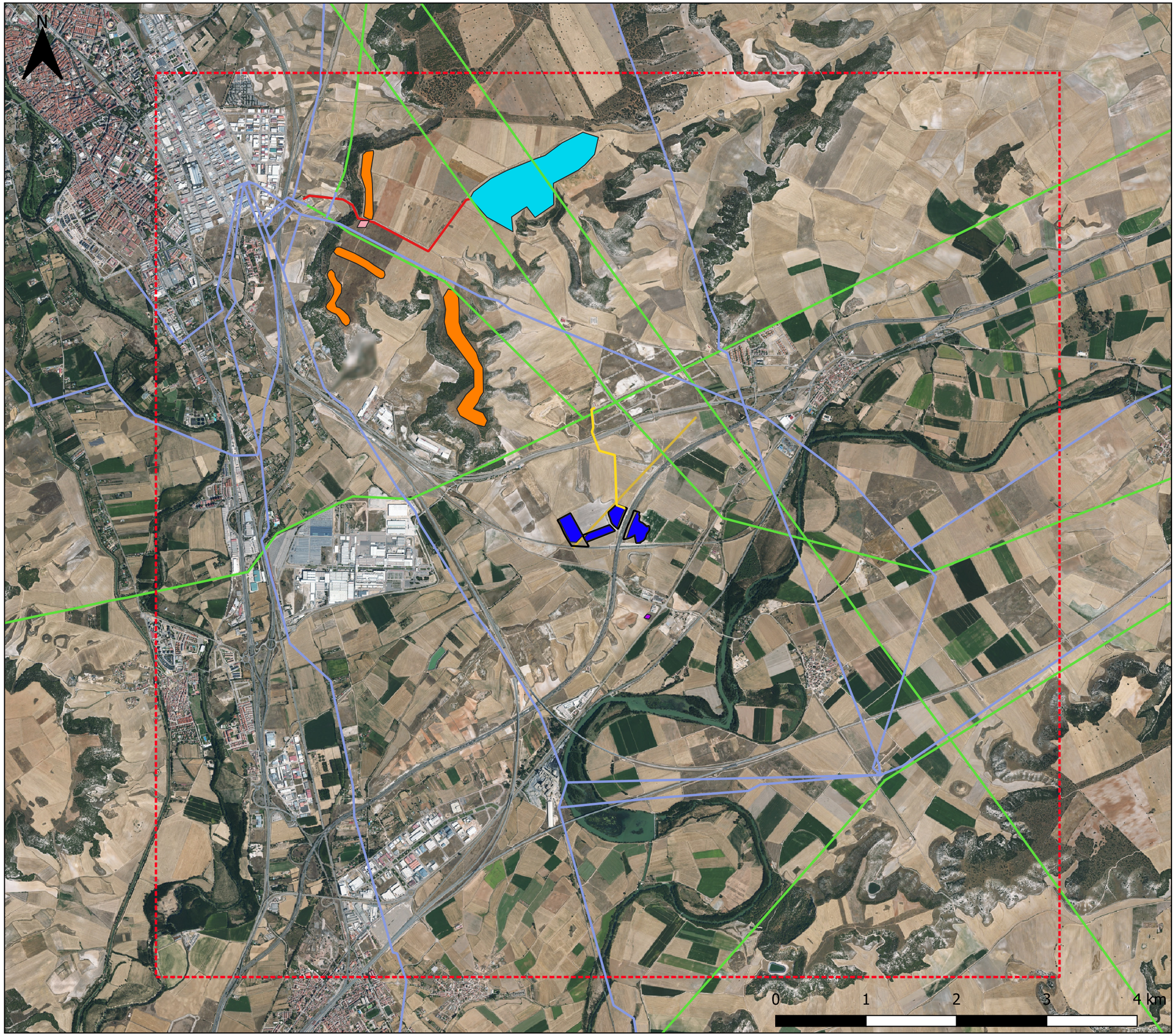
- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Vías pecuarias

- Cañada
- Colada
- Cordel
- Vereda

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 25

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Infraestructuras energéticas

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Líneas eléctricas

- Entre 66 y 220 kV
- Entre 30 y 66 kV
- Gasoducto

- PSF Capricornius Solar
- Parque eólico Magaz
- PFV sin nombre 1
- PFV sin nombre 2
- Líneas evacuación entorno

ingnova PROYECTOS

BENBROS

N

Barrancon

El Castillo

Las Suertes/El Rosal

La Huelga

Los Torrubios

Los Casares

La Guindalera

Cruz de San Pedro

El Poste/Los Llanos

El Cementerio/Ermita de Nuestra Señora de Villaverde

Las Callejas

Suheca/Cedelsa

El Ariedo

La Papalba

Las Torres

Colorada/Camino de Carravacas

La Carrera

Camino del Mundo/Las Centeneras

La Cruz del Bastardo

Las Arenas

El Vivero

El Vivero II

Iglesia de San Juan Bautista

Rejados

El Mochón

El Barranco

0 1 2 3 4 km

DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 26

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Patrimonio cultural

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio
- Bien de Interés Cultural
- Yacimiento arqueológico

ingnova PROYECTOS

BENBROS

N

0 0,75 1,5 2,25 3 km

DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 27

ESCALA: 1:30.000

PLANO: Alternativas

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

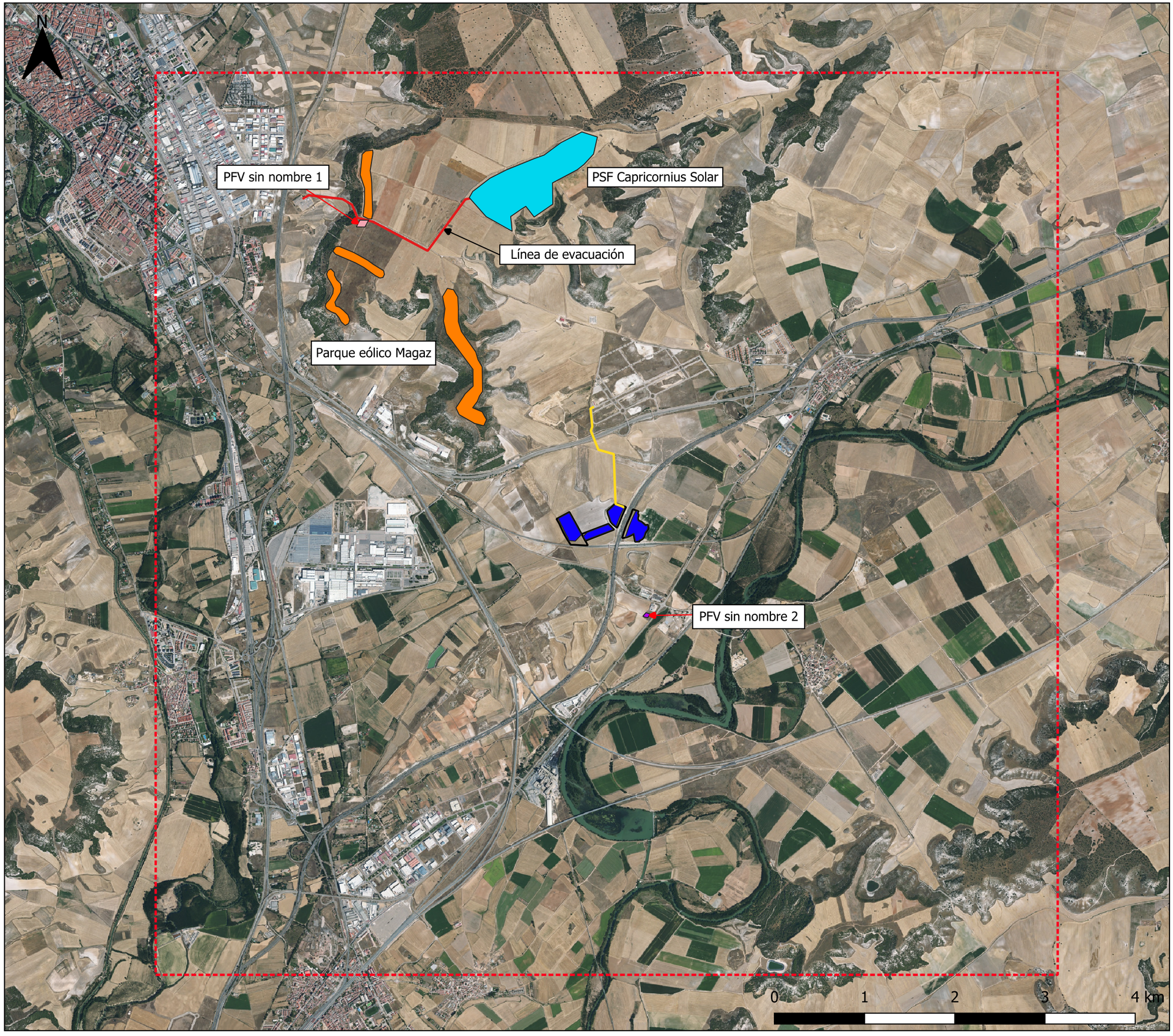
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- Alternativa 1
- Alternativa 2
- Línea alternativa A
- Línea alternativa B

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 28.1

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Análisis de sinergias. Emplazamiento

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

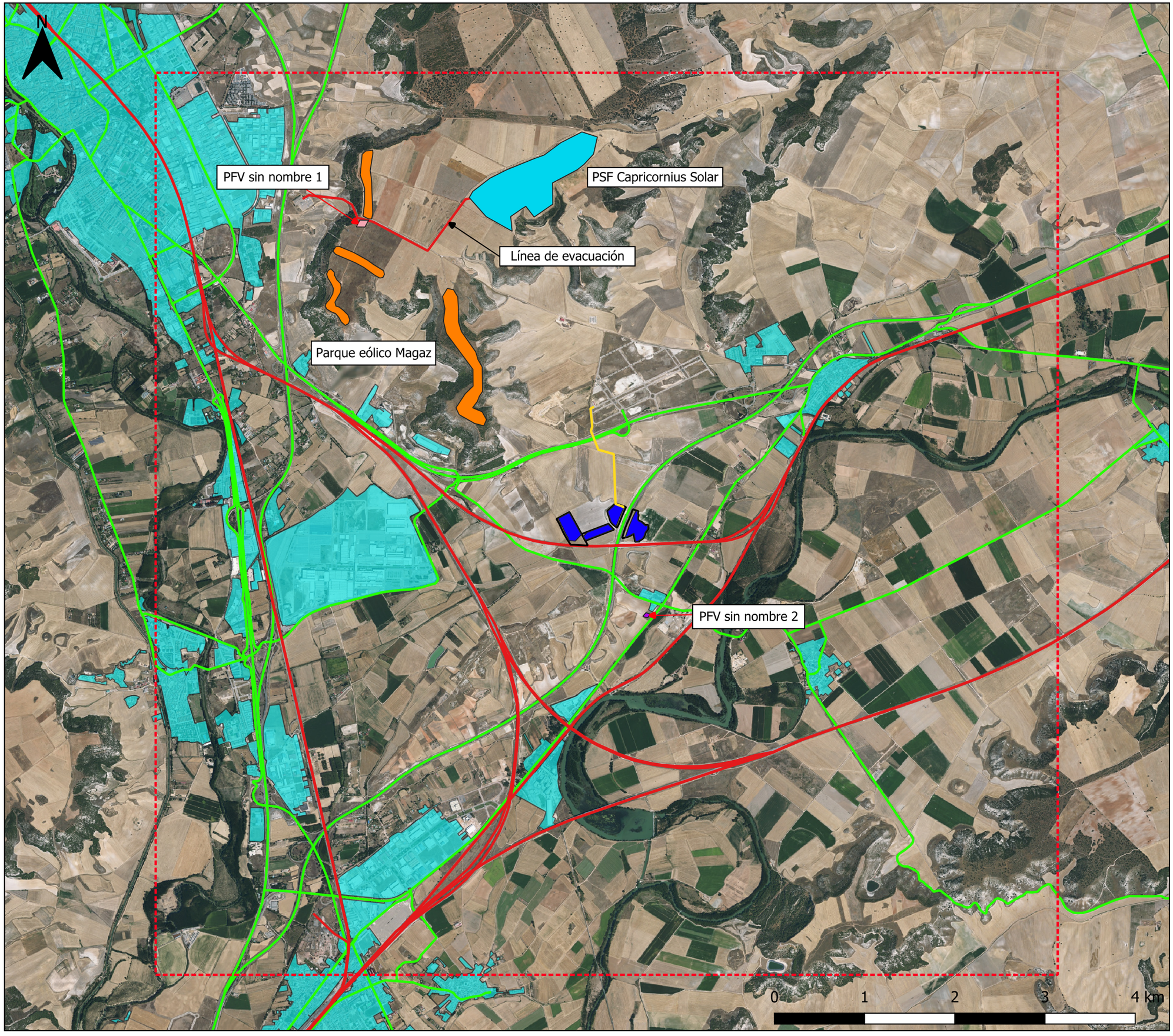
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 28.2

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Análisis de sinergias. Infraestructuras consolidadas

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

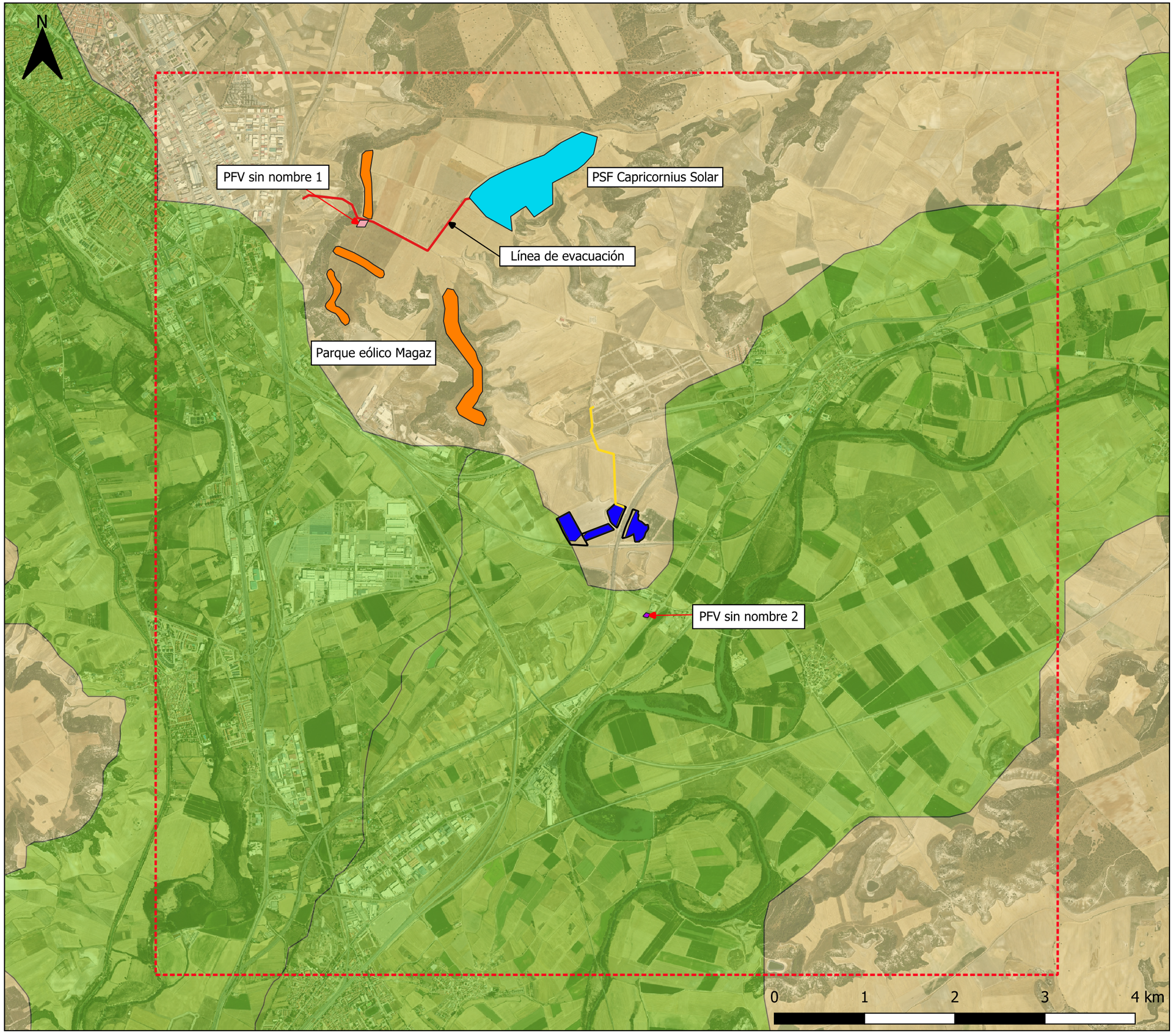
Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio
- Núcleos urbanos
- Carreteras
- FFCC

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 28.3

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Análisis de sinergias. Tipos de paisaje

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

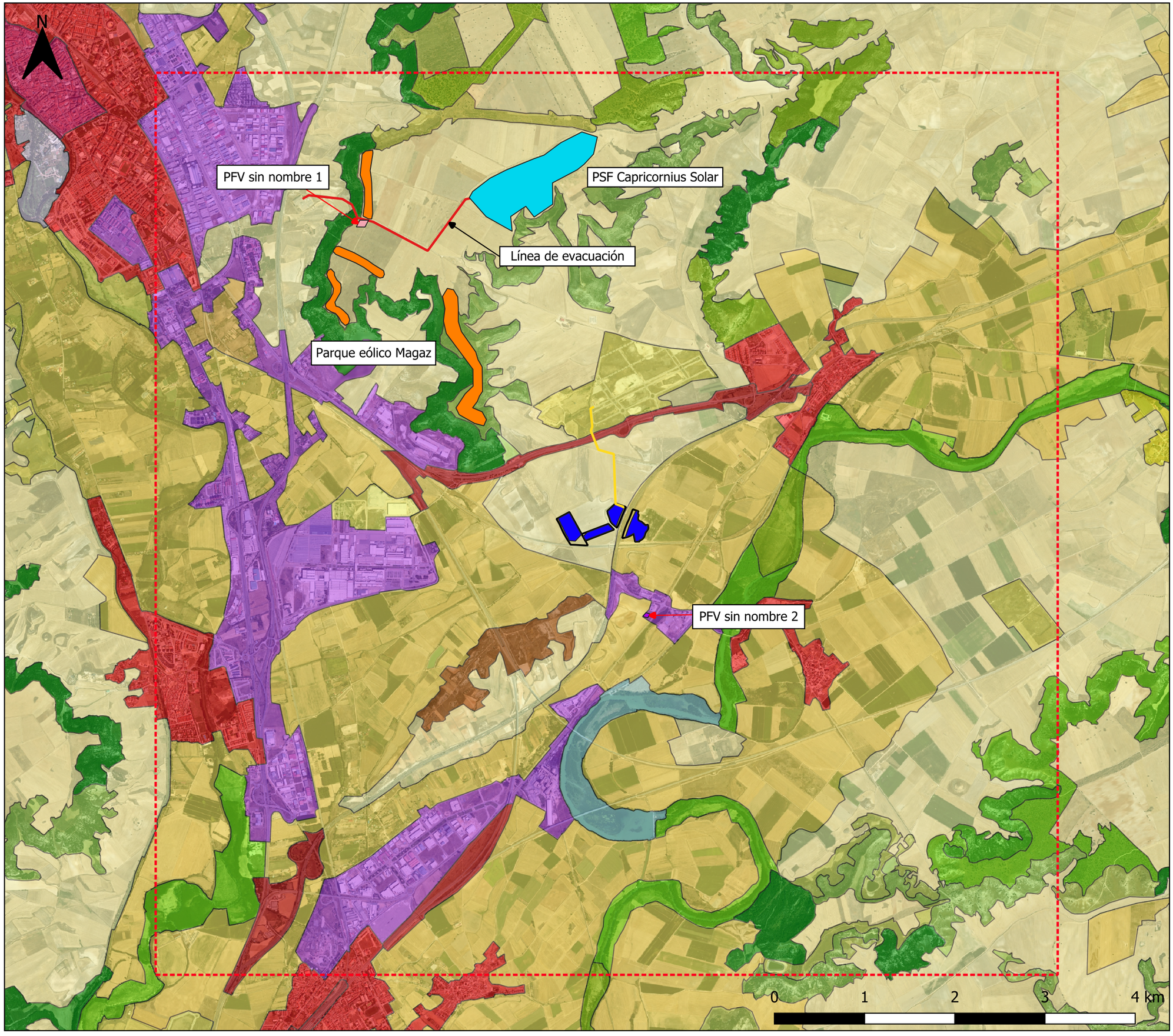
- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Tipos de paisaje

- Páramos Calcáreos Castellano-Leoneses
- Vegas del Duero

ingnova PROYECTOS

BENBROS



DOCUMENTO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA "ÁNGELES ENERGY" E INFRAESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN EN EL T.M. DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA)

PLANO Nº: 28.4

ESCALA: 1:40.000

PLANO: Análisis de sinergias. Usos del suelo

FECHA: Diciembre 2024

AUTOR:

Manuel Cañas Mayordomo
Ingeniero Agrónomo (Coleg. 1.617)

LEYENDA

- PSF Ángeles Energy
- Línea de evacuación
- Recinto catastral
- Ámbito de estudio

Usos del suelo

- Zonas industriales o comerc.
- Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados
- Tierras de labor en secano
- Terrenos regados perm.
- Praderas
- Bosques de coniferas
- Vegetación esclerofila

ingnova PROYECTOS

BENBROS

ANEXO II: ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO SITO EN EL POLÍGONO 6 PARCELAS 19-10018-10021-20021 EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA) PARA FUTURA INSTALACIÓN DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA (PSFV LOS ANGELES ENERGY)

ENERO 2024

Ingnova Proyectos

Manuel Cañas Mayordomo

ingnova PROYECTOS

INDICE DE CONTENIDO

Acrónimos

- **ASCII:** American Estándar Code for Information Interchange
- **DPH:** Dominio Público Hidráulico
- **IDF:** Intensidad-Duración-Frecuencia
- **IGME:** Instituto Geológico y Minero de España
- **IGN:** Instituto Geográfico Nacional
- **LIDAR:** Light Detection and Raging
- **MAGRAMA:** Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
- **MCA:** Mapa de Cultivos y Aprovechamientos
- **MDT:** Modelo Digital del Terreno
- **MITECO:** Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España
- **ODT:** Obra de Drenaje Transversal
- **PNOA:** Plan Nacional de Ortografía Aérea
- **SIG:** Sistema de Información Geográfica.
- **SCS:** Servicio de Conservación del Suelo
- **WGS:** World Geodetic System

Índice de Figuras

Figura 1. Situación 16
Figura 2. Término Municipal 16
Figura 3. Zona de Estudio 17
Figura 4. Mapa de relieve e hidrografía 18
Figura 5. Red Hidrográfica Confederación Hidrográfica del Duero 20
Figura 6. Mapa de Edafología 21
Figura 7. Clasificación Agroclimática de Papadakis 23
Figura 8. Mapa de Geológico Provincia de Palencia. 24
Figura 9. Ortofoto PNOA Máxima Actualidad (IGN) 26
Figura 10. Modelo Digital Terreno-MDT02 (IGN) 27
Figura 11. Archivo Ráster. 28
Figura 12. Cuencas Conjunta zona de Estudio 30
Figura 13. Cuadro resumen de metodología de obtención de caudales 32
Figura 14. Mapa de Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular 33
Figura 15. Esquema de cuenca por el Método Racional 34
Figura 16. Factor F_a 42
Figura 17. Mapa Índice de Torrencialidad 42
Figura 18. Obtención de Fb 44
Figura 19. Determinación del Coeficiente de Escorrentía 47
Figura 20. Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra (MIAMBIENTE) 50
Figura 21. Regiones consideradas para la caracterización del coeficiente corrector del umbral de escorrentía 51
Figura 22. Ortofoto PNOA Máxima Actualidad (IGN) 54
Figura 23. Modelo Digital Terreno-MDT02 (IGN) 55
Figura 24. Recorte Lidar Zona de Estudio 55
Figura 25. Herramienta Crear RTIN 56
Figura 26. Importación archivo ASCII 57
Figura 27. Geometría importada RTIN 58
Figura 28. Condición Inicial 59
Figura 29. Condiciones de Contorno 60
Figura 30. Ventana Análisis 2D 61
Figura 31. Ventana Contextual 62
Figura 32. Ventana de Selección 63
Figura 33. Condición de Entrada de Caudales en Iber 63
Figura 34. Ventana de Condiciones de Salida 64
Figura 35. Condición de Salida en Iber 65

