



Trabajo fin de Máster



Título: Evaluación del Sistema de Riego por Aspersión en la Comunidad de Regantes del Adaja (Nava de Arévalo, Ávila). Propuesta para la mejora del manejo del Riego.

Autor: Illiassou Naroua

Tutora: Leonor Rodríguez Sinobas

Madrid 2011

INDICE GENERAL

1. Introducción **¡Error! Marcador no definido.**
- 1.1. Situación del agua en el mundo **¡Error! Marcador no definido.**
- 1.2. Disponibilidad y uso del agua en España **¡Error! Marcador no definido.**
- 1.3. El Regadío en España..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 1.4. Importancia de la evaluación de los sistemas de riego . **¡Error! Marcador no definido.**
- 1.5. Factores que afectan la uniformidad del riego por aspersión.**¡Error! Marcador no definido.**
- 1.6. Efecto de la uniformidad de riego por aspersión sobre el rendimiento de los cultivos y la eficiencia de uso de agua..... **¡Error! Marcador no definido.**
2. Antecedentes **¡Error! Marcador no definido.**
3. Objetivos **¡Error! Marcador no definido.**
4. Comunidad de Regantes “Rio Adaja” **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1. Descripción de la comunidad de regantes **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1.1. Situación actual **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1.2. El Clima **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1.3. Suelo **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1.4. Relieve **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1. Recursos hídricos..... **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1.7. Infraestructuras y caracterización hidráulica **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1.8. Cultivos y necesidades hídricas **¡Error! Marcador no definido.**
- 4.1.9. Métodos de riego **¡Error! Marcador no definido.**

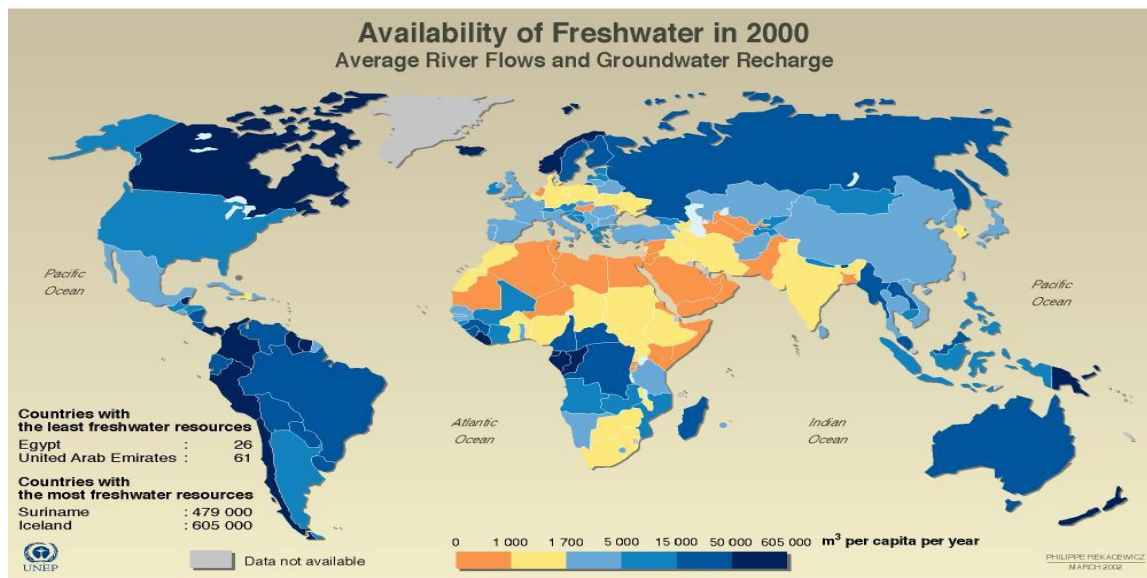
4.1.10.	Criterios de manejo del riego	¡Error! Marcador no definido.
4.2.	Metodología de trabajo	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.	Definición de los indicadores de riego	¡Error! Marcador no definido.
4.2.2.	Procedimientos de evaluación de campo.....	42
4.2.3.	Procesamiento de los datos de campo.....	43
5.	Resultados y Discusión	¡Error! Marcador no definido.
6.	Conclusiones.....	¡Error! Marcador no definido.
7.	Bibliografía:	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducción

1.1. Situación del agua en el mundo

El agua es imprescindible para la vida, tiene incalculable valor para las funciones metabólicas de los seres vivos en sentido general, y para las actividades productivas del hombre en particular. Nuestro planeta es muy rico en agua. Observando el mapa de la tierra se puede ver que casi la $\frac{3}{4}$ partes de la misma están cubiertas de este recurso (océanos), además de las fuentes naturales (ríos, lagos etc....) que se ubican en zonas continentales. Desgraciadamente, sólo el 2% de la misma es dulce (Fereres et al, 1996) y constituye la principal fuente para las necesidades del hombre (agricultura, industria y abastecimiento). El incremento de las necesidades y la limitación del recurso hacen que los estudios acerca de su gestión sean de interés.