Figura 36. N Manning Iber 66
Figura 37. Malla del Modelo 68
Figura 38. Dibujo Tamaño Superficie 69
Figura 39. Visualizador Tamaño Malla 69
Figura 40. Datos de computación 71
Figura 41. Ventana Selección Datos de Computación 73
Figura 42. Proceso de cálculo 73
Figura 43. Resultados Calados T10 años 78
Figura 44. Resultados Velocidad T10 años 79
Figura 45. Resultados Peligrosidad T10 años 79
Figura 46. Resultados Calados T100 años 80
Figura 47. Resultados Velocidad T100 años 80
Figura 48. Resultados Peligrosidad T100 años 81
Figura 49. Resultados Calados T500 años 82
Figura 50. Resultados Velocidad T500 años 82
Figura 51. Resultados Peligrosidad T500 años 83
Figura 52. Zona de DPH – Zona Servidumbre – Zona de Policía 83
Figura 53. Funcionamiento Gid 85
Figura 54. Módulos de Funcionamiento Iber 88
Figura 54. Zona de Afección T10 años 90
Figura 54. Zona de Afección T100 años 91
Figura 54. Zona de Afección T500 años 92

Índice de Tablas

Tabla 1. Parcelas Zonas de Estudio 17
Tabla 2. Archivos Ortofotos IGN 25
Tabla 3. Archivos MDT-05 IGN 27
Tabla 4. Características Físicas Cuenca 1 30
Tabla 5. Caudales cuenca de estudio 1 52
Tabla 6. Resumen Caudales Cuencas 53
Tabla 7. Archivos MDT-02 IGN 55

#A. INTRODUCCIÓN 8
1.- Orden de Encargo 8
2.- Antecedentes y objeto 8
3.- Normativa de aplicación 9
#B. CARACTERIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO 15
1.- Objeto del Estudio 15
1.1.- Descripción de la Zona de Estudio 15
1.2.- Zona Metodología de Aplicación 17
1.3.- Descripción Física 17
1.4.- Hidrología 19
1.5.- Edafología 20
1.6.- Climatología 22
1.7.- Geología 23
#C. ESTUDIO HIDROLÓGICO 25
1.- Cálculo de las Cuencas de Estudio 25
1.1.- Datos 25
1.2.- Definición de las Cuencas de Estudio 27
2.- Cálculo del Caudal en la Cuenca de Estudio 31
2.1.- Método de Cálculo 31
2.2.- Cálculo de las Precipitaciones Máximas Diarias 32
2.3.- Método Racional 33
#D. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA 54
1.- Cálculo hidráulico de la zona de estudio 54
1.1.- Definición del problema 54
1.2.- Obtención de la ortofoto y modelo digital del terreno 54
1.3.- Geometría del modelo 56
1.4.- Parámetros a Introducir en el Modelo. 58
1.5.- Mallado del modelo 66
1.6.- Datos del problema 70
2.- Delimitación Máxima Crecida Ordinaria. 75
2.1.- Definición del Dominio Público Hidráulico 75
3.- Resultados 78
3.1.- Resultados para T = 10 años 78
3.2.- Resultados para T = 100 años 80

3.3.- Resultados para T = 500 años 82
#E. PARTICULARIDADES DE DESARROLLO DEL ESTUDIO 84
1.- Modelo Utilizado 84
1.1.- Metodología del programa Iber. 84
#F. CONCLUSIONES 89
1.- CONCLUSIONES OBTENIDAS 89
ANEJO 1. FICHA CATASTRAL PARCELA 93
ANEJO 2. ANEJO DE CÁLCULOS. 99
ANEJO 3. PLANOS 118
Listado de Planos 119

#A. INTRODUCCIÓN

1.- Orden de Encargo

Don Manuel Cañas Mayordomo, inscrito como ejerciente en el Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos, con Número de Colegiado 1.617 realiza el presente Informe Técnico a petición de la sociedad BENBROS PV 1 SL., con domicilio en Calle Gustavo Fernández Balbuena,nº 11, entreplanta, CP: 28002. Madrid, España y CIF: B-56483977.

A instancias de la dirección técnica de la misma, para la elaboración de **ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO SITO EN EL POLÍGONO 6 PARCELAS 19-10018-10021-20021 EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MAGAZ DE PISUERGA (PALENCIA) PARA FUTURA INSTALACIÓN DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA (PSFV LOS ANGELES ENERGY)** con el fin de determinar las extensiones de inundación en la zona de estudio y comprobar la viabilidad de la implantación de la planta fotovoltaica a efectos de inundabilidad.

2.- Antecedentes y objeto

El promotor pretender realizar la construcción de la instalación de producción de energía eléctrica **"PSFV LOS ÁNGELES ENERGY"** situada en el término municipal de Magaz de Pisuerga (Palencia).

Es por lo que se realiza el presente estudio de inundabilidad suscrito por técnico competente.

Para la simulación de la avenida o lámina de inundación de los cauces, se utilizará el programa Iber (Versión 2.5.2). En este se realizará las siguientes simulaciones:

En este estudio se realizará las siguientes simulaciones:

- Simulación del estado actual y los efectos de la avenida para un periodo de retorno de 10, 100 y 500 años

- Recopilación de información de precipitación de la zona de estudio a través de las Máximas lluvias diarias en la España Peninsular (MAXPLUWIN)
- Modelización matemática a partir de modelos hidráulicos bidimensionales utilizando los modelos digitales del terreno procedente de la información topográfica existente en el IGN (Instituto Geográfico Nacional)

3.- Normativa de aplicación

Se redacta el presente estudio hidrológico e hidráulico en relación a la siguiente normativa:

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

- Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica

- Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.

- Real Decreto 638/2016, de 9 de diciembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, y otros reglamentos en materia de gestión de riesgos de inundación, caudales ecológicos, reservas hidrológicas y vertidos de aguas residuales.

- Real Decreto 665/2023, de 18 de julio, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril; el Reglamento de la Administración Pública del Agua, aprobado por Real Decreto 927/1988, de 29 de julio; y el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados

Ante cualquier actuación se deberán tener en cuenta, en la medida que corresponda su aplicación en cada caso, los preceptos relativos a:

- Zonas de Servidumbre: Respetará una franja de 5 m de anchura paralelas a los cauces para permitir el uso público regulado en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico

- Zonas de Policía: banda de 100 metros de anchura paralelas a los cauces de los ríos en las que hay que obtener autorización previa del Organismo de la Cuenca, para efectuar las actuaciones de acuerdo al Reglamento.

Cauces de Dominio Público Hidráulico. Obtener autorización previa del Organismo de la Cuenca para el uso o las obras dentro del cauce público (art. 51 al 77; 126 al 127 y 136 del Reglamento).

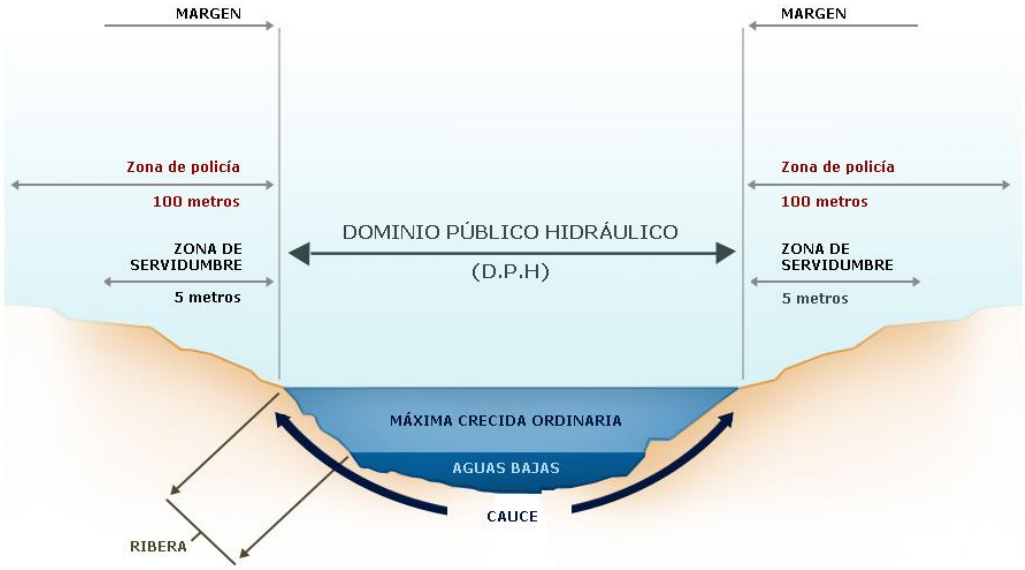


Figura. Zonificación del espacio fluvial

A continuación, se enumera la normativa en referencia a zonas susceptibles de ser invadidas por las crecidas de los cauces de corrientes naturales y que será adoptada como marco de referencia para el desarrollo del presente estudio.

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas:

- **Artículo 11. Las zonas inundables.**

1. Los terrenos que puedan resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses, ríos o arroyos, conservarán la calificación jurídica y la titularidad dominical que tuvieren.

2. Los Organismos de cuenca darán traslado a las Administraciones competentes en materia de ordenación del territorio y urbanismo de los datos y estudios disponibles sobre avenidas, al objeto de que se tengan en cuenta en la planificación del suelo y, en particular, en las autorizaciones de usos que se acuerden en las zonas inundables.

3. El Gobierno, por Real Decreto, podrá establecer las limitaciones en el uso de las zonas inundables que estime necesarias para garantizar la seguridad de las personas y bienes. Los Consejos de Gobierno de las Comunidades Autónomas podrán establecer, además, normas complementarias de dicha regulación.

Real Decreto 665/2023, de 18 de julio, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril; el Reglamento de la Administración Pública del Agua, aprobado por Real Decreto 927/1988, de 29 de julio; y el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados

- **Artículo 9.**

  1. En la zona de policía de 100 metros de anchura medidos horizontalmente a partir del cauce quedan sometidos a lo dispuesto en este reglamento las siguientes actividades y usos del suelo:

  a) Las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno.

  b) Las extracciones de áridos.

  c) Las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional.

  d) Cualquier otro uso o actividad que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas o que pueda ser causa de degradación o deterioro del estado de la masa de agua, del ecosistema acuático, y en general, del dominio público hidráulico.

  2. Sin perjuicio de la modificación de los límites de la zona de policía, cuando concurra alguna de las causas señaladas en el artículo 6.2 del TRLA, la zona de policía podrá ampliarse, si ello fuese necesario, para incluir la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo, al objeto específico de proteger el régimen de corrientes en avenidas, y reducir el riesgo de producción de daños en personas y bienes. En estas zonas o vías de flujo preferente sólo podrán ser autorizadas aquellas actividades no vulnerables frente a las avenidas y que no supongan una reducción significativa de la capacidad de desagüe de dichas zonas, en los términos previsto en los artículos 9 bis, 9 ter y 9 quater.

  La zona de flujo preferente es aquella zona constituida por la unión de la zona o zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas, o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.

  A los efectos de la aplicación de la definición anterior, se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios:

a) Que el calado sea superior a 1 m.

b) Que la velocidad sea superior a 1 m/s.

c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m2/s.

Se entiende por vía de intenso desagüe la zona por la que pasaría la avenida de 100 años de periodo de retorno sin producir una sobreelevación mayor que 0,3 m, respecto a la cota de la lámina de agua que se produciría con esa misma avenida considerando toda la llanura de inundación existente. La sobreelevación anterior podrá, a criterio del organismo de cuenca, reducirse hasta 0,1 m cuando el incremento de la inundación pueda producir graves perjuicios o aumentarse hasta 0,5 m en zonas rurales o cuando el incremento de la inundación produzca daños reducidos.

En la delimitación de la zona de flujo preferente se empleará toda la información de índole histórica y geomorfológica existente, a fin de garantizar la adecuada coherencia de los resultados con las evidencias físicas disponibles sobre el comportamiento hidráulico del río.

3. La modificación de los límites de la zona de policía, cuando concurra alguna de las causas señaladas en el apartado 2, solo podrá ser promovida por la Administración General del Estado, autonómica o local.

La competencia para acordar la modificación corresponderá al organismo de cuenca, debiendo instruir al efecto el oportuno expediente en el que deberá practicarse el trámite de información pública y el de audiencia a los ayuntamientos y comunidades autónomas en cuyo territorio se encuentren los terrenos gravados y a los propietarios afectados. La resolución deberá ser motivada y publicada, al menos, en el "Boletín Oficial del Estado" y en el portal de internet del organismo de cuenca en cuyo territorio se encuentren los terrenos gravados.

4. La ejecución de cualquier obra o trabajo en la zona de policía, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 1, deberá contar con la correspondiente autorización administrativa previa o declaración responsable ante el organismo de cuenca, conforme al artículo 78 y siguientes, sin perjuicio de los supuestos especiales regulados en este reglamento.

Tanto la autorización como la declaración responsable, en función del caso, serán independientes de cualquier otra que haya de ser otorgada por los distintos órganos de las administraciones públicas».

- **Artículo 14 bis. Limitaciones a los usos del suelo en zona inundables.**

Con el objeto de garantizar la seguridad de las personas y bienes, de conformidad con lo previsto en el artículo 11.3 del TRLA, y sin perjuicio de las normas complementarias que puedan establecer las comunidades autónomas, se establecen las siguientes limitaciones en los usos del suelo en la zona inundable:

1. Las nuevas actividades, edificaciones y usos asociados en aquellos suelos que se encuentren en situación básica de suelo rural a 30 de diciembre de 2016 se realizarán, en la medida de lo posible, fuera de las zonas inundables.

En aquellos casos en los que no sea posible, se estará a lo que al respecto establezcan, en su caso, las normativas de las comunidades autónomas, teniendo en cuenta lo siguiente:

a) Las instalaciones y edificaciones se diseñarán teniendo en cuenta el riesgo de inundación existente y los nuevos usos residenciales se dispondrán a una cota tal que no se vean afectados por la avenida con periodo de retorno de 500 años, debiendo diseñarse teniendo en cuenta el riesgo y el tipo de inundación existente. Podrán disponer de garajes subterráneos y sótanos, siempre que se garantice la estanqueidad del recinto para la avenida de 500 años de período de retorno, se realicen estudios específicos para evitar el colapso de las edificaciones, todo ello teniendo en cuenta la carga sólida transportada, y además se disponga de respiraderos y vías de evacuación por encima de la cota de dicha avenida. Se deberá tener en cuenta su accesibilidad en situación de emergencia por inundaciones.

b) Se evitará el establecimiento de servicios o equipamientos sensibles o infraestructuras públicas esenciales tales como, hospitales, centros escolares o sanitarios, residencias de personas mayores o de personas con discapacidad, centros deportivos o grandes superficies comerciales donde puedan darse grandes aglomeraciones de población, acampadas, zonas destinadas al alojamiento en los campings y edificios de usos vinculados, parques de bomberos, centros penitenciarios, depuradoras, instalaciones de los servicios de Protección Civil, o similares. Excepcionalmente, cuando tras el correspondiente estudio, se certifique por las administraciones competentes en ordenación del territorio y urbanismo que no existe otra alternativa de ubicación, se podrá permitir su establecimiento, siempre que se cumpla lo establecido en el apartado anterior y se asegure su accesibilidad en situación de emergencia por inundaciones.

2. En aquellos suelos que se encuentren a 30 de diciembre de 2016, en la situación básica de suelo urbanizado, podrá permitirse la construcción de nuevas edificaciones, teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, lo establecido en las letras a) y b) del apartado 1.

3. Para los supuestos anteriores, y para las edificaciones ya existentes, las administraciones competentes fomentarán la adopción de medidas de disminución de la vulnerabilidad y autoprotección, todo ello de acuerdo con lo establecido en la Ley 17/2015, de 9 de julio, y la normativa de las comunidades autónomas. Asimismo, el promotor deberá suscribir una declaración responsable sobre el riesgo de inundación existente en la que exprese claramente que conoce y asume el riesgo existente y las medidas de protección civil aplicables al caso, comprometiéndose a trasladar esa información a los posibles afectados, con independencia de las medidas complementarias que estime oportuno adoptar para su protección. Esta declaración responsable deberá estar integrada, en su caso, en la documentación del expediente de autorización. En los casos en que no haya estado incluida en un expediente de autorización de la administración hidráulica, deberá presentarse ante ésta con una antelación mínima de un mes antes del inicio de la actividad.

4. Además de lo establecido en el apartado anterior, con carácter previo al inicio de las obras, el promotor deberá disponer del certificado del Registro de la Propiedad en el que se acredite que existe anotación registral indicando que la construcción se encuentra en zona inundable.

5. En relación con las zonas inundables, se distinguirá entre aquéllas que están incluidas dentro de la zona de policía que define el artículo 6.1.b) del TRLA, en la que la ejecución de cualquier obra o trabajo precisará autorización administrativa o declaración responsable de los organismos de cuenca de acuerdo con el artículo 9.4 de este reglamento, de aquellas otras zonas inundables situadas fuera de dicha zona de policía, en las que las actividades serán autorizadas por la administración competente con sujeción, al menos, a las limitaciones de uso que se establecen en este artículo, y al informe que emitirá con carácter previo la administración hidráulica de conformidad con el artículo 25.4 del TRLA, a menos que el correspondiente Plan de Ordenación Urbana, otras figuras de ordenamiento urbanístico o planes de obras de la administración,.

#B. CARACTERIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO

1.- Objeto del Estudio

El presente estudio tiene como objeto establecer el cálculo de los caudales para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años para una vez conocido el caudal, calcular la inundabilidad a su paso por la zona de estudio para los periodos anteriormente mencionado.

Para ello se realizará hidrológico y un estudio hidráulico de la zona de estudio, siendo para este proyecto la Confederación Hidrográfica el Duero

La caracterización hidrometeorológica se compondrá de un estudio de la información disponible sobre precipitaciones máximas diarias (o infra diarias si disponibles) e intensidades de lluvia para diferentes escenarios, umbral de escorrentía, y factor de torrencialidad.

Con el modelo hidráulico, se pretende conocer el comportamiento sobre el terreno de los valores de lluvia/caudal calculados en la modelización hidrológica. Las dos variables fundamentales a conocer son el calado y la velocidad, puesto que se utilizarán a posteriori para el cálculo de la peligrosidad y el riesgo de las inundaciones pluviales. De esta forma, se determina la magnitud del evento, asociada a una duración y periodo de retorno y, por otro lado, el volumen y la distribución temporal resultante de dicha magnitud.

1.1.- Descripción de la Zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra en el término municipal de Magaz de Pisuerga (Palencia), concretamente en el polígono 6, parcelas 19-10018-10021-20021.

Figura 1. Situación

Figura 2. Término Municipal

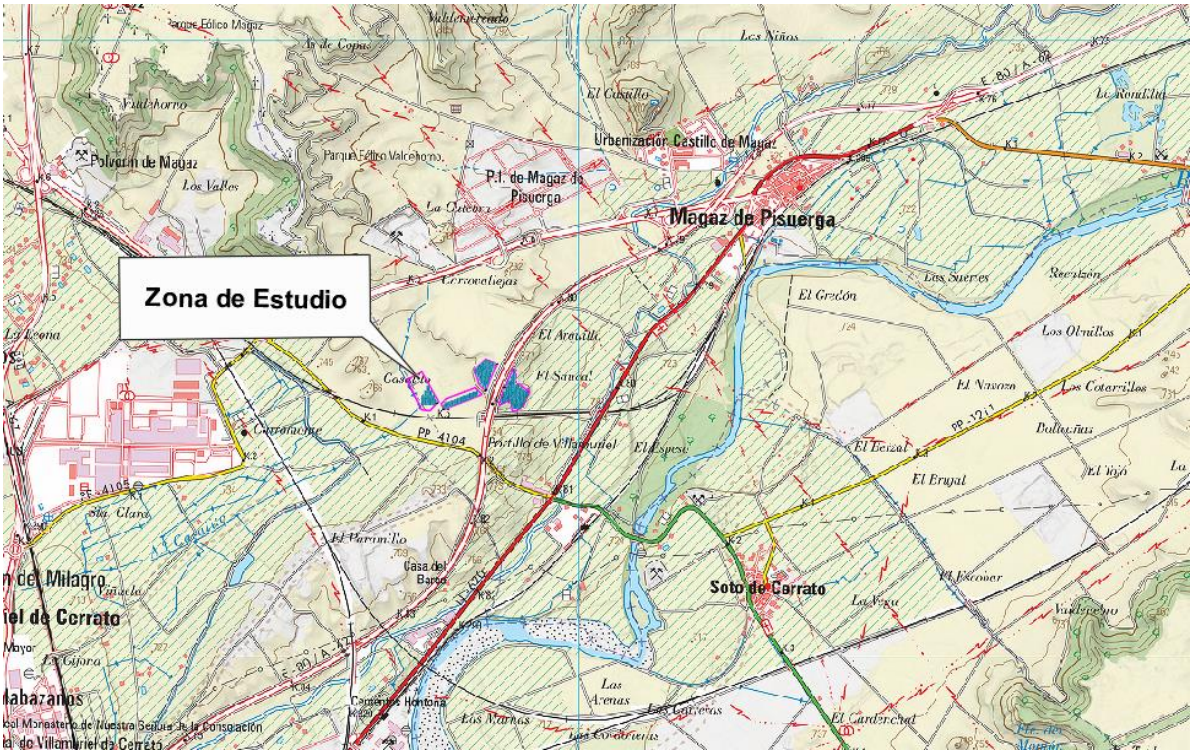


Figura 3. Zona de Estudio

1.2.- Zona Metodología de Aplicación.

TÉRMINO MUNICIPAL	POLÍGONO	PARCELA	RFA. CATASTRAL
MAGAZ DE PISUERGA	6	19	34098A006000190000OR
MAGAZ DE PISUERGA	6	10018	34098A006100180000OU
MAGAZ DE PISUERGA	6	10021	34098A006100210000OU
MAGAZ DE PISUERGA	6	20021	34098A006200210000OL

Tabla 1. Parcelas Zonas de Estudio

1.3.- Descripción Física

La parte septentrional de la provincia se encuentra delimitada, y notablemente influenciada, por la vertiente sur de la Cordillera Cantábrica,donde aparecen importantes elevaciones como Peña Prieta (2.536 m de altitud), peña Curavacas (2.521 m), Fuentes Carrionas (2.497 m), Espigüete (2.450 m), Valdecebollas (2.139m) y Peña Labra (2.018 m).

Al sur de la Cordillera Cantábrica se extienden los característicos páramos palentinos y las llanuras típicamente cerealistas de Tierra de Campos.

A nivel hidrológico destacan dos ríos que recorren la provincia y cuya influencia marca notablemente la organización del territorio. Estos ríos son el Pisuerga y el Carrión.

Por su importancia es igualmente destacable el Canal de Castilla. El río Pisuerga recorre la provincia de norte a sur, atravesando el Alto Campoo yelimitando la Tierra de Campos hacia el oeste. Sirve de barrera natural con la provincia de Burgos, hasta llegar a verter sus aguas al río Duero, ya en la provincia de Valladolid. Por su parte, el río Carrión nace en Fuentes Carrionas, al norte de la región y continúa su cuenca fluvial hacia el sur, pasando por los municipios de Guardo, Saldaña, Renedo y la ciudad de Palencia hasta unirse con el río Pisuerga en el término de Dueñas.

Los Espacios Naturales Protegidos más destacables de Palencia son el Parque Natural de las Fuentes Carrionas y Fuente Cobre-Montaña Palentina, y el Paraje Natural de la Laguna de la Nava.

Figura 4. Mapa de relieve e hidrografía.

1.4.- Hidrología

La cuenca del Duero ocupa la mayor parte de la provincia, con unos 7.996 km². Está formada por varios ríos que nacen en la Cordillera Cantábrica y que desembocan en el Duero, que hace de límite con la provincia de Zamora. Los ríos más importantes son el Pisuerga, el Carrión, el Boedo, el Valdavia y el Arlanza. Estos ríos tienen un régimen pluvio-nival, es decir, que sus caudales dependen de las lluvias y del deshielo de la nieve. Sus aguas se utilizan para el riego, el abastecimiento, la producción de energía hidroeléctrica y la pesca. En esta cuenca se encuentran varios embalses que regulan el caudal de los ríos y que almacenan agua para diversos usos. Los más destacados son el de Aguilar, el de Cervera, el de Requejada y el de Camporredondo. También se encuentra el Canal de Castilla, una obra hidráulica que se construyó entre los siglos XVIII y XIX para facilitar el transporte de mercancías, principalmente de cereales, desde las zonas productoras hasta los puertos del norte.

El canal tiene una longitud de 207 km y se divide en tres ramales: el del Norte, que va desde Alar del Rey hasta Ribas de Campos; el de Campos, que va desde Ribas de Campos hasta Medina de Rioseco; y el del Sur, que va desde El Serrón hasta Valladolid. El canal tiene una gran importancia histórica, cultural y paisajística, y actualmente se usa para el riego y el turismo. En esta cuenca también se localizan varias lagunas de origen endorreico, es decir, que no tienen salida al exterior y que se alimentan de las aguas subterráneas. Las más relevantes son la de Fuentes de Nava, la de La Nava de Fuentes y la de Fuentes Carrionas, que tienen un alto valor ecológico y que forman parte de la Red Natura 2000, un conjunto de espacios protegidos por la Unión Europea.

Además, hay numerosas fuentes, manantiales y pozos que aprovechan las aguas subterráneas, que se almacenan en acuíferos de diferentes tipos y profundidades. Algunas de estas aguas tienen propiedades minero-medicinales, como las de Bahillo, Velilla del Río Carrión y Villalafuente.

Figura 5. Red Hidrográfica Confederación Hidrográfica del Duero

1.5.- Edafología

Según la Taxonomía edafológica del USDA-NCRS, el grupo de suelos mayoritario es el Xerochrept incluido dentro del orden de los Inceptisoles que representa el 53,7% de la superficie total. En las cuencas fluviales de los principales ríos que discurren por tierras palentinas, fundamentalmente el Pisuerga y el Carrión, se forma la asociación de suelos del orden de los Entisoles del tipo Xerorthent+Xerofluvent (17,3% de la superficie total). Este tipo de suelo se desarrolla en forma de lenguas orientadas en dirección norte-sur. También se dan otros suelos cuya presencia no es tan notable, como es el caso del Xerorthent (7%) y el Ustochrept (7%). El primero es un Entisol margoso y arcilloso que se asienta en las comarcas Campos y Saldaña-Valdavia. El segundo es de similares características al Xerochrept aunque asociado a zonas más húmedas y aparece en el extremo más septentrional. En la zona de transición entre las comarcas Guardo y Saldaña-Valdavia se concentran otros suelos minoritarios como el Haploxeralf y Xerumbrept, cuyas superficies ocupan el 3,5% y 3,4%, respectivamente.

Las características principales de los suelos predominantes son las siguientes:

• Xerochrept: son suelos profundos (100-150 cm). Presentan un bajo contenido en materia orgánica, su pH es ligeramente ácido y la textura es franco-arenosa.

• Xerorthent: son moderadamente básicos pero algunos son ácidos. Tienen un contenido en materia orgánica medio. Son, en general, suelos profundos y su textura es franca o arcillosa.

• Xerofluvent: son suelos profundos (100-150 cm). Presentan un contenido medio en materia orgánica, su pH es ligeramente ácido y la textura es franco-arenosa.

• Ustochrept: son suelos moderadamente básicos. Presentan poco contenido en materia orgánica. Tienen una profundidad media (50-100 cm) y su textura es francoarcillosa.

• Haploxeralf: son suelos profundos (100-150 cm). El pH es ligeramente neutro. Presentan poca materia orgánica y la textura es franco-arcillo-arenosa.

• Xerumbrept: son los Umbrepts de climas mediterráneos. Son suelos profundos (100-150 cm). Ricos en materia orgánica. Son moderadamente ácidos. Textura franco-arcillosa.

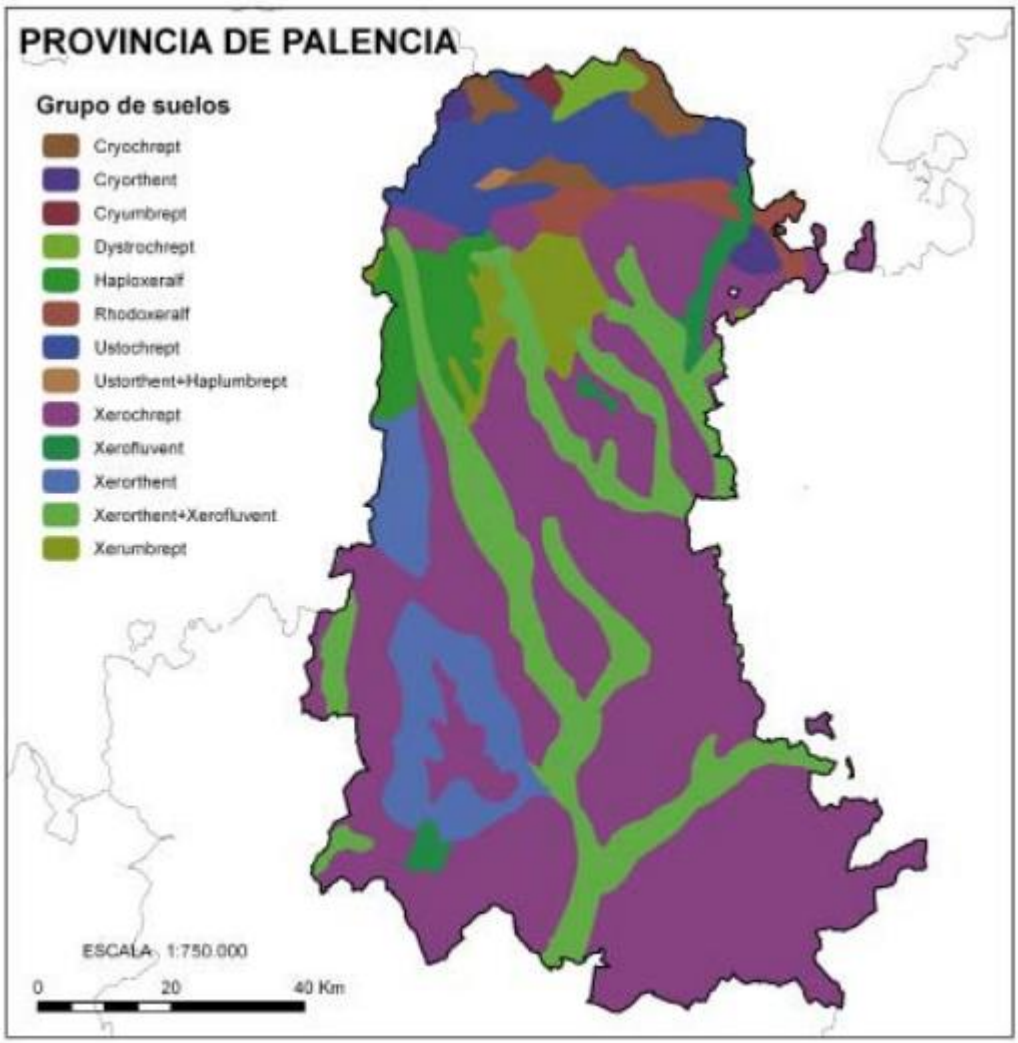


Figura 6. Mapa de Edafología

1.6.- Climatología

El clima de la provincia es claramente continental, con máximas que descienden en función de la altitud en la parte septentrional de la provincia palentina, donde también se registra la mayor pluviosidad. A medida que se desciende por el páramo hacia la campiña meridional, la pluviosidad desciende a unos 400 mm al año.

Los datos climáticos de las 84 estaciones pluviométricas (23 de ellas termopluviométricas) repartidas por toda la provincia, a las que el MAGRAMA tiene acceso, se exponen en las Comarcas Agrarias correspondientes, y proporcionan los datos referidos a la serie de años de 1960-1996. Según el resumen de estos valores, la precipitación anual media para toda la provincia es de 655,5 mm, siendo concretamente la estación de Lores la que presenta un mayor valor (1.174,3 mm). La pluviometría máxima en 24 h está registrada en la estación de La Lastra con 73,9 mm. En lo que a la temperatura se refiere, dichas estaciones arrojan una temperatura media anual de 9,9 ºC. El mes más cálido es julio con una temperatura media de 18,6 ºC y el más frío enero, con 2,4 ºC. La temperatura media mensual de mínimas absolutas registrada en la estación de San Juan de Redondo es de -17,3 ºC, mientras que la media de las mínimas del mes más frío tiene un valor de -5,9 ºC en la estación de Orbo "Barrio de Vallejo". La temperatura media de máximas del mes más cálido obtenida en la estación de Palencia "Esc. Capataces" es de 30,5 ºC.

Para evaluar las posibilidades de los diferentes cultivos de secano de una zona se puede acudir a la clasificación agroclimática de J. Papadakis que se detalla en el Anexo III, la cual establece en función del rigor invernal (tipo de invierno), calor estival (tipo de verano) y la aridez y su variación estacional, zonas aptas para determinados cultivos "tipo". Para ello se basa exclusivamente en los parámetros meteorológicos anteriormente comentados: temperatura media de las máximas, temperatura media de las mínimas, temperatura media de las mínimas absolutas y la precipitación mensual.

De esta forma y según dicha ecología de los cultivos, la provincia de Palencia cuenta con 3 tipos climáticos: Mediterráneo templado, Mediterráneo templado fresco y Marítimo fresco. El tipo climático que domina es el Mediterráneo templado, que abarca más de la mitad sur de la región, mientras que el norte, correspondiéndose con la zona más montañosa de la provincia, se caracteriza con el tipo Mediterráneo templado fresco. En el área situada más al norte provincial destaca el tipo Marítimo fresco. En la provincia de Palencia, el tipo de verano predominante es el Maíz coincidiendo con las zonas de Mediterráneo templado, mientras que el tipo Polar cálido-taiga abarca el norte de la región. También existe una importante franja de Triticum menos cálido situada entre los dos tipos anteriores, dispuesta

hacia el norte provincial. El invierno es de tipo Avena fresco en casi la totalidad del territorio excepto en las áreas situadas más al norte de la provincia palentina, donde es característico el tipo Trigo-avena.

El régimen de humedad predominante es el Mediterráneo húmedo con una amplia zona de Mediterráneo seco que se localiza en el sur palentino. La misma zona caracterizada por el tipo climático Patagoniano húmedo se define también por un régimen de humedad del tipo Húmedo.

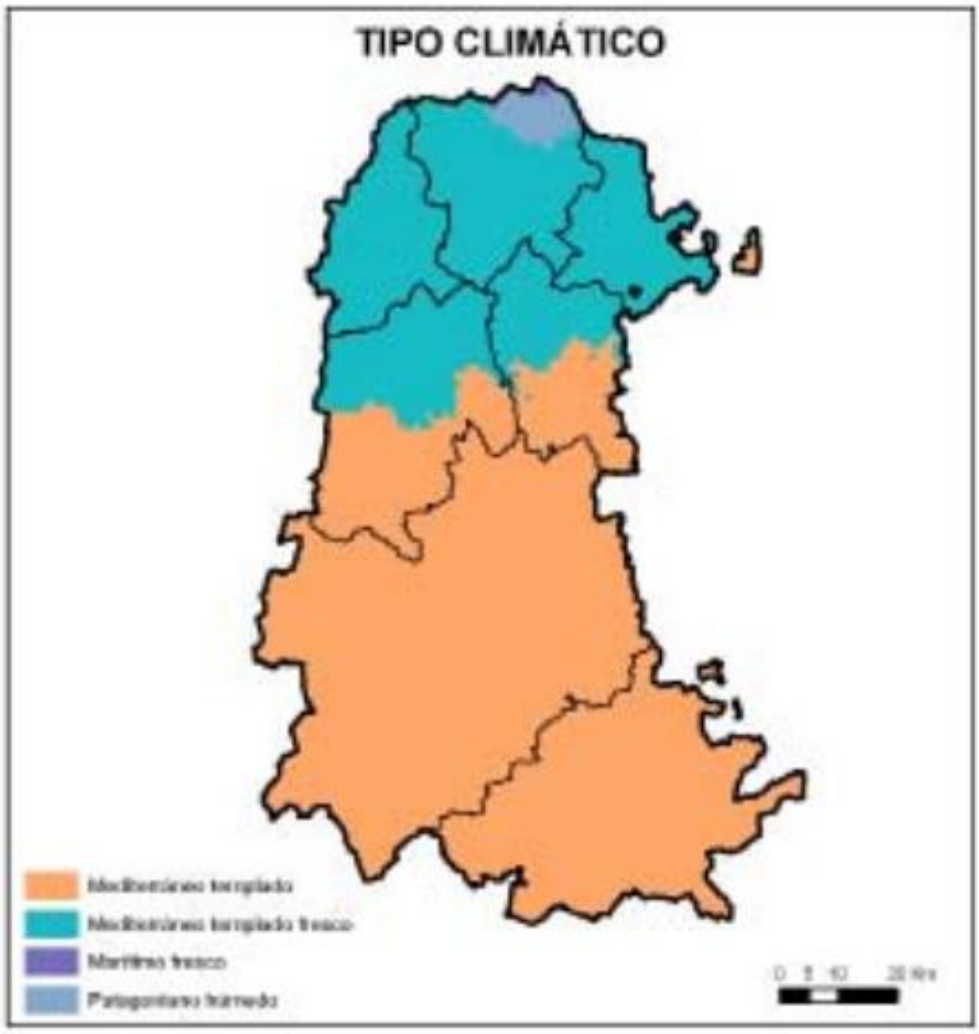


Figura 7. Clasificación Agroclimática de Papadakis

1.7.- Geología

La parte septentrional de la provincia se originó gracias a los plegamientos hercinianos producidos en la era Primaria. Estos plegamientos fueron arrasados, para posteriormente elevarse de nuevo en los plegamientos alpinos ocurridos en la era Terciaria, los cuales alzaron a su vez la cobertera de calizas

secundarias de la parte superior. Estos últimos plegamientos también originaron una falla longitudinal al sur de esta zona montañosa, dando lugar a un piedemonte serrano que deja paso a la planicie meseteña. Encima de la depresión que se formó en esta planicie, se fueron acumulando espesos depósitos finos en régimen lacustre, donde la parte superior está compuesta de materiales calizos mientras que en la zona inferior se sitúan las arcillas. Los cursos fluviales procedentes de esta zona, como es el caso del Carrión, Valdavia, Boedo y Pisuerga, forman altas mesas con crestones de cuarcitas o páramos entre ellos provocados al producirse el encajonamiento del río en la caliza. Una vez pasado el curso alto, en la parte sur, el caparazón calcáreo ha desaparecido casi en su totalidad y los ríos forman valles más extensos sobre el tramo inferior de las arcillas, consiguiendo que toda la parte meridional palentina esté dominada por la campiña. Principalmente la campiña se compone de algunos resaltes calcáreos y de los cerros testigos.

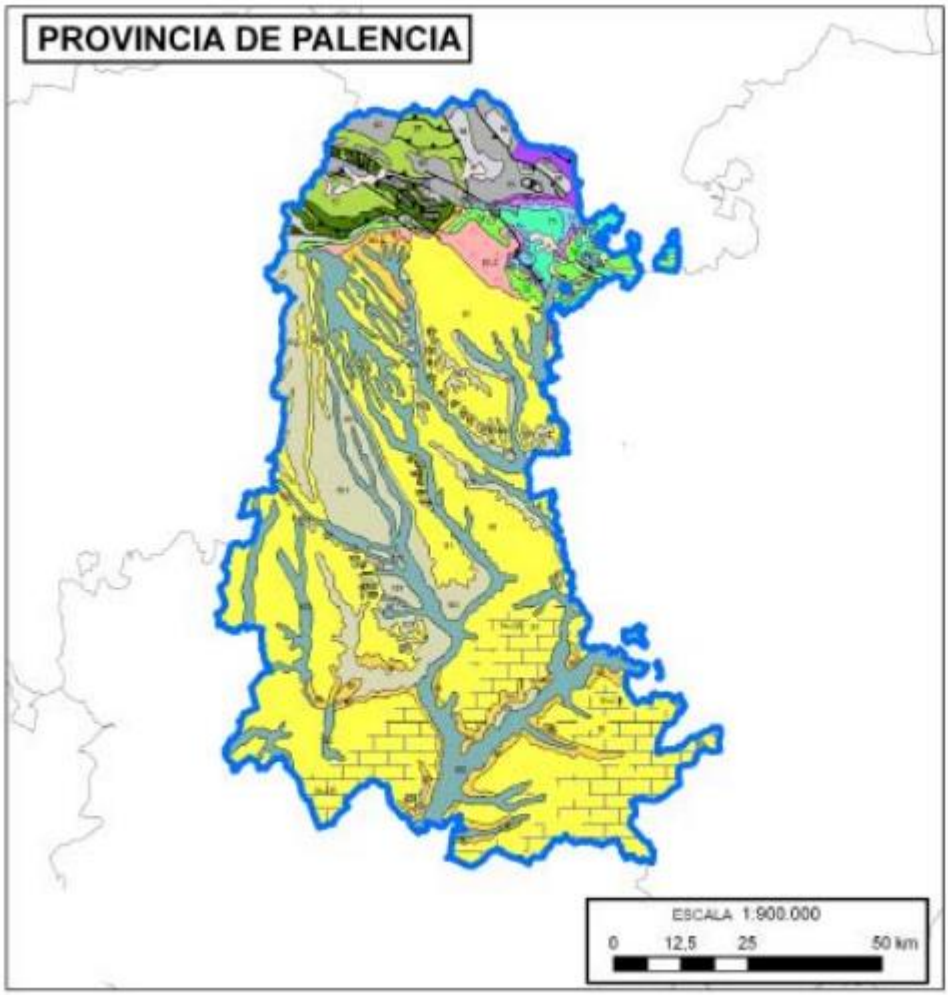


Figura 8. Mapa de Geológico Provincia de Palencia.

#C. ESTUDIO HIDROLÓGICO

1.- Cálculo de las Cuencas de Estudio

Para el estudio hidráulico se han estudiado las cuencas aportantes de la red fluvial que puede influir en la zona de estudio.

A continuación, pasamos a obtener los caudales de los periodos de retornos de estudio (10, 100 y 500 años) a través d La Norma 5.2-IC Drenaje Superficial publicada por el Ministerio de Fomento, en su versión más reciente del año 2016 (aprobada por la Orden FOM/298/2016).

1.1.- Datos

1. Ortofotos

Primeramente, seleccionaremos las ortofotos necesarias de la zona de estudio. En la sección de descarga del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en la dirección www.ign.es, haremos clic en búsqueda avanzada y seleccionaremos ortofotos PNOA Máxima Actualidad, y elegiremos la foto que nos interese, para nuestro caso se han utilizado una ortofoto en formato ECW:

DENOMINACIÓN ARCHIVOS
PNOA_MA_OF_ETRS89_HU30_h25_0312_1.tif

Tabla 2. Archivos Ortofotos IGN

Figura 9. Ortofoto PNOA Máxima Actualidad (IGN)

2. Modelos Digitales del Terreno.

Para la elaboración de la cuenca se necesita un Modelo digital del terreno, en adelante MDT, con la suficiente superficie para obtener las cuencas de estudios.

Para la obtención de las cuencas de estudios se ha utilizado el siguiente MDT.

- **Modelo Digital del Terreno – MDT02**

Este modelo pertenece al instituto Geográfico Nacional (IGN) y cuenta con las siguientes características:

Descripción: modelo digital del terreno 2ª Cobertura (2015-Actualidad) con paso de malla de 2 m. Cobertura por completar.

SGR: ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84). Proyección UTM en el huso correspondiente. Alturas ortométricas.

Ud. descarga: hojas del MTN25

Formato: COG (Cloud Optimized GeoTIFF)

Figura 10. Modelo Digital Terreno-MDT02 (IGN)

Para la elaboración del MDT se ha utilizado el siguiente archivo.

DENOMINACIÓN ARCHIVOS
MDT02-ETRS89-HU30-0312-1-COB2.tif

Tabla 3. Archivos MDT-05 IGN

1.2.- Definición de las Cuencas de Estudio

A continuación, se va enumerar y a ilustrar los pasos (los más representativos), que habrá que seguir para la determinación de las cuencas de estudio:

• Incorporación del MDT05 en ArcGIS descargado y descrito con anterioridad.

• Relleno del Modelo Digital del Terreno, evitando de esta manera, posibles errores en los datos, que nos darían lugar a sumideros y otros defectos de diferente índole.

1. Tratamiento de datos

1.1. *Transformación ASC a Ráster*

Una vez descargados los MDT05 del IGN en formato ASC, se procede a la conversión del mismo a un formato Ráster para su posterior tratamiento. Para ello se utiliza la Herramienta ArcToolbox que incluye el programa, obteniendo así un modelo Ráster del Terreno.

Figura 11. Archivo Ráster.

1.2. *Obtención Red Drenaje y Cuencas de Estudios*

Una vez obtenido el archivo Ráster realizaremos las siguientes acciones a través de la herramienta de hidrología que posee el programa ArcMap.

- Fill (Relleno): Se crea un archivo para corregir los posibles errores que normalmente contiene el Modelo Digital de Elevaciones (MDT). Al realizar esta acción conseguimos corregir las depresiones existentes en el MDT.

- Dirección de Flujo: Con este paso averiguaremos cuáles son las direcciones del flujo que seguirá el agua, todo ello a nivel de celda, por la cuenca.
- Acumulación de Flujo: Con este archivo crearemos obtendremos la acumulación de agua para obtener la red de drenaje.

Se ha realizado el estudio de las redes marcadas como Dominio Público Hidráulico y no de las privativas para ver la influencia de la mismas en la implantación de la Planta Solar Fotovoltaica.

Para la comprobación de las redes hidráulicas se han tenido en cuenta los siguientes visores:

- Instituto Geográfico Nacional (IGN). https://www.ign.es/web/ign/portal
  IGR Hidrografía. https://visor-hidrografia.ign.es/hidrografia/
- Sistema Nacional Cartografía Zonas Inundables.(SNCZI). https://sig.mapama.gob.es/snczi/
- Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades.
  https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/lineav2/web/
- Visor planes hidrológicos de la Confederación Hidrográfica del Duero.
  https://mirame.chduero.es/chduero/public/home

Tras la consulta de todos los organismo, se ha encontrado un solo arroyo que puede afectar la zona de estudio denominado como Arroyo Casalito y es sobre el que centraremos nuestro estudio hidrológico e hidráulico.

1.3. *Cuencas de Estudio*

Para la zona de estudio hemos identificados cinco cuencas con sus sendas redes de drenaje que son las posibles redes potenciales de afectar a las parcelas de la zona de estudio.