A parte de su escasez, el agua se encuentra muy mal repartida, de modo que gran parte de la población mundial dispone de una cantidad muy por debajo del umbral de escasez de este recurso fijado en 1700 m^3 ; siendo el promedio anual global de aproximadamente 7400 m^3 por persona. En 1950, los países con escasez crónica de agua eran apenas 9, pero se espera que para el año 2025, de continuar con los patrones de producción y consumo actuales, una de cada 3 personas vivirá en uno de los 52 países que se encontrarán en condiciones de escasez (Concejo Mundial del Agua, 1996). En la figura 1 se puede observar la disponibilidad del agua dulce según los países.



Source: World Resources 2000-2001, People and Ecosystems: The Fraying Web of Life, World Resources Institute (WRI), Washington DC, 2000.

Figura 1: Disponibilidad de Agua Dulce en el Mundo. (Climate Institute, 2000).

Varias son las consecuencias de esta situación: la sobre explotación de los recursos superficiales y subterráneos, y su efecto en el ambiente, la falta de higiene o el uso de agua contaminada con el consiguiente riesgo contra la salud humana.

1.2. Disponibilidad y uso del agua en España

Los ríos españoles son de régimen torrencial con grandes diferencias de caudal entre estaciones, en total se estima en 106 000 hm³/año el volumen de agua del que sólo puede utilizarse, de manera natural, 9000 hm³ o sea menos del 10% del total (Echarri, 1998). Las infraestructuras hidráulicas como presas y embalses permiten una captación de, aproximadamente 50 000 hm³/año, que garantiza una disponibilidad de agua de 2800 m³/persona, una media superior a la de la Unión Europea. El problema radica en el hecho de que el recurso se distribuye de forma desigual sobre el territorio.

El abastecimiento, la demanda industrial y el regadío constituyen las tres demandas del recurso hídrico en España, cada uno de ellos requiere una determinada calidad, cantidad y distribución espacial.

El abastecimiento a la población se estima a unos 4700 hm³/año, algo más del 15% de las demanda consuntiva total. El uso para industria es del orden de 1700 hm³/año

aproximadamente el 5% del consumo total. Estos consumos no incluyen los destinados a las redes de distribución urbanas ni los de la producción energética (refrigeración e hidroelectricidad) dado que en comparación con los otros usos son mucho menores. El regadío es, mayoritariamente, la principal destinatario del agua en España, con una demanda superior a los 24000 hm³/año, lo que representa el 80% de las detracciones totales. La superficie regada es de 3,4 millones de ha, que supone el 18% de la superficie total cultivable. Dentro del regadío, el método de riego por superficie es de mayor consumo de agua_(59%), seguido del riego por aspersión (24%) y, por último, del riego localizado (17%) (Instituto Nacional de Estadística, 2008)

1.3. El Regadío en España

Las condiciones climáticas mediterráneas en España se caracterizan por un régimen de temperatura muy favorable a la producción agrícola. Pero la desigual distribución de los recursos hídricos y la variabilidad del régimen de lluvias limitan las producciones en ciertas regiones por el déficit de humedad en el suelo por lo que el regadío constituye una solución eficaz para paliar este déficit de humedad.

La importancia del regadío es mayor en el litoral mediterráneo y en el interior peninsular debido a las favorables condiciones físicas (temperatura, protección por el relieve, suelos apropiados), humanas (mercado internacional con buena comunicación por carretera y ferrocarril), la presencia de grandes ríos peninsulares y de obras hidráulicas estatales (embalses, trasvases etc.).

La importancia que el regadío tiene en la agricultura española se basa en su contribución a la producción final y al comercio exterior de productos agrícolas, al desarrollo agroindustrial y al asentamiento de población en el medio rural (Beltrán, 1996). La extensión de la superficie regada en los últimos treinta años, se ha debido al incremento del rendimiento de los cultivos y a la diversificación de los mismos. No obstante, la situación actual debate entre el aumento de la superficie regada y el problema de las sobreexplotación del recurso agua, lo que está favoreciendo la reducción de su superficie en algunas zonas donde el beneficio se ve reducido. En la figura 2 se observa la evolución de la superficie regada en España desde 1920 a 2007.