A continuación, se muestran los datos de cada una de las cuencas hidrológicas que se van a estudiar.

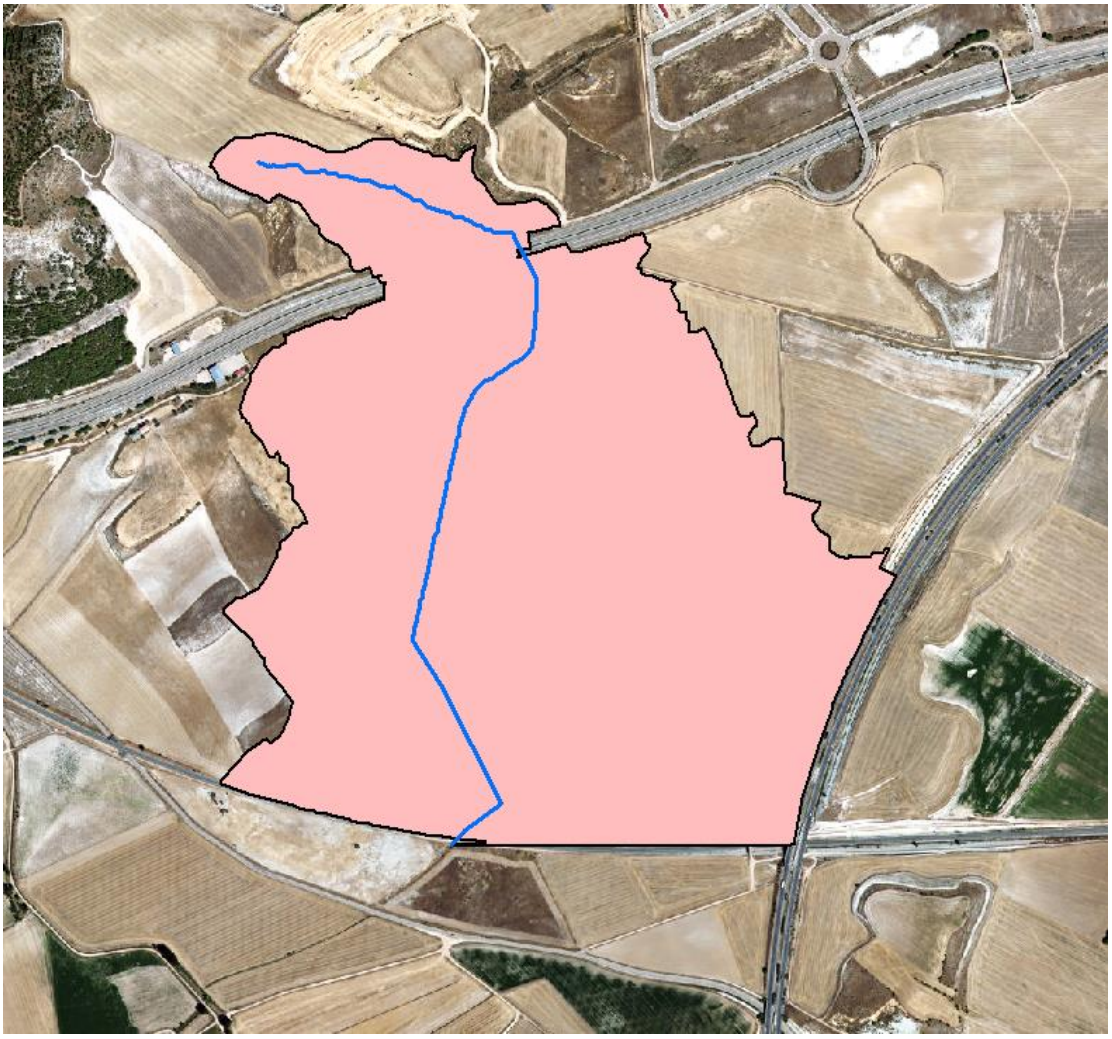


Figura 12. Cuencas Conjunta zona de Estudio

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS CUENCA DE ESTUDIO. CUENCA DE ESTUDIO	
Superficie	1.137Km²
Longitud Red Drenaje	1853,834 km
Punto Alto	795,119 m
Punto Bajo	743.520 m
Pendiente Media del Tramo	2.78 %

Tabla 4. Características Físicas Cuenca 1

2.- Cálculo del Caudal en la Cuenca de Estudio

En el presente apartado se va a proceder a realizar el cálculo del caudal máximo aportado por la cuenca para los periodos de retornos de estudios, en este caso para T 10, 100 y 500 años.

2.1.- Método de Cálculo

Para la obtención del caudal máximo circulante por los cursos fluviales, se procederá a seguir las directrices marcadas en la Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero, por la que se establece la nueva Instrucción de carreteras 5.2-IC "Drenaje Superficial".

En dicha instrucción nos indica la metodología para la obtención de los caudales asociados a distintos periodos de retornos, dependiente del tamaño y naturaleza de las cuencas.

Así de este modo nos establece que:

En cuencas de área inferiores a cincuenta kilómetros cuadrados (A < 50 Km2):

- Utilización de datos sobre caudales máximos proporcionados por la Administración Hidráulica.

- Si la Administración Hidráulica no dispone de datos sobre caudales máximos se debe aplicar el método racional.

En cuencas de áreas superiores o igual a cincuenta kilómetros cuadrados (A > 50 Km2):

- Cuando existan estaciones de aforo próximas, que se consideren suficientemente representativas, se utilizará el método estadístico.

- Cuando los caudales no puedan estimarse a partir de estaciones de aforo, se debe aplicar los métodos hidrológicos adecuados a las características de la cuenca, que se deben contractar con la información de que se disponga sobre caudales de avenidas. En la realización de estos estudios se tendrán en cuenta la información disponible sobre avenidas históricas o grandes eventos de precipitación.

A continuación, se aprecia un esquema resumen de lo descrito anteriormente.

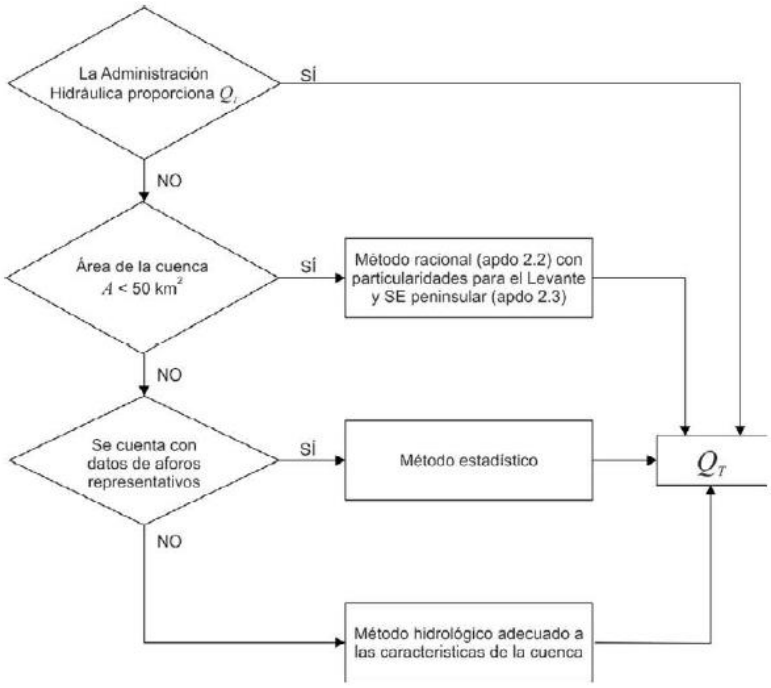


Figura 13. Cuadro resumen de metodología de obtención de caudales

Con lo mencionado en el párrafo anterior y aplicado a nuestra zona de estudio, y al disponer de cuencas de área inferior a 50 km2, debemos aplicar el Método Racional.

2.2.- Cálculo de las Precipitaciones Máximas Diarias

Al no disponer de ninguna estación de aforo en la zona de estudio, como de ninguna estación meteorológica que contenga información representativa, se ha optado por la utilización del "Mapa de máximas lluvias diarias en la España peninsular, del Ministerio de Fomento".

El mapa representa dos familias de líneas que definen el valor medio de la ley de frecuencias de máximas precipitaciones diarias puntuales (Pm) y el coeficiente de variación Cv de dicha ley.

La siguiente imagen reproduce un fragmento de la casilla **"3-2. BURGOS",** correspondiente a la zona donde se ubica el presente proyecto.

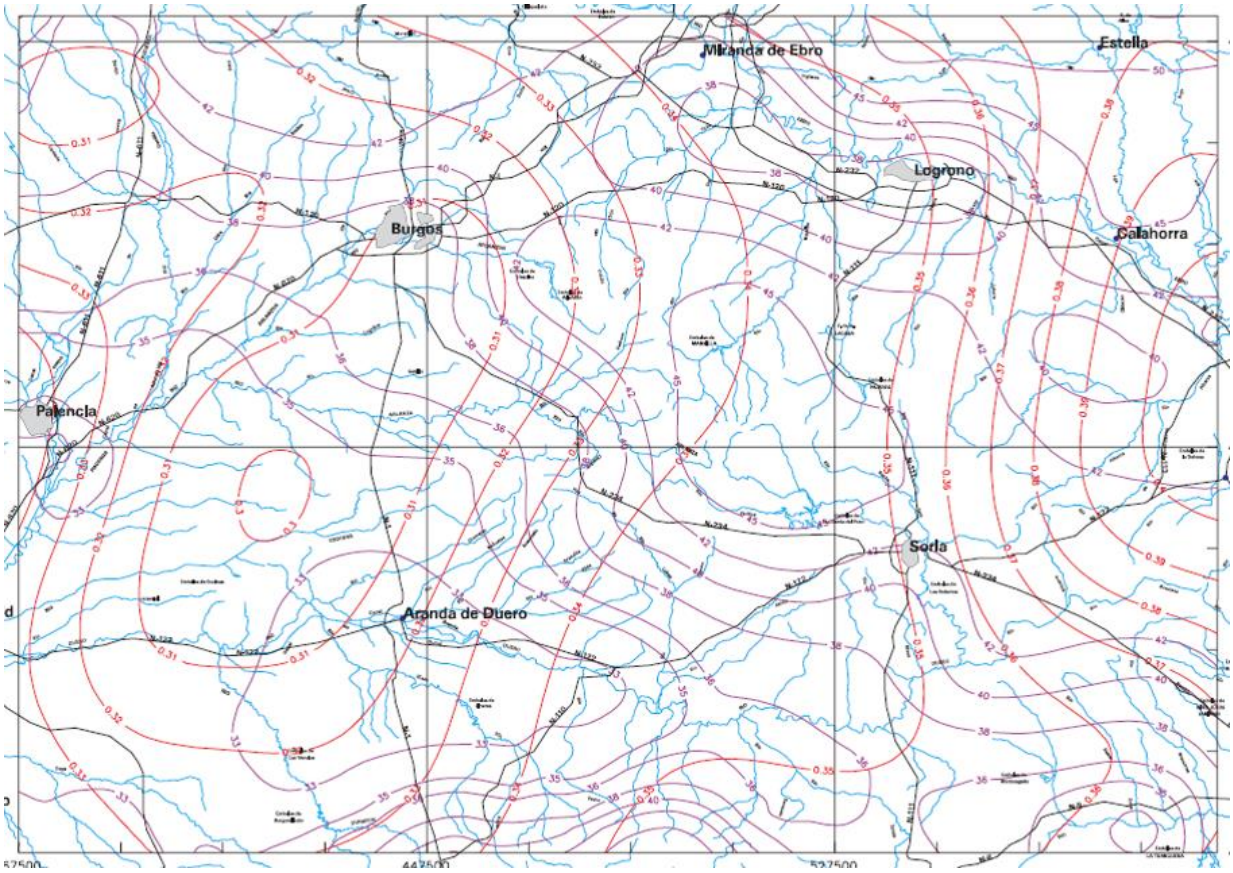


Figura 14. Mapa de Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular

El parámetro CV permite determinar el factor KT, función de CV y T, que multiplicado por el valor medio P, da como resultado la precipitación máxima diaria asociada a cada período de retorno T.

Para nuestro caso se han determinado un valor **de CV = 0,34** y un valor medio de precipitaciones de **33 mm.**

2.3.- Método Racional

1. Fórmula General de Cálculo

Siguiendo el método racional, el caudal máximo anual QT, correspondiente a un período de retorno T, se calcula mediante la fórmula:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

Donde:

QT (m3/s) = Caudal máximo anual correspondiente al período de retorno T, en el punto de desagüe de la cuenca.

I(T,tc) (mm/h) = Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno considerado T, para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración tc, de la cuenca.

C (adimensional) = Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada.

A (Km2) = Área de la cuenca o superficie considerada.

Kt (adimensional) = Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

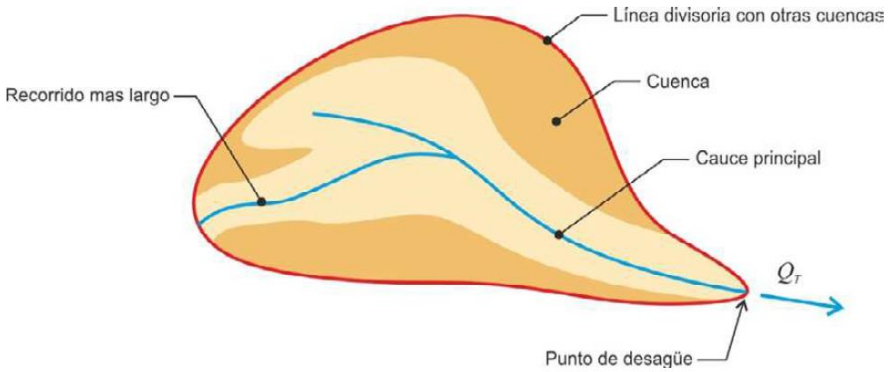


Figura 15. Esquema de cuenca por el Método Racional

2. Cálculo del Tiempo de Concentración

Se entiende por tiempo de concentración el tiempo que tarda en llegar al punto considerado, la gota de agua caída en el punto más desfavorable de la cuenca. En el caso normal de cuencas en las que predomine el tiempo de recorrido del flujo canalizado por una red de cauces definidos, el tiempo de concentración relacionado con la intensidad media de la precipitación se podrá deducir de la fórmula siguiente

Las diversas metodologías existentes para determinar el tiempo de concentración de una cuenca a partir de sus parámetros morfométricos han sido determinadas a partir de ajustes empíricos de registros hidrológicos.

El tiempo de concentración de la cuenca es muy importante porque en los modelos lluvia-escorrentía, la duración de la lluvia se asume igual al tiempo de concentración de la cuenca, puesto que es para esta duración cuando la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera que se presenten los caudales máximos. Las diversas metodologías existentes para determinar el tiempo ajustes empíricos de registros hidrológicos.

Debido a las diferentes formas como fueron concebidas estas expresiones, la variabilidad de los resultados entre una y otra puede ser bastante alta, razón por la cual el criterio del analista juega un papel fundamental en la definición del tiempo de concentración de una determinada cuenca.

Instrucción 5.2 I.C. Drenaje Superficial Instrucción Carreteras

tc: Tiempo de concentración en horas,

Lc: Longitud del cauce principal en kilómetros,

Jc: Pendiente media del cauce.

$$t_c = 0{,}3 \cdot L_c^{\,0{,}76} \cdot J_c^{\,-0{,}19}$$

Williams

A: área de la cuenca en millas cuadradas,

L: distancia en línea recta desde el sitio de interés al punto más alto en millas.

So: diferencia de cotas entre los puntos más extremos divida por L en porcentaje,

d: diámetro de una cuenca circular con área A en millas.

$$Tc = \frac{L\,A^{0.4}}{DS_o^{0.2}}$$

Kirpich

Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%).

L: longitud desde la estación de aforo hasta la divisoria siguiendo en cauce principal en kilómetros.

So: diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente en m/m.

$$Tc = 0.066\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$$

California Culverts Practice

Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.

L = longitud del curso de agua más largo (m),

H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m).

$$t_c = 0.0195\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Giandotti

Tc= tiempo de concentración (horas)

S= área de la cuenca (km2)

L= longitud del cauce principal (km)

i= elevación media de la cuenca o diferencia de nivel principal (m).

$$T_c = \frac{4\sqrt{S}+1.5L}{0.8\sqrt{H}}, \text{ Siempre que } \frac{L}{3600} \geq T_c \geq \frac{L}{3600+1.5}$$

Ecuación de retardo SCS

Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800 Ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a

la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que tc = 1.67 x retardo de la cuenca.

L = longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo (m),

CN = Número de curva SCS,

S = pendiente promedio de la cuenca (m/m).

$$t_c = \frac{0.0136.L^{0.8}\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}}$$

Ventura-Heras

tc= tiempo de concentración (horas), i= pendiente media del cauce principal (%), S= área de la cuenca (km2), L= longitud del cauce principal (km), a= alejamiento medio

$$T_c = a\frac{S^{0.5}}{i}, \text{ Siendo } 0.05 \leq a \leq 0.5$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}}$$

Bransby-Williams

T= tiempo de concentración (horas), L= distancia máxima a la salida (km), D= diámetro del círculo de área equivalente a la superficie de la cuenca (km2), M= área de la cuenca (km2), F= pendiente media del cauce principal (%)

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{L}}{1{,}5\ \mathrm{D}}\sqrt[5]{\frac{\mathrm{M}^2}{\mathrm{F}}}$$

Passini

tc= tiempo de concentración (horas), i= pendiente media del cauce principal (%), S= área de la cuenca (km2), L= longitud del cauce principal (km), a= alejamiento medio

$$T_c = a\frac{(SL)^{1/3}}{i^{0.5}}, \text{ Siendo } 0.04 \le a \le 0.13$$

$$a = \frac{L}{\sqrt{S}}$$

Izzard

Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y Áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 3800.

i = intensidad de lluvia (mm/h), c = coeficiente de retardo, L = longitud de la trayectoria de flujo (m), S = pendiente de la trayectoria de flujo (m/m).

$$t_c = \frac{525.(0.0000276.i + c).L^{0.33}}{S^{0.333}.i^{0.667}}$$

Federal Aviation Administration

Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers: el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.

C = coeficiente de escorrentía del método racional,

L = longitud del flujo superficial (m),

S = pendiente media del tramo

$$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C) L^{0.50}}{S^{0.333}}$$

Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley, Aron y Erborge

Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto I (Intensidad de lluvia) como Tc son desconocidos, la superposición de una curva de intensidad – duración – frecuencia da una solución gráfica directa para Tc

L = longitud del flujo superficial (m), n = coeficiente de rugosidad de Manning, I = intensidad de lluvia, mm/h, S = pendiente promedio del terreno (m/m).

$$t_c = \frac{7 . L^{0.6} . n^{0.6}}{I^{0.4} . S^{0.3}}$$

De todos los tiempos de concentración expuestos el que se adecua mejor a las características de la zona de estudio es el método de la Instrucción 5.2 I.C. Drenaje Superficial Instrucción Carreteras

$$t_c = 0{,}3 \cdot L_c^{\,0{,}76} \cdot J_c^{\,-0{,}19}$$

Para la aplicación de la fórmula necesitaremos la longitud del tramo de río y la pendiente del mismo, datos ya obtenidos.

Consultar valores de tiempo de concentración en el anejo de cálculos.

3. Intensidad de Precipitación

Se La intensidad de precipitación I (T,t) correspondiente a un período de retorno T, y a una duración del aguacero t, a emplear en la estimación de caudales por el método racional, la obtenemos mediante la siguiente fórmula:

$$I(T,t) = I_d \cdot F_{int}$$

Donde:

Id (mm/h) = Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T.

Fint (adimensional) = Factor de intensidad.

La intensidad de precipitación a considerar en el cálculo del caudal máximo anual para el período de retorno T, en el punto de desagüe de la cuenca QT, es la que corresponde a una duración del aguacero igual al tiempo de concentración (t = tc) de dicha cuenca.

Intensidad media diaria.

Las Intensidades de lluvia a partir de las Precipitaciones máximas diarias Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma serían las siguientes:

$$I = \frac{P\ [mm]}{t_{duración}\ [hr]}$$

Consultar tabla de intensidad media diaria en anejo de cálculos.

Factor reductor (KA) de la precipitación por área de la cuenca

El factor reductor de la precipitación por área de la cuenca KA, tiene en cuenta la no simultaneidad de la lluvia en toda su superficie. Se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$\text{Si } A < 1\ km^2 \qquad K_A = 1$$

$$\text{Si } A \geq 1\ km^2 \qquad K_A = 1 - \frac{\log_{10} A}{15}$$

En nuestro caso, y para cada una de las cuencas obtendremos el siguiente valor de KA. para cada una de las cuencas.

Consultar valores de factor reductor por área de las cuencas en el anejo de cálculos.

Intensidad media diaria de precipitación corregidas (Id).

La intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T, se obtiene mediante la fórmula.

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24}$$

Donde:

Pd = Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T (mm).

KA = Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca (adimensional).

Consultar tablas de intensidad media diaria y corregidas en anejo de cálculos.

Factor de intensidad Fint.

Según la definición de la Normativa, el factor de intensidad introduce la torrencialidad de la lluvia en el área de estudio y depende de:

- La duración del aguacero t.

- El período de retorno T, si se dispone de curvas intensidad – duración - frecuencia (IDF) aceptadas por la Dirección General de Carreteras, en un pluviógrafo situado en el entorno de la zona de estudio que pueda considerarse representativo de su comportamiento.

Se tomará el mayor valor de los obtenidos de entre los que se indican a continuación:

$$F_{int} = máx(F_a, F_b)$$

Donde:

- Fa (adimensional) = Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I1/Id.).

- Fb (adimensional) = Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo.

a) Obtención de Fa.

$$F_a = \left(\frac{I_I}{I_d}\right)^{3{,}5287-2{,}5287t^{0{,}1}}$$

Donde:

- Fa (adimensional): Factor obtenido a partir del índice de torrencialidad (I1/Id).

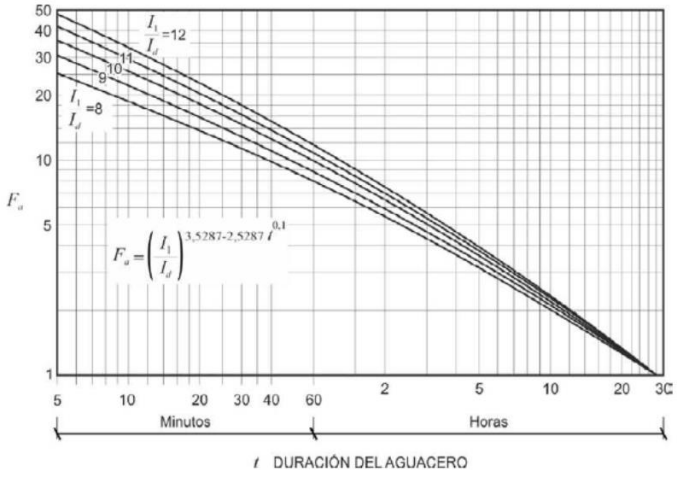


Figura 16. Factor F_a

- I1/Id (adimensional): Índice de torrencialidad que expresa la relación entre la intensidad de precipitación horaria y la media diaria corregida. Su valor se determina en función de la zona geográfica, a partir del siguiente mapa del Índice de Torrencialidad (I1/Id).

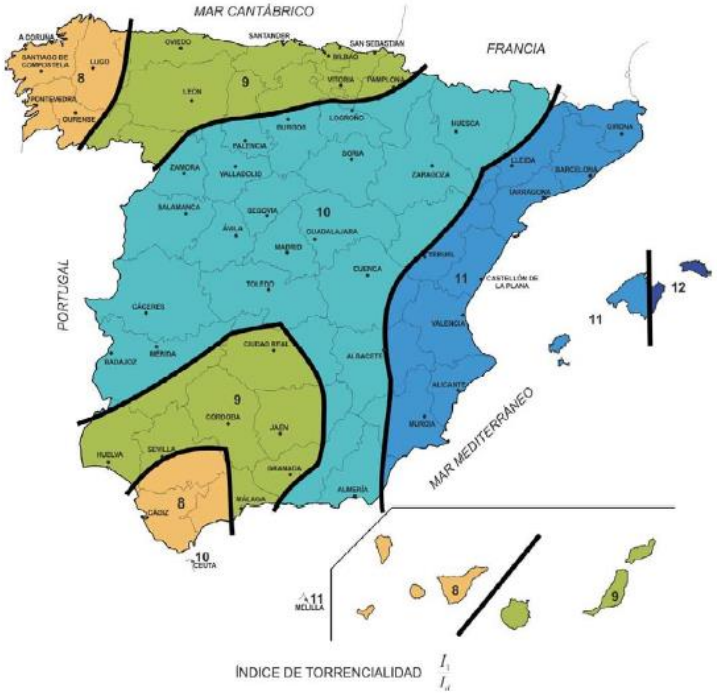


Figura 17. Mapa Índice de Torrencialidad

- t (horas): Duración del aguacero.

Para la obtención del factor F_a, se debe particularizar la expresión para un tiempo de duración del aguacero igual al tiempo de concentración (t=t_c).

En nuestro caso, el Índice de Torrencialidad (I1/Id) adquiere el **valor 8**

Considerando que se debe particularizar la expresión para que el tiempo de duración del aguacero sea igual al tiempo de concentración (t=t_c), obtenemos el siguiente valor.

Consultar valores de factor de reducción de la precipitación por área de la cuenca en el anejo de cálculos.

b) Obtención de Fb (adimensional): Factor obtenido a partir de las curvas IDF de un pluviógrafo próximo.

$$F_b = k_b \frac{I_{IDF}(T/t_c)}{I_{IDF}(T/24)}$$

Donde:

- IIDF (T,tc) (mm/h) = Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y al tiempo de concentración tc, obtenido a través de las curvas IDF del pluviógrafo "Figura 2.5 Obtención del factor Fb".

- IIDF (T,24) (mm/h) = Intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno T y a un tiempo de aguacero igual a veinticuatro horas (t=24), obtenido a través de curvas IDF "Figura 2.5 Obtención del factor Fb".

- kb (adimensional) = Factor que tiene en cuenta la relación entre la intensidad máxima anual en un período de veinticuatro horas y la intensidad máxima anual diaria. En defecto de un cálculo específico se puede tomar kb=1,13.

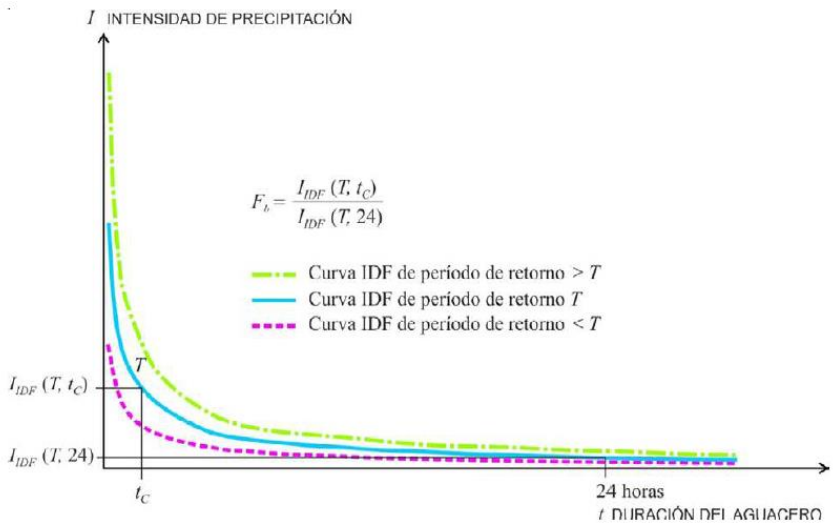


Figura 18. Obtención de Fb

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

El estudiar las precipitaciones y conocer su distribución temporal permite realizar los estudios de crecidas o proporcionar modelos precipitación-escorrentía, proporcionando una correcta información para realizar un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras civiles.

Para ello, es necesario conocer las intensidades de precipitación, para distintos períodos de retorno. La falta de la disponibilidad de registros de caudales, o la insuficiente duración de éstos, como para hacer los análisis de frecuencia requeridos, requiere utilizar la información pluviométrica de las estaciones distribuidas en las zonas de estudio.

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) permiten conocer el comportamiento de las precipitaciones a través de una curva que indica la intensidad media en función de la duración y la frecuencia, aportando así, patrones de conductas de las lluvias. Son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

Además, es importante considerar otras variables, como son la intensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia de un determinado evento. La intensidad, según Ven te Chow (1994), se define como la profundidad de precipitación, por unidad de tiempo (mm/hr):

$$i = \frac{P}{Td}$$

Es preciso señalar, que cuando sólo se dispone de un pluviómetro en una estación, sólo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas. Como se comprenderá, esta información puede inducir a grandes errores por defecto, por cuanto las lluvias de corta duración son, en general, las más intensas. Es natural entonces que las determinaciones de intensidades de lluvia se hagan a partir de los registros proporcionados por los pluviógrafos.

4. Construcción de las curvas IDF

La construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) puede realizarse de diversas maneras. La primera, llamada de intensidad - período de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología. Otra manera, relacionando simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas. Otra forma es el planteado por Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno.

Estas metodologías, permiten dibujar las curvas IDF de aquellas zonas en las que exista información pluviométrica, seleccionando los coeficientes de duración y frecuencia de la estación más cercana.

Otra forma de desarrollar las curvas IDF es a través de una forma analítica propuesta por Aparicio (1997). Dicho autor plantea la alternativa de obtener una ecuación que genere las curvas IDF a través de un modelo de regresión lineal múltiple ponderada, extrapolando la ecuación generada, a zonas que carezcan de registros pluviográficos y que se encuentren relativamente cerca.

$$I = \frac{kT^m}{D^n}$$

Siendo **k, m y n** constantes de regresión lineal múltiple, **T** es el período de retorno en años, **D** la duración en minutos u horas, **I** la intensidad de precipitación en mm/hr.

Luego, aplicando los logaritmos a la ecuación propuesta, se pretende llegar a un modelo de regresión lineal múltiple, expresada en la ecuación:

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D$$
$$y = a_o + a_1 X_1 + a_2 X_2$$

Donde

$$y = \log I \qquad a_o = \log k$$
$$X1 = \log T \qquad a_1 = m$$
$$X2 = \log D \qquad a_2 = -n$$

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

Consultar las tablas de regresión de los datos y regresión potencial para los periodos de retorno de estudio en el anejo de cálculos.

En función de las duraciones de aguacero, podemos establecer un cuadro de Intensidades de lluvia de nuestra cuenca de aportación y calcular el factor Fb y el factor de intensidad.

$$F_b = k_b \frac{I_{IDF}(T, t_c)}{I_{IDF}(T, 24)}$$

Consultar las tablas de intensidades para los periodos de retorno de estudio y factor Fb y factor de intensidad en el anejo de cálculos.

5. Coeficiente de Escorrentía

Fórmula de Cálculo

El coeficiente de escorrentía C, define la parte de la precipitación de intensidad I(T, tc) que genera el caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca.

El coeficiente de escorrentía C, se obtendrá mediante la siguiente formula, representada gráficamente en la figura.

$$\text{Si} \quad P_d \cdot K_A > p_0 \qquad C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_a}{P_0} - 1\right)\left(\frac{P_d \cdot K_a}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_a}{P_0} + 11\right)^2}$$

$$\text{Si} \quad P_d \cdot K_A \leq p_0 \qquad C = 0$$

Donde:

- C (adimensional) = Coeficiente de escorrentía.

- Pd (mm) Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado).

- Ka (adimensional) Factor reductor de la precipitación por área de la

- P0 (mm) Umbral de escorrentía.

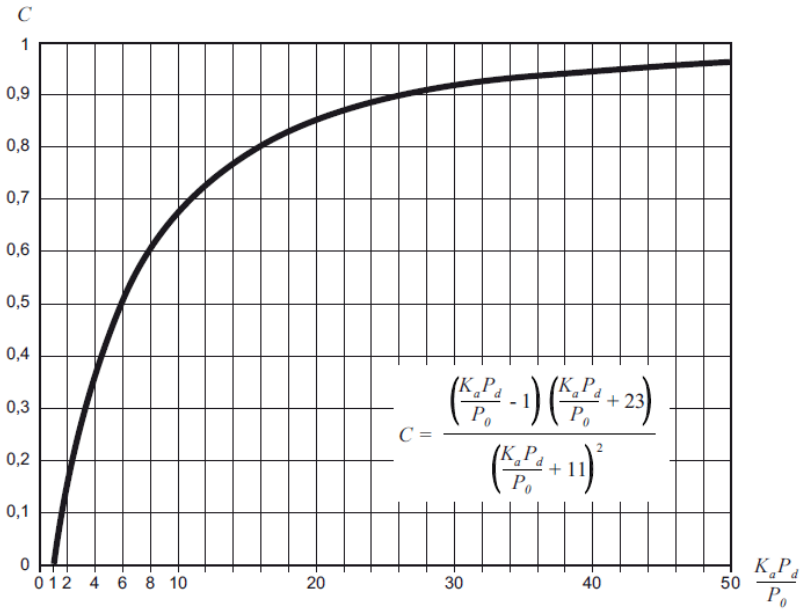


Figura 19. Determinación del Coeficiente de Escorrentía

6. Umbral de Escorrentía

El umbral de escorrentía P0, representa la precipitación mínima que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generación de escorrentía. Se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$P_0 = P_0^i \cdot \beta$$

Donde:

- P0 (mm) = Umbral de escorrentía.

- P0i (mm) = Valor inicial del umbral de escorrentía.

- β (adimensional) = Coeficiente corrector del umbral de escorrentía.

Valores de P_0

Los servicios de Mapas de Cultivos y Aprovechamientos (MCA) contienen información del Mapa de usos y sobrecargas del terreno, englobada en los siguientes temas:

• Mapa de Cultivos 1980-1990: Los datos agrarios de este MCA se corresponden a la década de los años 80 y su digitalización se realizó durante los años 90.

• Mapa de Cultivos 2000-2010

El Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España a escala 1:50.000 de los años 2000-2010, generado por el antiguo Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), corresponde a una cartografía a nivel nacional sobre los usos y aprovechamientos del suelo.

Este mapa es la actualización de la anterior versión del Mapa de Cultivos y Aprovechamiento (MCA) de los años 1980-1990. En esta cartografía se delimitan y describen los cultivos y aprovechamientos del suelo de todo el territorio nacional, mediante el empleo de códigos, que se agrupan en usos y sobrecargas. Los códigos empleados son textos que llevan asociados superíndices y subíndices, con el fin de describir de forma precisa el cultivo representado. Así, los subíndices y superíndices empleados son:

• subíndices y superíndices numéricos, indican porcentajes de ocupación del suelo y de cabida cubierta respectivamente;

• en masas forestales se pueden encontrar también los superíndices "r" (repoblación), "mb" (monte bajo), "lz" (latizal) y "f" (fustal). Los cultivos y aprovechamientos especificados en el mapa se agrupan

Los cultivos y aprovechamientos especificados en el mapa se agrupan en los siguientes usos:

• SUPERFICIE CULTIVADA: - Cultivos Herbáceos en secano y regadío. - Cultivos forzados y Huerta. - Frutales en secano y regadío. - Viñedo en secano y regadío. - Olivar en secano y regadío. - Prados. Pastizales. Matorrales.

• ESPECIES FORESTALES: - Coníferas. - Viveros. - Frondosas.

• IMPRODUCTIVOS: - Improductivos de infraestructuras. - Improductivos agua.

El propósito de esta cartografía es básico para el desarrollo de estudios agronómicos, medioambientales, de diseño de infraestructuras y estudios hidráulicos, permitiendo obtener información georreferenciada y alfanumérica, con el nivel de detalle que se desee y limitada a cualquier división administrativa (municipios, provincias, CCAA y

nacional).

El método de trabajo para la elaboración del mapa de Cultivos y Aprovechamientos 2000-2010 es el siguiente: recopilación de la información existente y preparación de la cartografía básica. Se trata de obtener la información digital y en papel de las antiguas hojas del MCA 1:50.000 procedente del antiguo Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), de obtener la información digital del Mapa forestal 1:50.000, de obtener las ortofotografías digitales clasificadas por hoja 1:50.000, de obtener las imágenes de satélite de primavera y de verano, de la obtención de diversos ráster con información de diferentes registros: Registro Oleícola , Registro Vitícola, Registro Citrícola, Registro Frutos Cáscara , caracterización de regadíos, etc. Esta información de partida es variable por zonas y se integra en el software Dinamap.

Se teselan y fotointerpretan las zonas donde se observa un uso homogéneo, con integración de la información disponible. Producción de diversas salidas graficas e informes que componen las Carpetas de Visita a Campo por hoja 50.000.

Trabajo de campo en el que se visitan los recintos que no se han podido codificar durante el trabajo de gabinete. En la digitalización de los recintos de usos sobre ortofoto, se presta especial atención en garantizar la continuidad de las líneas, carreteras, ríos, en las hojas colindantes. Confrontación de la información gráfica y alfanumérica con corrección de errores, incorporación, tanto de la información gráfica como alfanumérica a la Web.

La inclusión de estos servicios en este visor GIS permite a los usuarios interesados consultar el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de toda España, además de la combinación con otros servicios y obtener información auxiliar de otras capas que permiten saber en cada momento en qué ámbito espacial nos encontramos. Se denomina Tesela a la unidad mínima de recogida de información en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, cada uno de los recintos o polígonos que componen esta cartografía, con unas características homogéneas en su interior.

La serie cartográfica del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos que aquí se presenta, posee una precisión de escala 1/50.000, la misma que la cartografía en formato analógico. La posibilidad de trabajar con ella en formato digital, nos permite analizarla mediante procedimientos informáticos y acceder a las distintas hojas individualizadas o a aquéllas que cubren cada municipio mediante un sistema de menús y opciones accesibles mediante el puntero del ratón.

En función de la resolución de pantalla que estemos utilizando, al seleccionar una hoja 1/50.000 el resultado obtenido será diferente. Si estamos trabajando con una resolución de 800 x 640, 1152 x 864 o de 1024 x 768 al seleccionar una hoja y centrarse ésta en pantalla lo que podremos ver es una versión generalizada de los usos de la hoja. En este caso tendremos que hacer zoom para ver una parte de la hoja

con más detalle. Si la resolución es de 1280 x 1024 o mayor, al seleccionar la hoja y centrarla en pantalla podremos ver la hoja del MCA menos generalizada. Por ello hemos de tener en cuenta que al seleccionar una hoja 50.000 o un municipio quizá tengamos que hacer zoom para alcanzar una escala de más detalle y poder visualizar los datos en su pleno detalle.

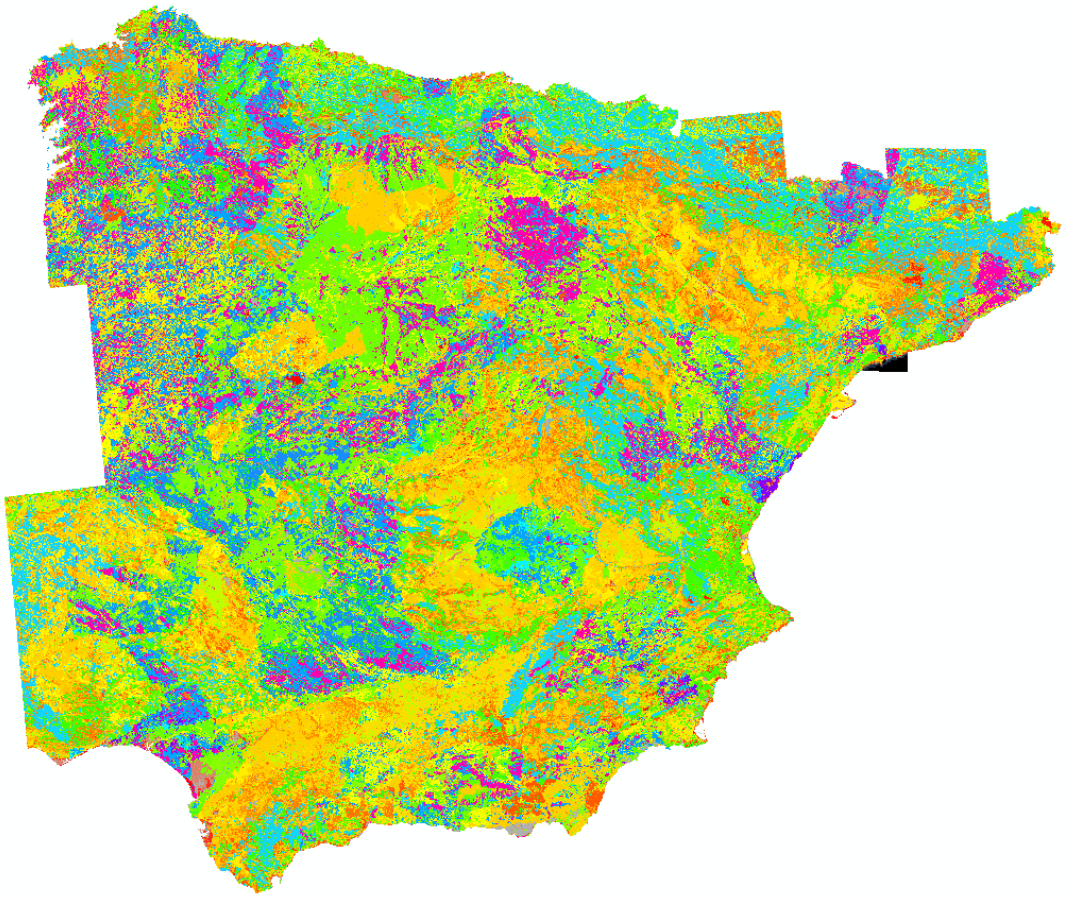


Figura 20. Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra (MIAMBIENTE)

Consultar la tabla de la distribución según el tipo de suelo y determinación ponderada del umbral de escorrentía en el anejo de cálculos.

Coeficiente de corrector del umbral de escorrentía β

Según la Norma 5.2 IC, al no disponer de información suficiente en la propia cuenca de cálculo o en cuencas próximas similares, para llevar a cabo la calibración, se recomienda tomar el valor del coeficiente corrector a partir de los datos de la tabla 5, correspondientes a las regiones de la misma.

Región	Valor medio, β_m	Desviación respecto al valor medio para el intervalo de confianza del			Período de retorno T (años), F_T				
		50% $\Delta_{s\beta}$	67% $\Delta_{\sigma\beta}$	90% $\Delta_{s\beta}$	2	5	25	100	500
11	0,90	0,20	0,30	0,50	0,80	0,90	1,13	1,34	1,59
12	0,95	0,20	0,25	0,45	0,75	0,90	1,14	1,33	1,56
13	0,60	0,15	0,25	0,40	0,74	0,90	1,15	1,34	1,55
21	1,20	0,20	0,35	0,55	0,74	0,88	1,18	1,47	1,90
22	1,50	0,15	0,20	0,35	0,74	0,90	1,12	1,27	1,37
23	0,70	0,20	0,35	0,55	0,77	0,89	1,15	1,44	1,82
24	1,10	0,15	0,20	0,35	0,76	0,90	1,14	1,36	1,63
25	0,60	0,15	0,20	0,35	0,82	0,92	1,12	1,29	1,48
31	0,90	0,20	0,30	0,50	0,87	0,93	1,10	1,26	1,45
32	1,00	0,20	0,30	0,50	0,82	0,91	1,12	1,31	1,54
33	2,15	0,25	0,40	0,65	0,70	0,88	1,15	1,38	1,62
41	1,20	0,20	0,25	0,45	0,91	0,96	1,00	1,00	1,00
42	2,25	0,20	0,35	0,55	0,67	0,86	1,18	1,46	1,78
511	2,15	0,10	0,15	0,20	0,81	0,91	1,12	1,30	1,50
512	0,70	0,20	0,30	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
52	0,95	0,20	0,25	0,45	0,89	0,94	1,09	1,22	1,36
53	2,10	0,25	0,35	0,60	0,68	0,87	1,16	1,38	1,56
61	2,00	0,25	0,35	0,60	0,77	0,91	1,10	1,18	1,17
71	1,20	0,15	0,20	0,35	0,82	0,94	1,00	1,00	1,00
72	2,10	0,30	0,45	0,70	0,67	0,86	1,00	-	-

Figura 21. Regiones consideradas para la caracterización del coeficiente corrector del umbral de escorrentía

Considerando entonces, la **REGIÓN 23**, zona donde se sitúa nuestra zona de estudio, se establece, salvo justificación por el organismo de cuenca, que el valor del coeficiente corrector del umbral de escorrentía a adoptar en el cálculo se debe corresponder con el valor medio βm recogido en la tabla 2.5, sin efectuar correcciones asociadas al nivel de confianza del ajuste estadístico utilizado. Teniendo en cuenta esto, determinamos para nuestro caso el valor de **0,70.**

Consultar tablas de coeficientes de umbrales de escorrentía, coeficientes corregidos y coeficientes de escorrentía de los distinto periodos de retorno en el anejo de cálculos.

7. Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

El coeficiente Kt tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación. Se obtendrá a través de la siguiente expresión:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

El coeficiente Kt tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación. Se obtendrá a través de la siguiente expresión:

Donde:

- Kt = Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación (adimensional).

- tc = Tiempo de concentración de la cuenca.

Consultar la tabla del coeficiente de distribución temporal de la precipitación en el anejo de cálculos.

8. Cálculo del Caudal de Estudio.

El caudal máximo anual QT, correspondiente a un período de retorno T, se calcula mediante la fórmula:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

Donde dichos valores se han ido calculando en los puntos anteriores. Sustituyendo los mismos en la fórmula de cálculo, obtenemos el valor de nuestro caudal en la zona de salida de nuestra cuenca.

Aplicando la ecuación anterior obtenemos:

Cuenca de Estudio 1

T años	**I (T, t_c) =** (mm/h)	A (km^2)	Coef. Escorrentia (C)	Kt	Caudal (m^3/s)
2	13.06377147	1.14	0.1668	1.0626	0.7315
5	17.14973463	1.14	0.3954	1.0626	2.2759
10	20.1187736	1.14	0.4035	1.0626	2.7247
25	24.27542816	1.14	0.4273	1.0626	3.4810
50	27.28688197	1.14	0.4266	1.0626	3.9070
100	30.73662249	1.14	0.4312	1.0626	4.4477
200	34.4125755	1.14	0.4273	1.0626	4.9352
500	39.37511207	1.14	0.4359	1.0626	5.7603

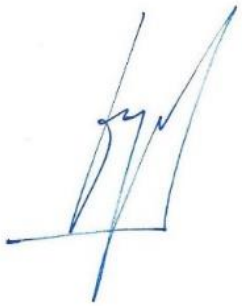
Tabla 5. Caudales cuenca de estudio 1

A continuación, se muestra una tabla resumen con cada uno de los caudales y periodos de retornos de estudio.

Cuenca de Estudio	Periodo de retorno	Caudal (m^3/s)
Cuenca 1	**T 10 años**	**2,2759**
	T 100 años	**4,4477**
	T 500 años	**5,7603**

Tabla 6. Resumen Caudales Cuencas

Magaz de Pisuerga, enero de 2024



Fdo.: Manuel Cañas Mayordomo

Ingeniero Agrónomo

Colegiado nº 1.617

#D. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA

1.- Cálculo hidráulico de la zona de estudio

1.1.- Definición del problema

A continuación, vamos a trabajar a de tramo de estudio, con el fin de delimitar la zona inundable y el comportamiento hidráulico para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años

1.2.- Obtención de la ortofoto y modelo digital del terreno

Vamos a obtener la ortofoto de la zona de estudio y el MDT (modelo digital del terreno) sobre el cual vamos a trabajar. En nuestro ejemplo podemos obtener la ortofoto del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Si queremos obtener la ortofoto del IGN nos iremos a la página del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en la dirección www.ign.es

Primeramente, seleccionaremos la Ortofoto necesaria de la zona de estudio. En la sección de descarga de la mencionada página, haremos clic en búsqueda avanzada y seleccionaremos Ortofotos PNOA Máxima Actualidad, y elegiremos la foto que nos interese, para nuestro caso elegiremos la ortofoto en formato ECW siguiente que previamente hemos adaptado su tamaño a la zona de estudio a través de un programa Sig:

Figura 22. Ortofoto PNOA Máxima Actualidad (IGN)

Para el archivo de MDT partiremos de los ficheros digitales con información altimétrica de la nube de puntos LIDAR distribuidos en ficheros de 2x2 km de extensión del IGN (Instituto Geográfico Nacional) del Ministerio de Fomento del gobierno de España.

Figura 23. Modelo Digital Terreno-MDT02 (IGN)

En nuestro caso y para la zona de estudio, utilizaremos:

DENOMINACIÓN ARCHIVOS
MDT02-ETRS89-HU30-1049-1-COB2.tif

Tabla 7. Archivos MDT-02 IGN

Mediante varios procesos se obtiene una superficie Ráster del terreno, es decir, una representación de superficies continúas derivada de una estructura de datos espacial generada a partir de procesos de triangulación.

Mediante varios procesos se obtiene una superficie Ráster del terreno, es decir, una representación de superficies continúas derivada de una estructura de datos espacial generada a partir de procesos de triangulación.

Figura 24. Recorte Lidar Zona de Estudio

Una vez obtenido el archivo Ráster de la zona que se va a estudiar, se convierte a través de la herramienta "Raster to ASCII", a un formato tipo texto (.txt) para poder incorporarlo al programa Iber.

1.3.- Geometría del modelo

En este apartado y a partir del archivo ASCII creado con anterioridad, procedemos a crearnos la geometría de nuestro modelo. Pero antes y para facilitarnos esta labor vamos a incorporar una imagen de fondo la cual nos servirá de guía en el resto de los procesos.

Una vez cargada la ortofoto en el proyecto, el siguiente paso será importar el archivo ASCII, es decir, el MDT. Para incorporarlo utilizaremos la herramienta "Crear RTIN", ubicada en Herramientas Iber /RTIN/Crear RTIN.

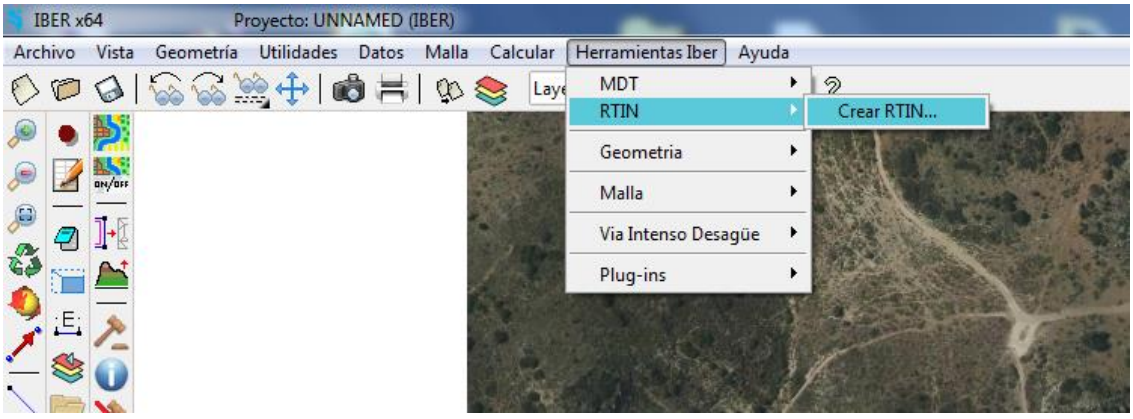


Figura 25. Herramienta Crear RTIN

Al realizar esta opción nos emergerá la ventana Archivo RTIN creado en la que hay que introducir los siguientes datos.

Archivo MDT original: Pulsamos en 'Buscar' y seleccionamos el archivo del terreno que queremos utilizar (como ya sabemos debe estar en formato ASCII).

Tolerancia: Se trata de la máxima diferencia (indicada en metros en vertical) que vamos a permitir que exista entre el MDT y la geometría que se va a crear. En este caso le asignamos un valor de 0.1 (10 cm).

Lado máximo y mínimo: Tendremos que establecer el tamaño máximo y mínimo que podrán tener los triángulos que se van a generar. Para este ejemplo indicamos un lado máximo de "25" y un lado mínimo de "1".

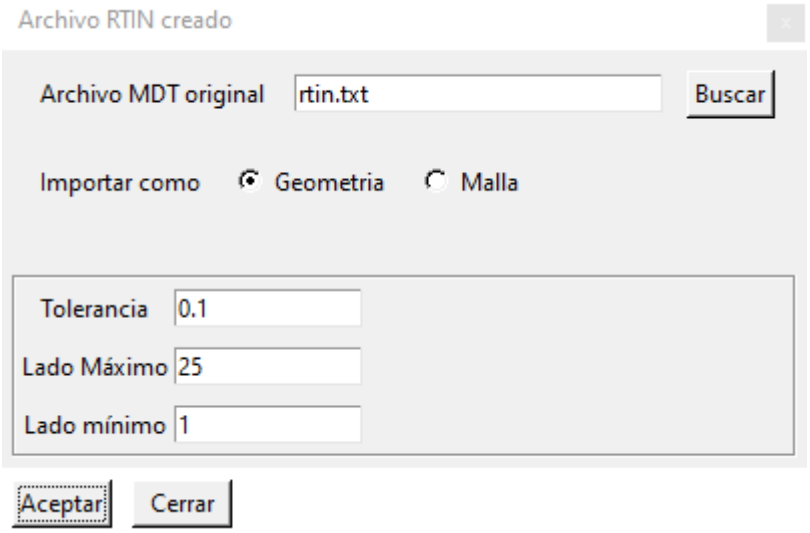


Figura 26. Importación archivo ASCII

Una vez que el programa lee el archivo de partida procedente del Modelo Digital del Terreno anteriormente mencionado da la opción de colapsar la geometría.

El colapso de geometría es un mecanismo utilizado por el programa para corrección de posibles errores que puedan contener la geometría a generar, por lo que es un paso importante en el modelo que siempre hay que realizar

Una vez aceptada a la opción de "Colapsar la geometría" nos emerge una ventana de Geometría Colapsada y nos pregunta que si queremos "Mallar la geometría". Le decimos que "No" ya que ese paso lo haremos posteriormente una vez introducido todos los datos del programa.

Una vez realizado todos los procesos obtenemos la geometría de la zona de estudio tal como se muestra en la siguiente imagen.

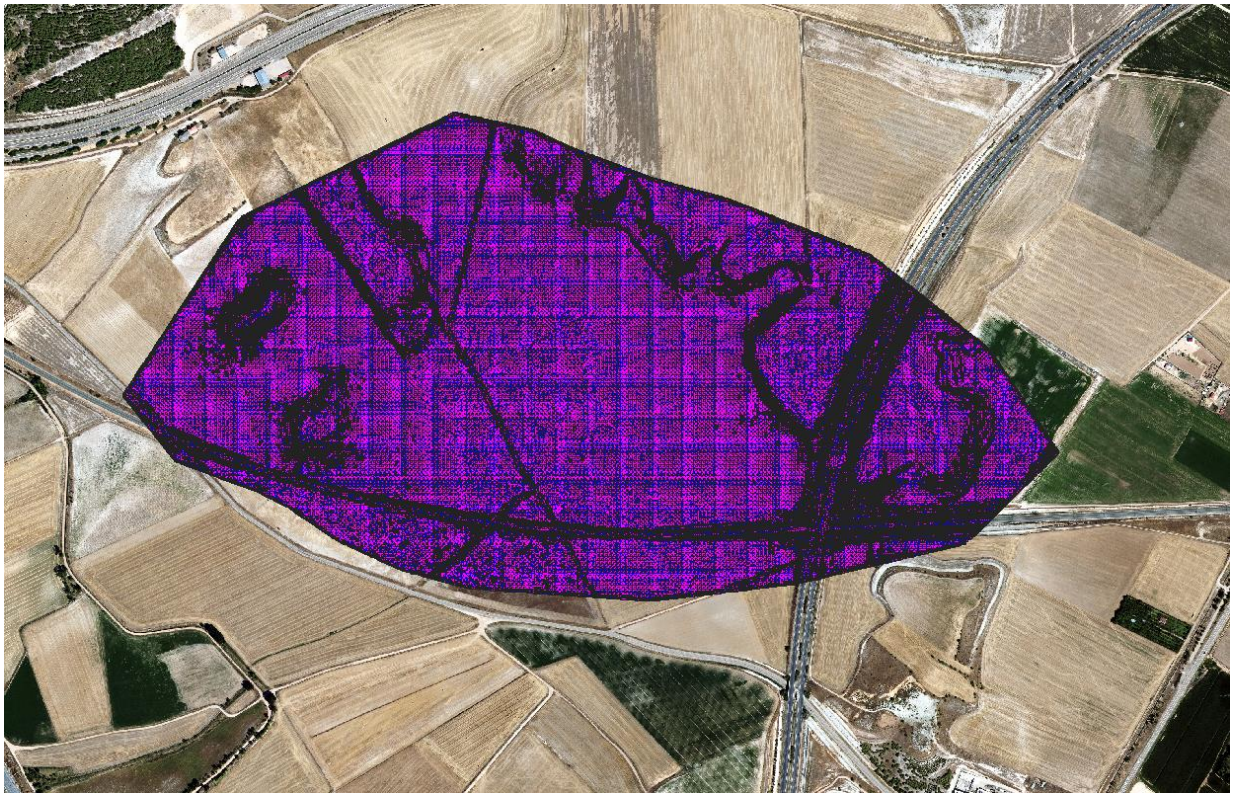


Figura 27. Geometría importada RTIN

1.4.- Parámetros a Introducir en el Modelo.

A continuación, vamos a explicar todos los pasos y parámetros necesarios para la computación en los modelos Iber.

- **Condiciones iniciales**

Las condiciones iniciales reflejan el estado del terreno al inicio de la simulación, es decir, indican si el terreno está seco o mojado. Como condición inicial Iber permite fijar un calado (diferencia de cotas de la lámina de agua y el terreno) o una cota (cota absoluta del agua respecto el sistema de referencia del MDT).

Es muy importante que tengamos claro cuál es el dato de partida que queremos fijar para no establecer una cota como calado o al contrario. Si el suelo se encuentra seco al inicio de la simulación, será indiferente establecer un calado de 0 o una cota de 0 pero si queremos simular la existencia de una lámina de agua tendremos que diferenciar si el dato que tenemos es el de la profundidad del agua, o la cota que alcanza. Si nos equivocamos y asignamos un valor de cota como calado observaremos que los resultados no son acordes a la realidad.

Siguiendo con nuestro modelo vamos a realizar una simulación del territorio completamente seco al inicio de la simulación que es como se recomienda realizar este tipo de computaciones. Para ello seleccionaremos la opción para introducir las condiciones **iniciales Datos – Hidrodinámica – Condiciones Iniciales.**

Al clicar en esta opción nos emerge la ventana Condición Inicial.

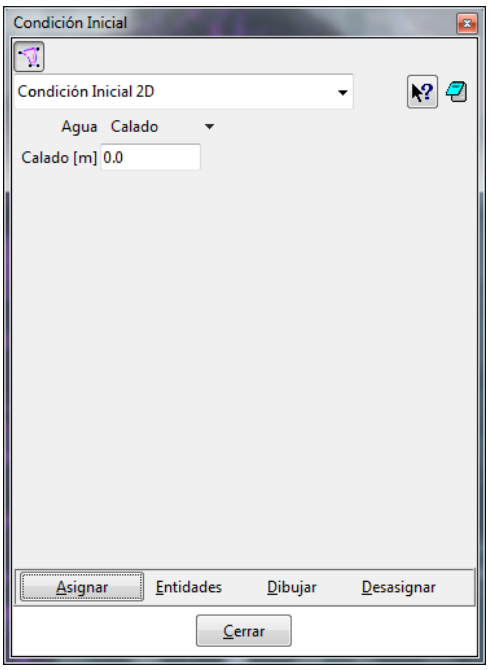


Figura 28. Condición Inicial

Lo primero que observamos es que las condiciones iniciales se asignan a las superficies, no a las líneas como en el caso de las condiciones de contorno.

Indicamos una Condición Inicial 2D con "Calado 0", pulsamos en "Asignar" y seleccionamos todas las superficies dibujando un recuadro que selecciones toda la geometría para por último darle a la tecla ESC, quedando asignada la condición inicial en toda la geometría.

- **Condiciones de entrada**

En la condición de entrada vamos a introducir cada uno de los caudales punta que hemos obtenido del cálculo de las cuencas de estudio y los distintos periodos de retorno. Cada modelo Iber utilizado se corresponderá a un periodo de retorno dado, no siendo posible la computación de varios periodos de retornos en un mismo archivo como si es posible en programa de similares características tipo Hec-Ras.

A tenor de los caudales obtenidos en los cálculos anteriores podría ser muy importante la simulación de esta red de drenaje, ya que puede tener consecuencias para una parte de la zona de estudio.

Por lo tanto, solo introduciremos los caudales punta para cada una de las cuencas en cada uno de los periodos de retorno estudiados T100 y T500 años.

Simularemos un régimen subcrítico con caudal constante para cada periodo de retorno estudiado. Por tanto, nos acercamos a la zona de entrada del modelo.

Una vez ubicada la zona por donde entrará el flujo de agua, seleccionamos la opción para introducir las condiciones de contorno hidrodinámicas; es decir nos dirigimos a **Datos / Hidrodinámica / Condiciones de Contorno.**

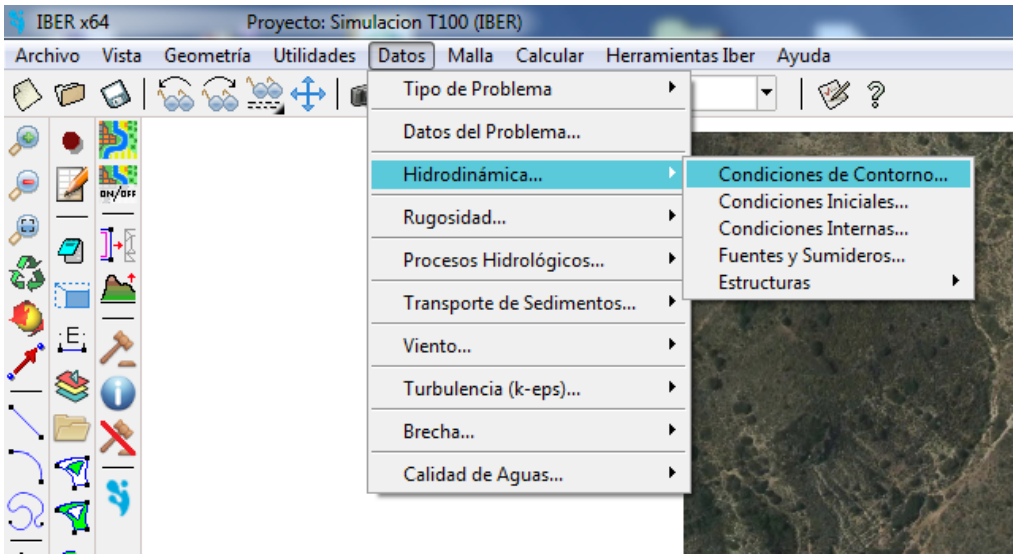


Figura 29. Condiciones de Contorno

Al hacer clic nos emerge la ventana Análisis 2D, tal como se muestra en la figura, en la cual se nos presenta varias opciones para establecer las condiciones:

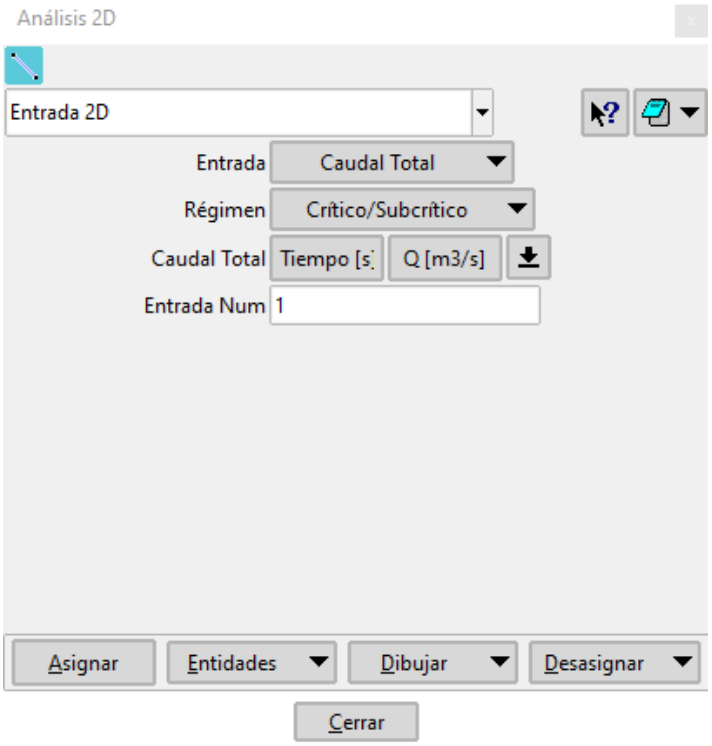


Figura 30. Ventana Análisis 2D

Tipo de condición: Tendremos que seleccionar si vamos a establecer una condición de Entrada o de Salida; seleccionamos "Entrada 2D" en el desplegable.

Entrada: Tipo de dato de entrada; en nuestro caso simulamos un caudal constante por lo que tenemos que indicar "Caudal Total" para cada periodo de retorno estudiado (T = 10, T = 100 años y T500 años).

Régimen: Régimen de flujo a la entrada. Nosotros simularemos un régimen subcrítico a la entrada (seleccionamos "crítico/Subcrítico")

Total Discharge: Caudal total de entrada. Aquí tenemos que indicar el valor de caudal total de entrada. Para introducirlo pulsamos en el icono de la flecha y se desplegará una tabla donde indicaremos el caudal en función del tiempo. Como vamos a simular un caudal constante, únicamente introducimos el dato correspondiente en la columna Q (m^3/s) dejando la columna de tiempo a 0.

Entrada núm.: Número de entrada. Mediante esta casilla podemos introducir varios caudales, de tal forma que, si quisiéramos simular otro caudal diferente, escribiríamos "2" y rellenaríamos los datos de nuevo.

Una vez introducidos los datos, tenemos que indicar al programa el lugar por donde entra el agua. La asignación de las condiciones de contorno (entrada/salida) se realiza sobre las líneas (tal y como indica el icono de la ventana de análisis 2D) no sobre superficies. El programa entenderá que la dirección de flujo es perpendicular al contorno de entrada, es decir, a la línea o líneas seleccionadas.

Pulsamos sobre el botón de **Asignar** y seleccionamos el conjunto de líneas por donde entra el agua al modelo.

En ocasiones al realizar una asignación seleccionaremos sin querer alguna superficie de más en la geometría. En caso de que esto ocurra, como es nuestro caso, Iber presenta una herramienta de gran utilidad con la que podemos eliminarlas aquellas entidades no deseadas. Para ello hacemos clic con el botón derecho en cualquier lugar de la pantalla y clicamos en **Contextual – Ventana de Selección**

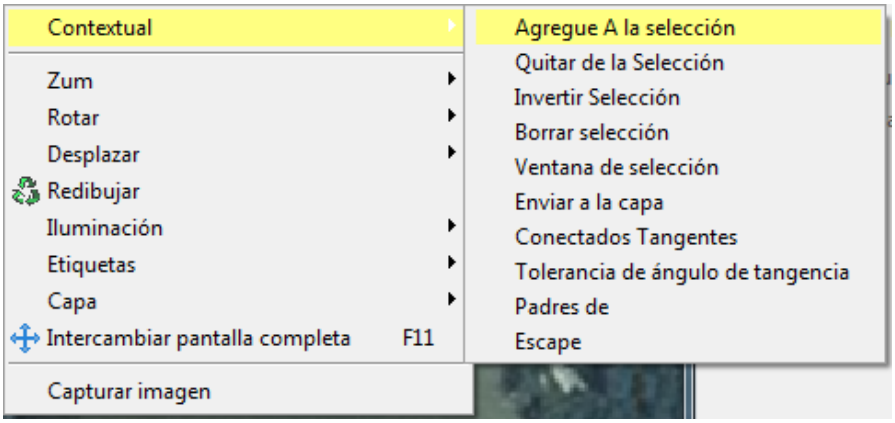


Figura 31. Ventana Contextual

Al realizar esta acción, nos emerge la Ventana de Selección. Donde nos aparecerán las siguientes opciones:

Modo indicamos "Quitar".

Filtro seleccionamos "Superentidades".

Y en **Valor** escribimos "2".

Esta herramienta permite eliminar de la selección todas las líneas (superentidades) que forman parte de 2 superficies (Valor 2). Como las del extremo sólo forman parte de una superficie, utilizando esta opción podemos quedarnos únicamente con las líneas que nos interesan quedando tal como se muestra en las siguientes figuras.

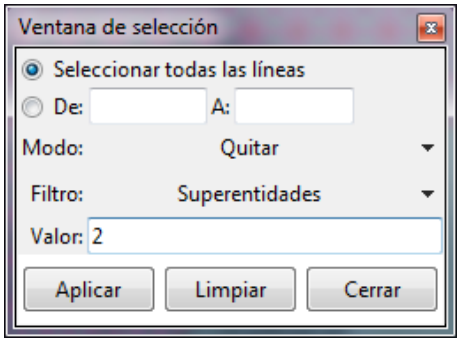


Figura 32. Ventana de Selección

Por último, hacemos clic en **Terminar** o en la tecla Esc del teclado. Para asegurarnos que lo hemos realizado correctamente y que líneas hemos seleccionado como condición de entrada vamos a colorearlas haciendo clic dentro de la ventana **Análisis 2D – Dibujar – Colores.**

Figura 33. Condición de Entrada de Caudales en Iber

Este mismo procedimiento lo debemos repetir para cada una de las simulaciones de estudio, variando tan solo el caudal.

- **Condiciones de salida**

El proceso para asignar las condiciones a la salida es exactamente el mismo. El régimen de flujo que vamos a simular es nuevamente subcrítico, de manera que en la ventana emergente no vamos a modificar ningún parámetro, lo dejamos por defecto. Lo único por tanto que debemos realizar es determinar las líneas por donde saldrá el flujo que en nuestro caso lo colocaremos en todo el perímetro de la malla de estudio.

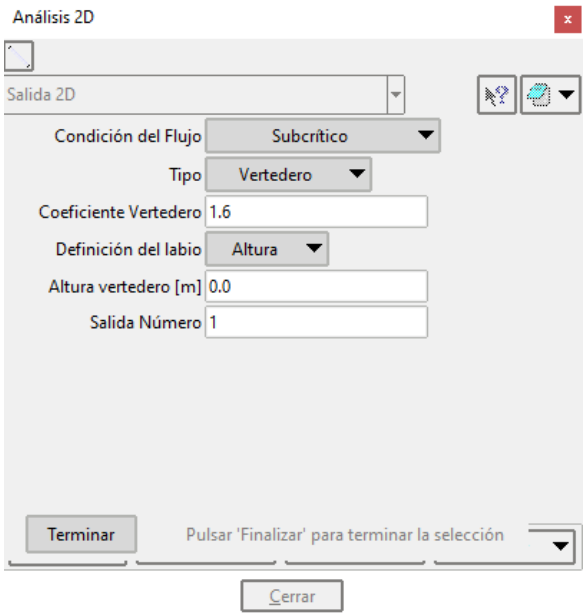


Figura 34. Ventana de Condiciones de Salida

Figura 35. Condición de Salida en Iber

- **Rugosidad**

Iber asigna la rugosidad a través de un coeficiente de rugosidad de Manning. El valor del número de Manning es representativo de la resistencia que ofrece una superficie al fluido; es decir, de la rugosidad de esa superficie. Esto implica que, a mayor rugosidad de la superficie, mayor será la resistencia que ofrece al flujo y el valor de Manning será más alto.

La rugosidad del terreno asociado al modelo, puede ser introducida mediante tres procedimientos diferentes:

- **Asignación Manual:** podemos escoger un uso del suelo y asignarlo a las superficies que conforman la geometría del modelo.
- **Manning Variable:** los datos de rugosidad se introducen en forma de tabla y son asignados con base en el caudal específico o el calado.
- **Asignación Automática:** consiste en la asignación de la rugosidad desde mediante la información contenida en un archivo ASCII o un archivo XY dbase. En ambos casos, deberemos disponer de un archivo *.csv que contenga la lista de los usos del suelo del programa, localizado en el mismo directorio y con el mismo nombre que el archivo ASCII o XY dbase.

En nuestro caso, para quedarnos del lado de la seguridad, hemos utilizado un n de manning de 0.050 quedando asignado en el modelo tal como puede visualizarse a continuación.

Figura 36. N Manning Iber

1.5.- Mallado del modelo

- **Tipología de mallado**

Iber trabaja con tres tipos de mallas: no estructuradas, estructuradas y una combinación de ambas (malla mixta).

- No Estructuradas

Están formadas por elementos que pueden tener 3 o 4 lados y que se pueden combinar dentro de la misma malla. Este tipo de malla se adapta muy bien a cualquier geometría, ya que no es necesario que la malla tenga ningún tipo de organización o estructura interna. Esta característica las hace especialmente indicadas para su utilización en hidráulica fluvial y por lo general se aplica un mallado de este tipo a las llanuras de inundación.

- Estructuradas

Están formadas por elementos de 4 lados distribuidos de manera ordenada de forma que a cada elemento de la malla se le puede asignar una fila y una columna. Por lo general este tipo de mallado se aplica a los cauces.

- **Generación de la malla**

Para generar la malla Iber cuenta con diferentes opciones, pero en cualquier caso el tipo de malla que utilicemos, así como el tamaño de los elementos dependerá del mayor o menor detalle que necesitemos. Para lograr un mayor detalle tendremos que generar un mayor número de elementos lo que implicará establecer un tamaño de elemento menor.

Para generar la malla en Iber vamos a seguir los siguientes pasos. Iremos a la barra de herramientas y seguiremos la ruta **Malla / Estructurada / Superficies / Asignar número de divisiones,**

Se procederá a la división y creación de la malla quedando tal como aparece en la siguiente figura tras la creación de la Malla a través de la opción **Malla/Generar Malla.**

Figura 37. Malla del Modelo

Para comprobar la precisión de la malla resultante y estar seguro de que vamos en buen camino podemos realizar dicha comprobación. Para ello hacemos clic **en Malla / Dibujar / Tamaños / Superficies.**

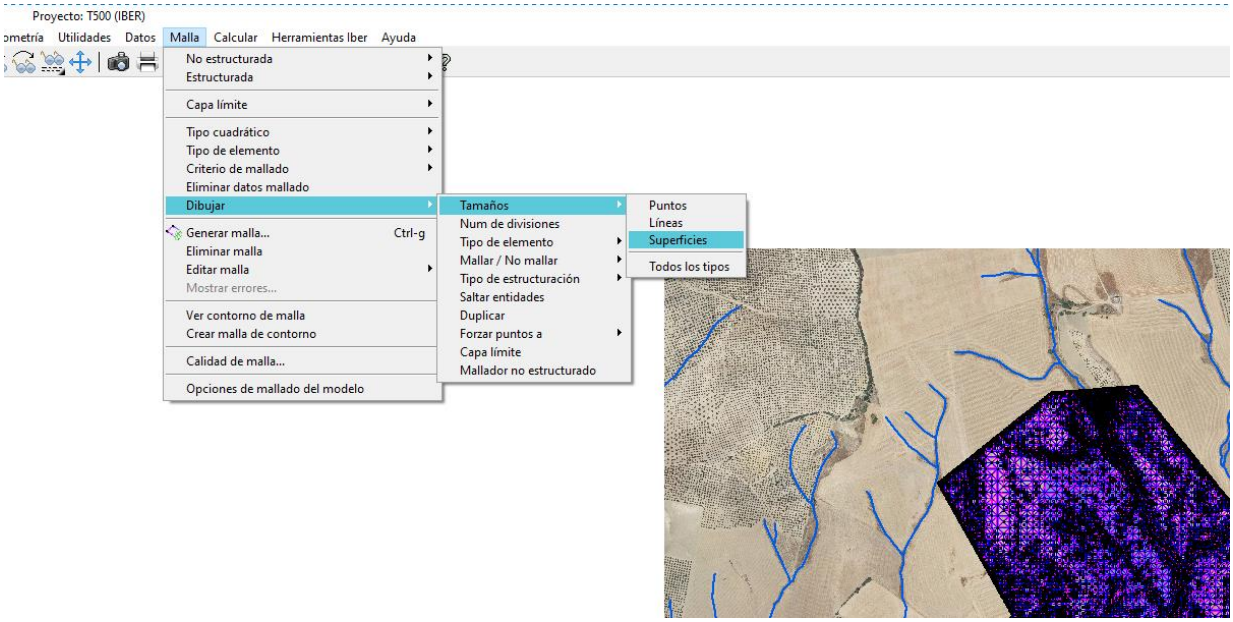


Figura 38. Dibujo Tamaño Superficie

Al hacer esta acción se nos colorea la malla y nos genera una leyenda con el tamaño de malla. En el estudio podemos comprobar que el tamaño de malla se encuentra comprendido entre **0,57 y 4,98 m.**

Figura 39. Visualizador Tamaño Malla

1.6.- Datos del problema

Los datos del problema recogen una serie de parámetros configurables para realizar la simulación del modelo en Iber. Mediante ellos podemos establecer parámetros de tiempo, una serie de parámetros generales del propio funcionamiento del programa y la configuración de resultados a generar **Datos / Datos del problema.**

- **Parámetros de tiempo**

  En esta pestaña indicamos los parámetros de tiempo para realizar la simulación:

  - Simulación: Podemos comenzar una nueva simulación o continuar con una que ya se ha ejecutado hasta un instante concreto.
  - Instante inicial (s): Primer instante del que queremos obtener los resultados.
  - Tiempo máximo de simulación (s): Último instante que queremos simular.
  - Intervalo de resultados (s): Aquí debemos indicar cada cuantos segundos queremos que el programa nos muestre los resultados. Cuanto menor sea el intervalo, más tiempo tardará en realizarse el cálculo.
  - Opciones de tiempo: Podemos ocultar las opciones de tiempo o mostrarlo.

Realizamos una nueva simulación comenzando en el instante 0 s (instante inicial) y terminando 8000 s tiempo suficiente para visualizar el comportamiento del fluido dentro de la zona de estudio.

Y en cuanto al intervalo de cálculo estimamos cada 30 segundos.

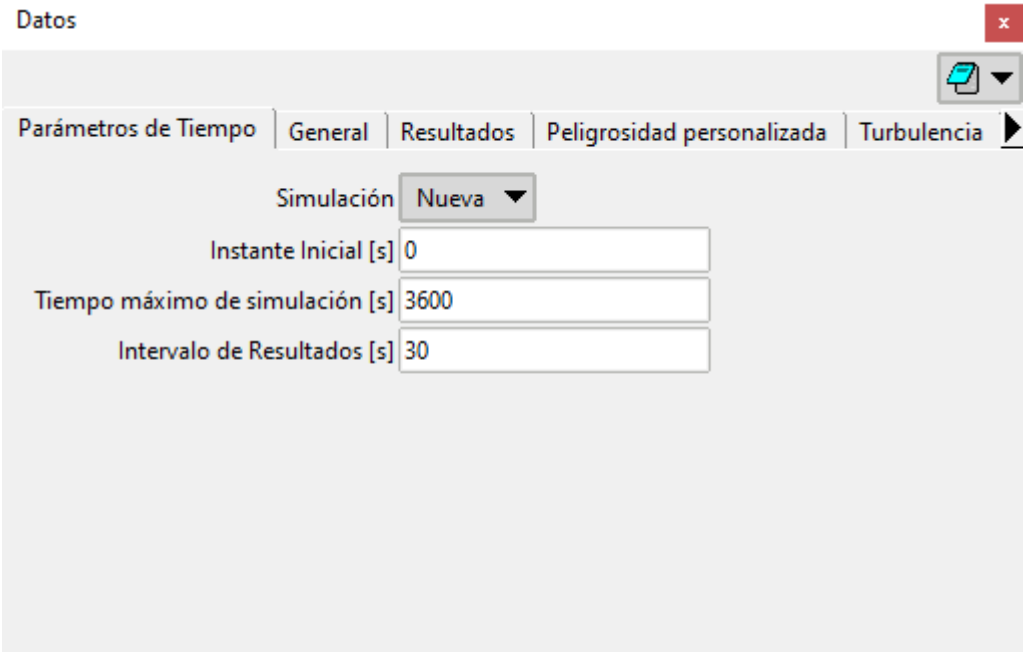


Figura 40. Datos de computación

- **Parámetros generales**

Mediante la pestaña General se realizan una serie de configuraciones generales de la simulación. En cualquier caso, nosotros dejaremos todas las opciones que aplica el programa por defecto.

- Número de procesadores: Iber puede lanzar un cálculo paralelo con el número de procesadores que se desee. Si se indica un número de procesadores mayor al existente Iber utilizará el máximo de procesadores posibles. En nuestro caso al tener un ordenado de 8 núcleos, hemos dedicados todos a la computación del programa.
- Esquema numérico: Tenemos la opción de escoger un esquema numérico de primer orden, o de segundo orden (para más información ver Manual de referencia).
- CFL: Valor del número de Courant-Friedrichs-Levy para conseguir un esquema numérico estable.
- Límite Seco - Mojado: Umbral para considerar que un elemento está seco y que no se debe realice ningún cálculo hidrodinámico en él. Iber aplica por defecto un umbral de 0.01 metros lo que significa que se considerará que un elemento está seco cuando presenta una lámina de agua menor de 1 cm.
- Método de secado: Existen 3 métodos aplicables:
    - Normal: Iber considerará un elemento como seco cuando éste tenga un "calado negativo", de manera que para que vuelva a estar mojado el elemento debe llenar antes este ”calado

negativo". Es un método robusto y con el cual el tiempo de cálculo no depende del proceso de secado-mojado.

  - Estricto: Impide que exista el "calado negativo" por lo que se gana precisión en el proceso de mojado y secado. Este método reduce el incremento de tiempo de cálculo por lo que aumenta el tiempo de cálculo total.
  - Hidrológico. Es el método recomendado al realizar cálculos hidrológicos ya que en estos casos los otros dos métodos pueden producir inestabilidades.

- Opciones generales: Podemos mostrarlas u ocultarlas.

- **Resultados a obtener**

  En esta pestaña seleccionamos los resultados que deseamos obtener en la simulación:

  - Forzar resultados a vértices. Por defecto Iber calcula los resultados para cada elemento de la malla, pero si queremos podemos forzarlo de manera que los calcule para cada uno de los vértices.
  - Sin resultados en los elementos secos. Por defecto estará activado de manera que Iber no sacará resultados en los elementos que estén secos.
  - Selección de resultados. Iber sólo creara archivos de resultados para los resultados seleccionados mediante las casillas.

El resto de pestañas son referentes a los módulos de sedimentos y turbulencia, al cálculo de la vía intenso desagüe y a la rotura de presas.

Se establecieron los datos del problema en cada uno de los modelos que vamos a simular.

Se calculó los resultados para cada elemento de la malla y se obvió los resultados en los elementos secos. Por otro lado, los resultados que se generaron fueron el calado y máximo calado, la velocidad, cota del agua, número de Froude, máximo calado, máxima velocidad, máxima cota del agua y la Peligrosidad.

Una vez establecidos todos estos datos, pulsamos en **Aceptar.**

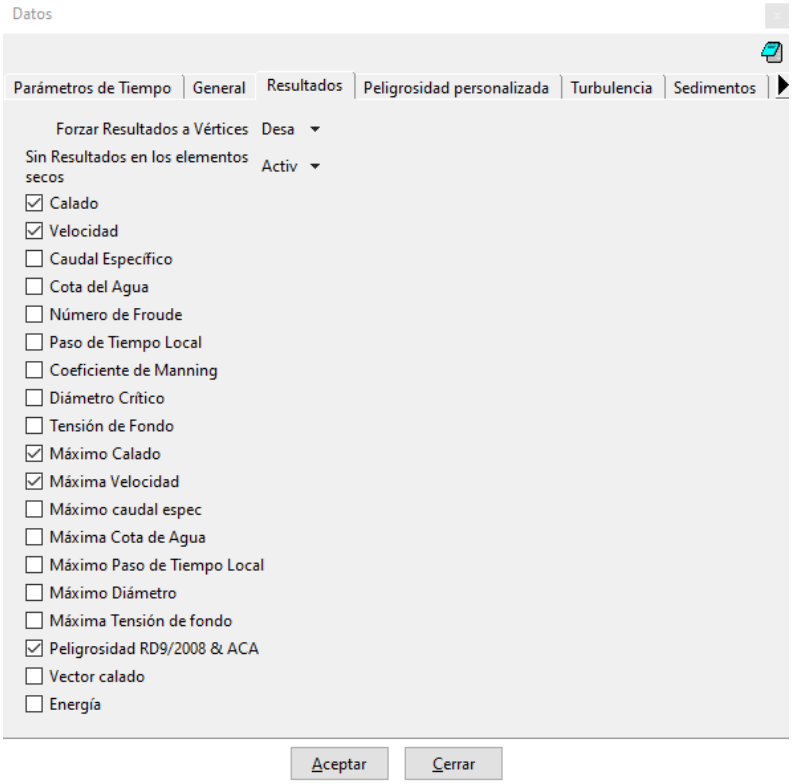


Figura 41. Ventana Selección Datos de Computación

- **Cálculo del modelo**

Una vez introducida toda la información en el modelo (datos hidrodinámicos, rugosidad y datos del problema) se procede con la simulación para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años.

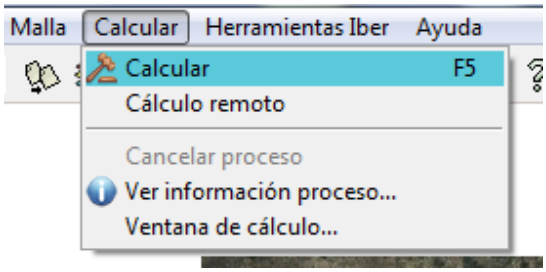


Figura 42. Proceso de cálculo

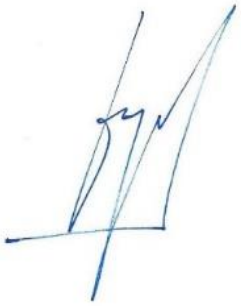
- **Postproceso**

Mientras el programa está calculado, Iber nos permite pasar al post-proceso para ver los resultados. Para ello pulsamos en el icono o si la simulación ha terminado, pulsaremos en "Post-proceso".

Durante la simulación podemos ir intercambiando entre pre-proceso y post-proceso para ver cómo va la simulación.

Una vez terminada la simulación en el programa nos saldrá una ventana emergente llamada Información del Proceso donde nos dice que el proceso ha finalizado. A continuación, pasaremos a Post-proceso a través del icono para comprobar los resultados.

Magaz de Pisuerga, enero de 2024



Fdo.: Manuel Cañas Mayordomo

Ingeniero Agrónomo

Colegiado nº 1.617

2.- Delimitación Máxima Crecida Ordinaria.

2.1.- Definición del Dominio Público Hidráulico

Artículo 4.

1. Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (artículo 4 del texto refundido de la Ley de Aguas). La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles.

2. En los tramos de cauce donde exista información hidrológica suficiente, se considerará caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales instantáneos anuales en su régimen natural, calculada a partir de las series de datos existentes y seleccionando un período que incluirá el máximo número de años posible y será superior a diez años consecutivos. Dicho periodo será representativo del comportamiento hidráulico de la corriente y en su definición se tendrá en cuenta las características geomorfológicas, ecológicas y referencias históricas disponibles.

Artículo 5.

1. Son de dominio privado los cauces por los que ocasionalmente discurran aguas pluviales, en tanto atraviesen, desde su origen, únicamente fincas de dominio particular.

2. El dominio privado de estos cauces no autoriza hacer en ellos labores ni construir obras que puedan hacer variar el curso natural de las aguas en perjuicio del interés público o de tercero, o cuya destrucción por la fuerza de las avenidas pueda ocasionar daños a personas o cosas (art. 5 del TR de la LA).

Artículo 6.

1. Se entiende por riberas las fajas laterales de los cauces públicos situadas por encima del nivel de aguas bajas y por márgenes los terrenos que lindan con los cauces.

2. La protección del dominio público hidráulico tiene como objetivos fundamentales los enumerados en el artículo 92 del texto refundido de la Ley de Aguas. Sin perjuicio de las técnicas específicas dedicadas al cumplimiento de dichos objetivos, las márgenes de los terrenos que lindan con dichos cauces están sujetas en toda su extensión longitudinal:

a) A una zona de servidumbre de cinco metros de anchura para uso público, que se regula en este reglamento.

b) A una zona de policía de cien metros de anchura, en la que se condicionará el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollen.

3. La regulación de dichas zonas tiene como finalidad la consecución de los objetivos de preservar el estado del dominio público hidráulico, prevenir el deterioro de los ecosistemas acuáticos, contribuyendo a su mejora, y proteger el régimen de las corrientes en avenidas, favoreciendo la función de los terrenos colindantes con los cauces en la laminación de caudales y carga sólida transportada.

4. En las zonas próximas a la desembocadura en el mar, en el entorno inmediato de los embalses o cuando las condiciones topográficas o hidrográficas de los cauces y márgenes lo hagan necesario para la seguridad de personas y bienes, podrá modificarse la anchura de dichas zonas en la forma que se determina en este Reglamento.

Artículo 7.

1. La zona de servidumbre para uso público definida en el artículo anterior tendrá los fines siguientes:

a) Protección del ecosistema fluvial y del dominio público hidráulico.

b) Paso público peatonal y para el desarrollo de los servicios de vigilancia, conservación y salvamento, salvo que por razones ambientales o de seguridad el organismo de cuenca considere conveniente su limitación.

c) Varado y amarre de embarcaciones de forma ocasional y en caso de necesidad.

2. Los propietarios de estas zonas de servidumbre podrán libremente sembrar y plantar especies no arbóreas, siempre que no deterioren el ecosistema fluvial o impidan el paso señalado en el apartado anterior.

Las talas o plantaciones de especies arbóreas requerirán autorización del organismo de cuenca.

3. Con carácter general no se podrá realizar ningún tipo de construcción en esta zona salvo que resulte conveniente o necesaria para el uso del dominio público hidráulico o para su conservación y restauración. Solo podrán autorizarse edificaciones en zona de servidumbre en casos muy justificados.

Las edificaciones que se autoricen se ejecutarán en las condiciones menos desfavorables para la propia servidumbre y con la mínima ocupación de la misma, tanto en su suelo como en su vuelo. Deberá

garantizarse la efectividad de la servidumbre, procurando su continuidad o su ubicación alternativa y la comunicación entre las áreas de su trazado que queden limitadas o cercenadas por aquélla.

A tenor de lo expuesto en el citado reglamento, las instalaciones deberán respetar el Dominio Público Hidráulico y la Zona de Servidumbre de paso de los Cauces públicos (5 m de anchura medidos horizontalmente desde la coronación del talud de la margen del río),que debe quedar libre para uso público, según se determina en los Arts.6 y 7 del R.D.P.H), dejando una zona de terreno libre de 5,00 metros de anchura como mínimo al lado del cauce.

3.- Resultados

A continuación, pasamos a analizar los resultados obtenidos en la fase de cálculo para las simulaciones realizadas.

3.1.- Resultados para T = 10 años

CALADO

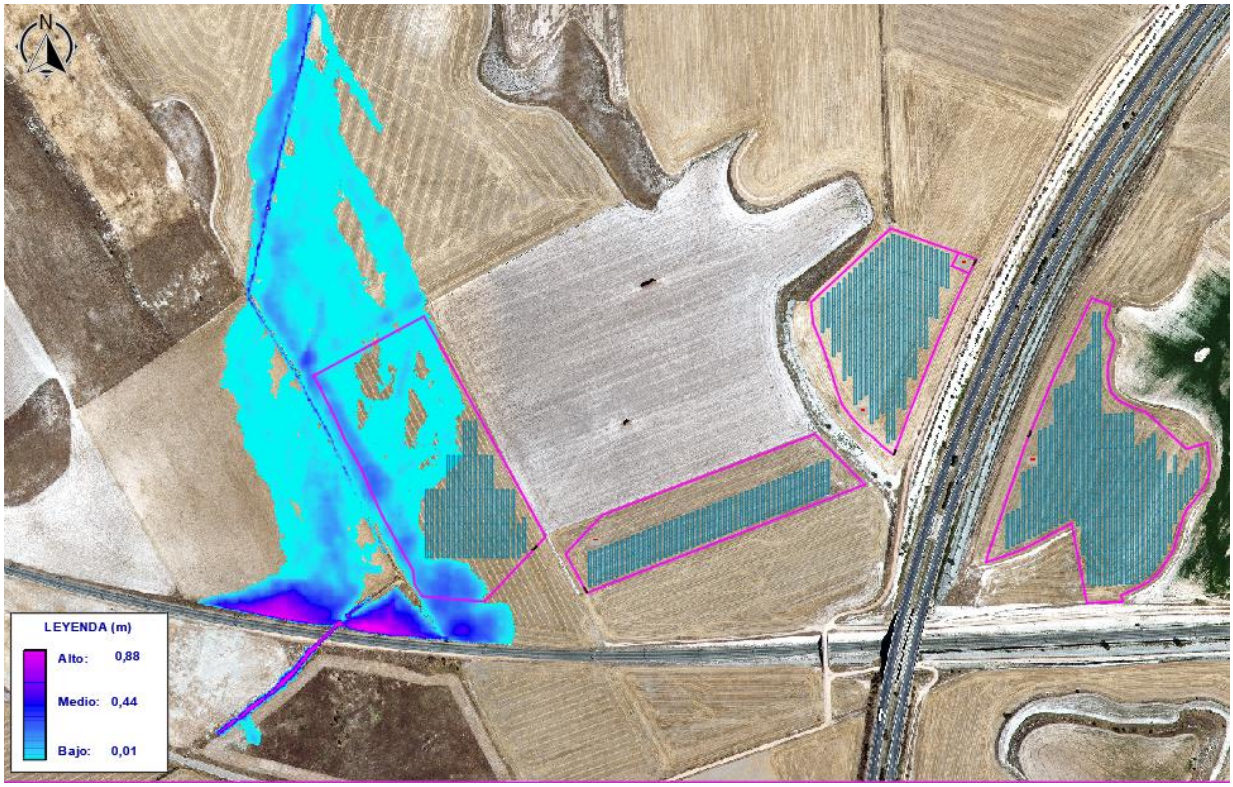


Figura 43. Resultados Calados T10 años

VELOCIDAD

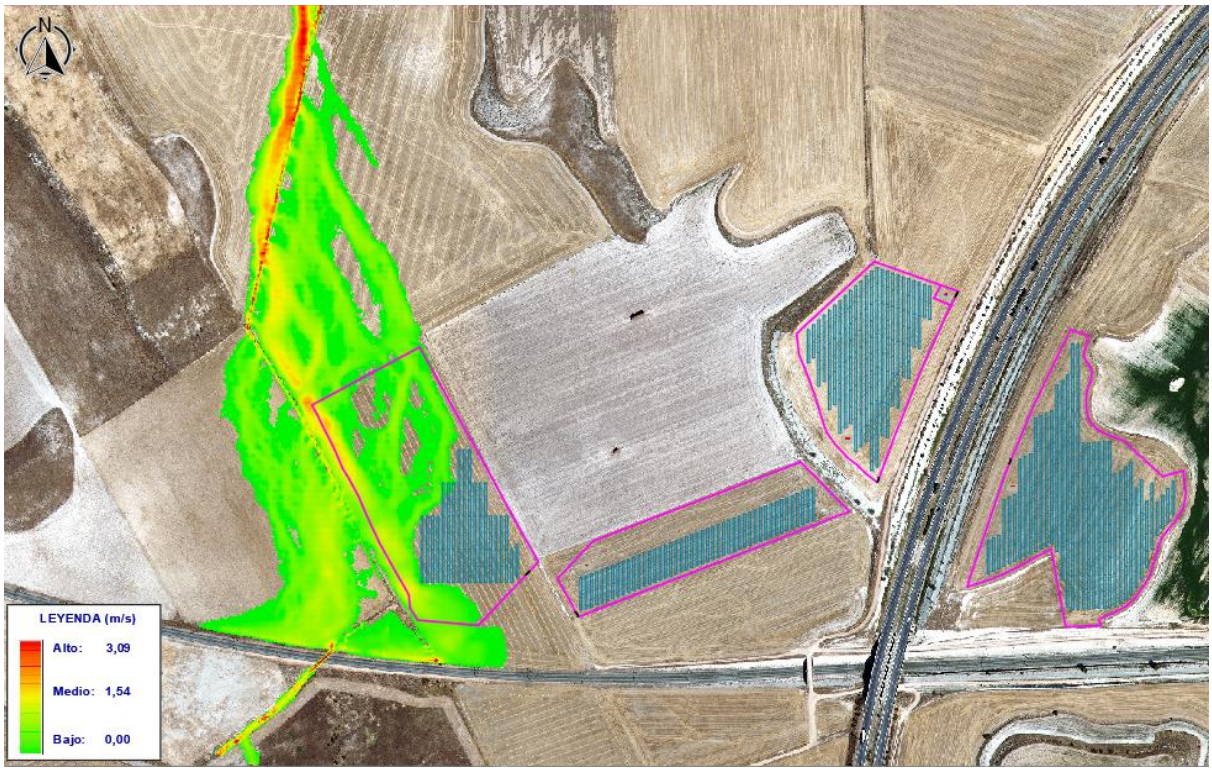


Figura 44. Resultados Velocidad T10 años

PELIGROSIDAD

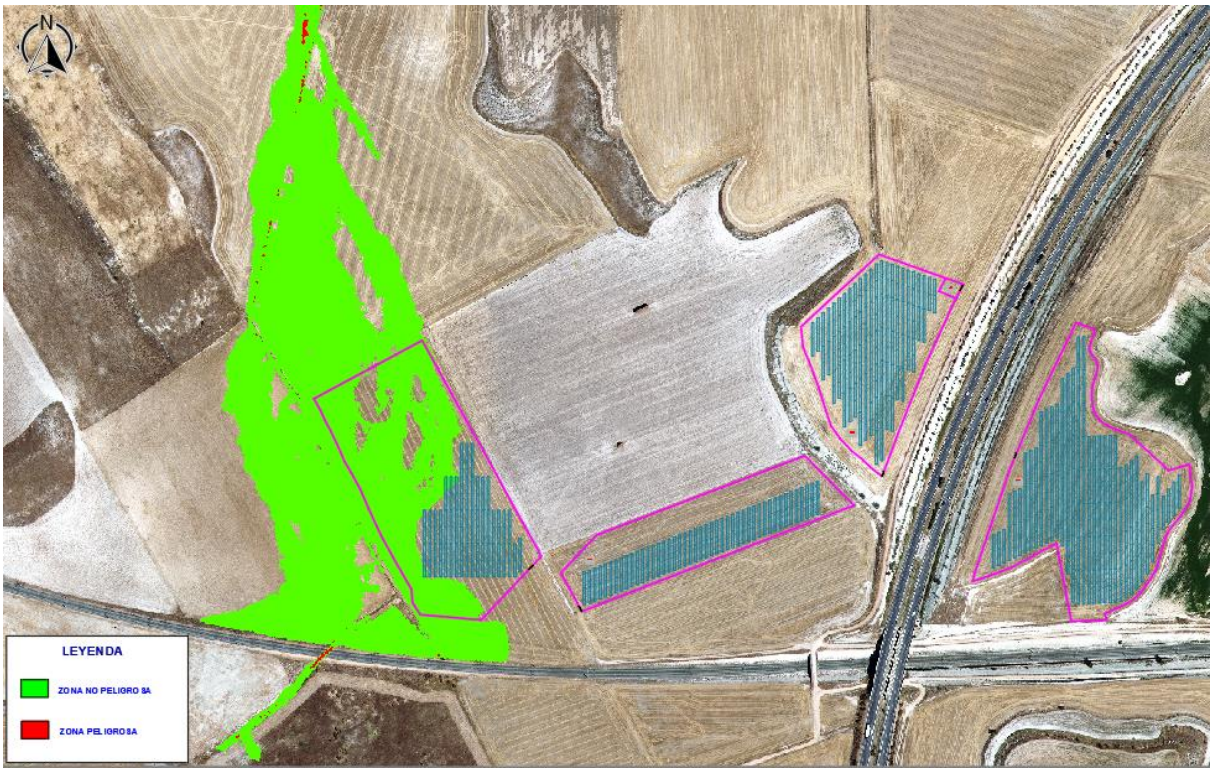


Figura 45. Resultados Peligrosidad T10 años

3.2.- Resultados para T = 100 años

CALADO

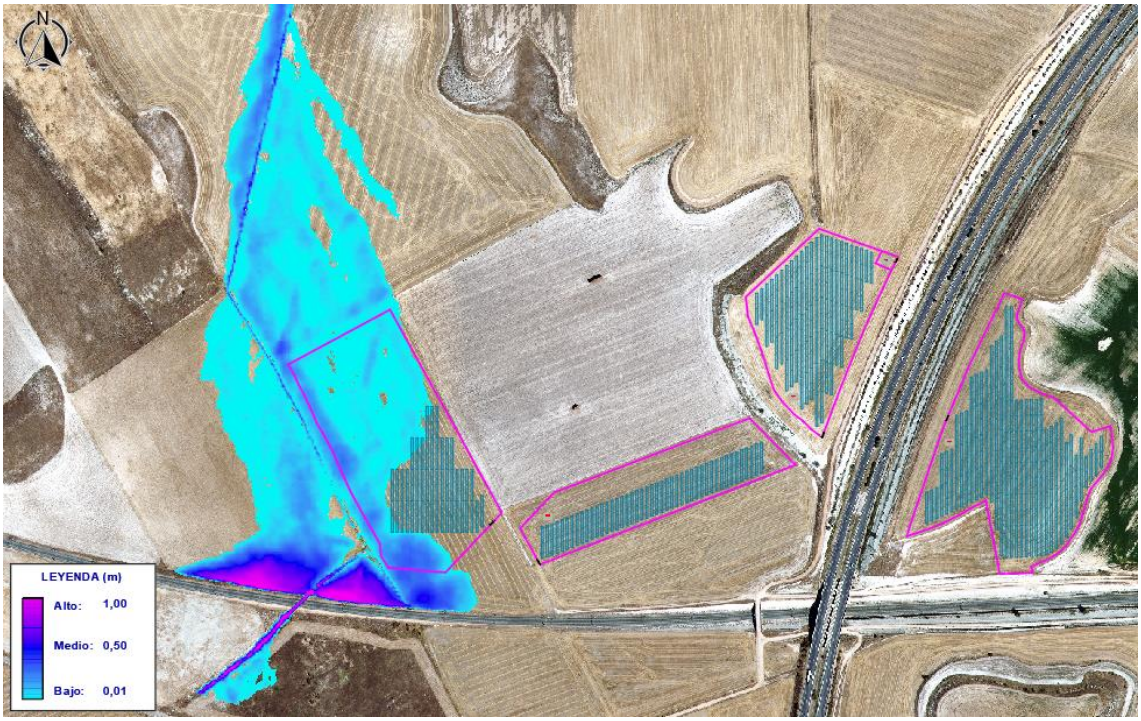


Figura 46. Resultados Calados T100 años

VELOCIDAD

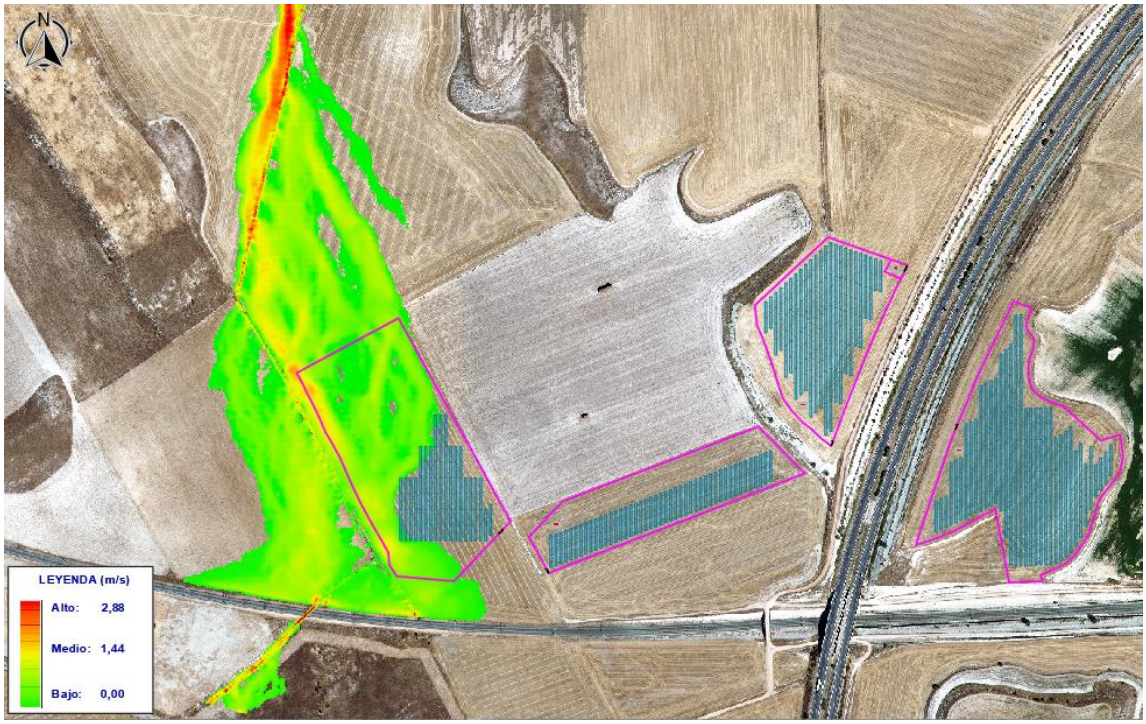


Figura 47. Resultados Velocidad T100 años

PELIGROSIDAD

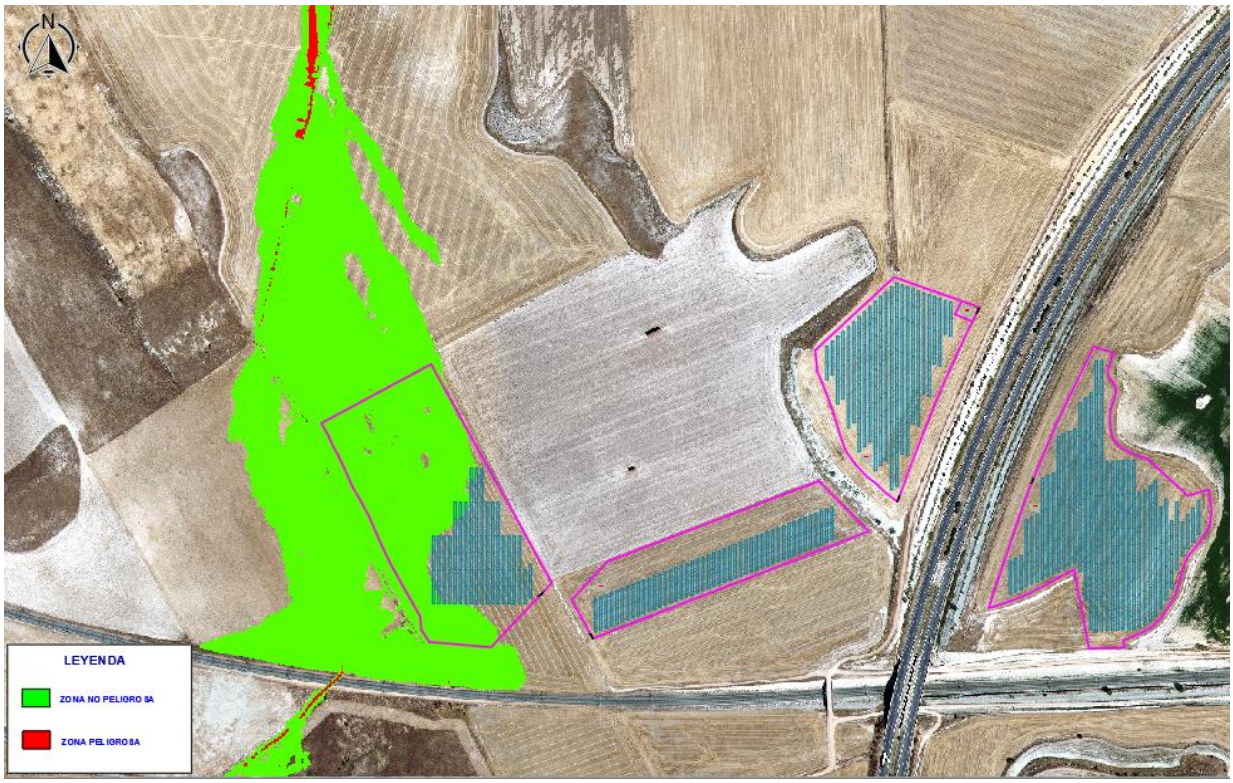


Figura 48. Resultados Peligrosidad T100 años

3.3.- Resultados para T = 500 años

CALADO

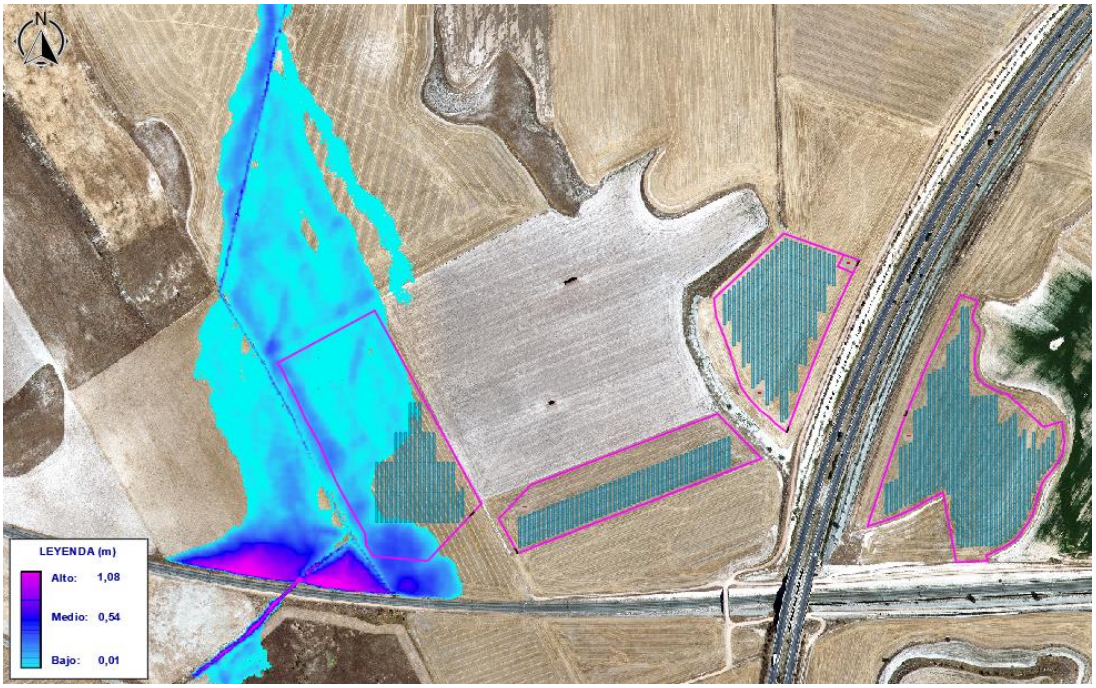


Figura 49. Resultados Calados T500 años

VELOCIDAD

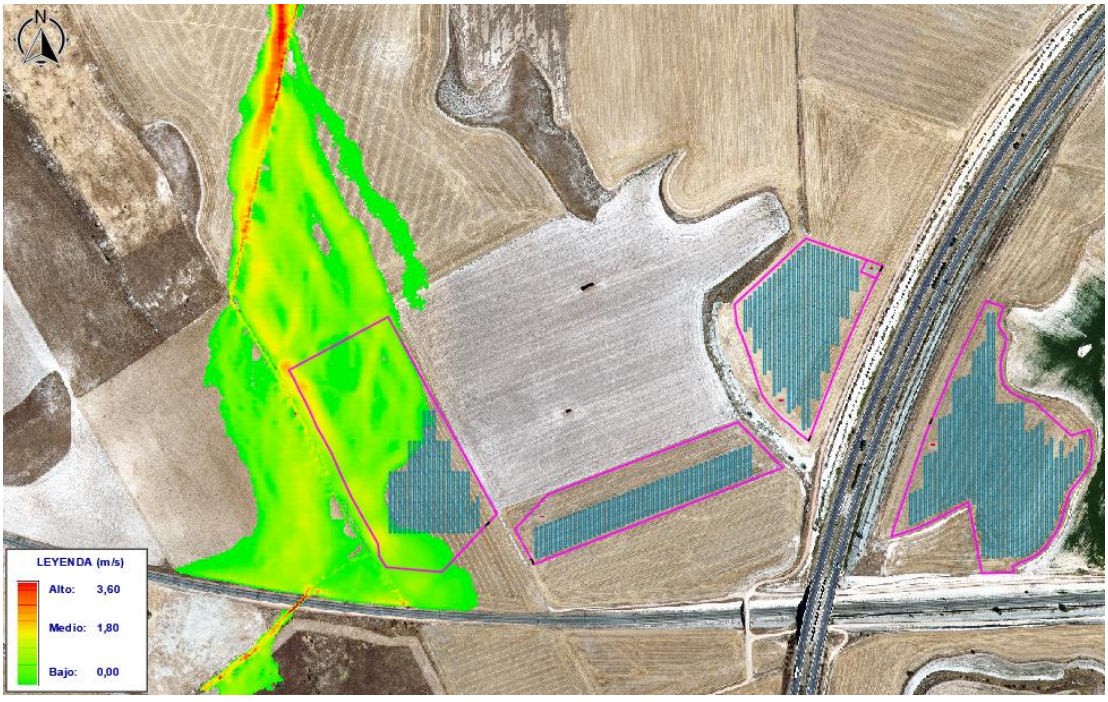


Figura 50. Resultados Velocidad T500 años

PELIGROSIDAD

Figura 51. Resultados Peligrosidad T500 años

DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO-ZONA DE SERVIDUMBRE-ZONA DE POLICÍA

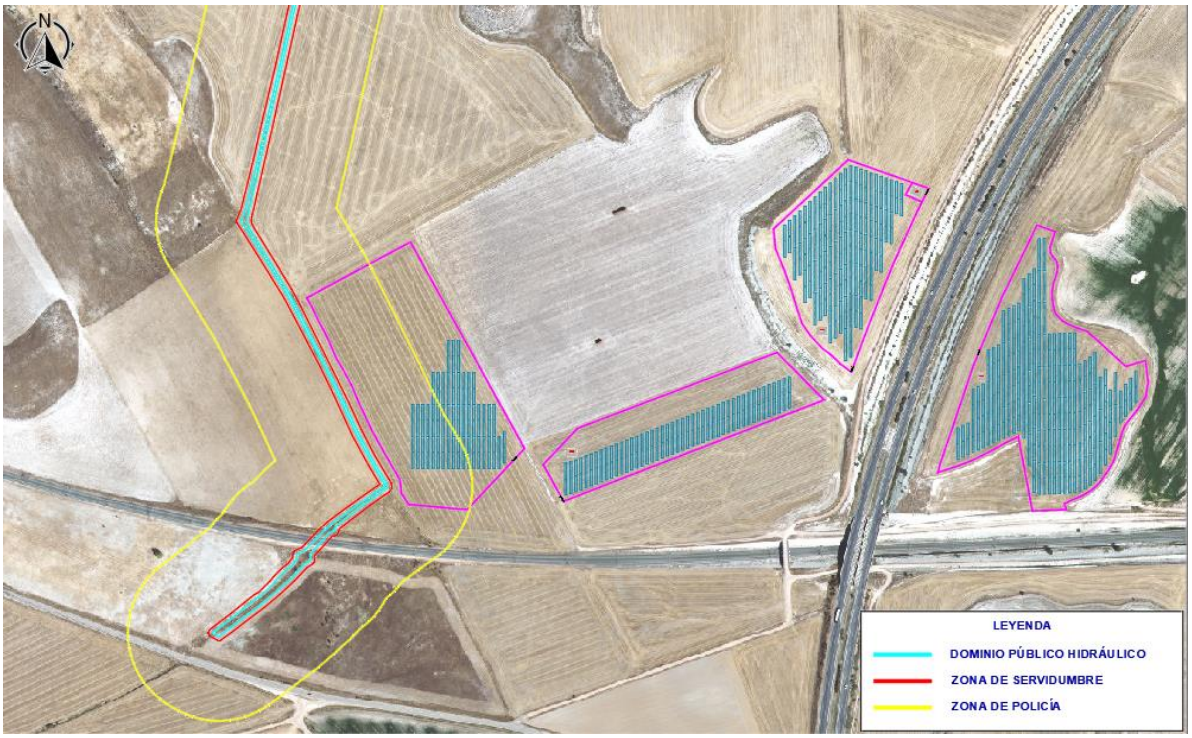


Figura 52. Zona de DPH – Zona Servidumbre – Zona de Policía

#E. PARTICULARIDADES DE DESARROLLO DEL ESTUDIO

1.- Modelo Utilizado

1.1.- Metodología del programa Iber.

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial.

La creación del programa la promueve el Centro de Estudios Hidrológicos del CEDEX en colaboración con:

- Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de La Coruña (UDC).
- Grupo FLUMEN de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).
- Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, vinculado a la Universidad Politécnica de Cataluña.

El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos, y el flujo de marea en estuarios. El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico (en el cual se centra el contenido del curso), un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares y/o cuadriláteros.

La interfaz de Iber está basada en un GID, para obtener mayor información podéis visitar la web www.gidhome.com , el cual funciona mediante un Pre-proceso donde se introducirá o creará una geometría la cual se discretizará en triángulos o cuadriláteros formando una malla, tras la introducción de unos datos hidrodinámicos el software realiza los cálculos ofreciendo unos resultados que se podrán visualizar y exportar desde el Post-proceso. En la figura siguiente se puede observar el funcionamiento de un GID: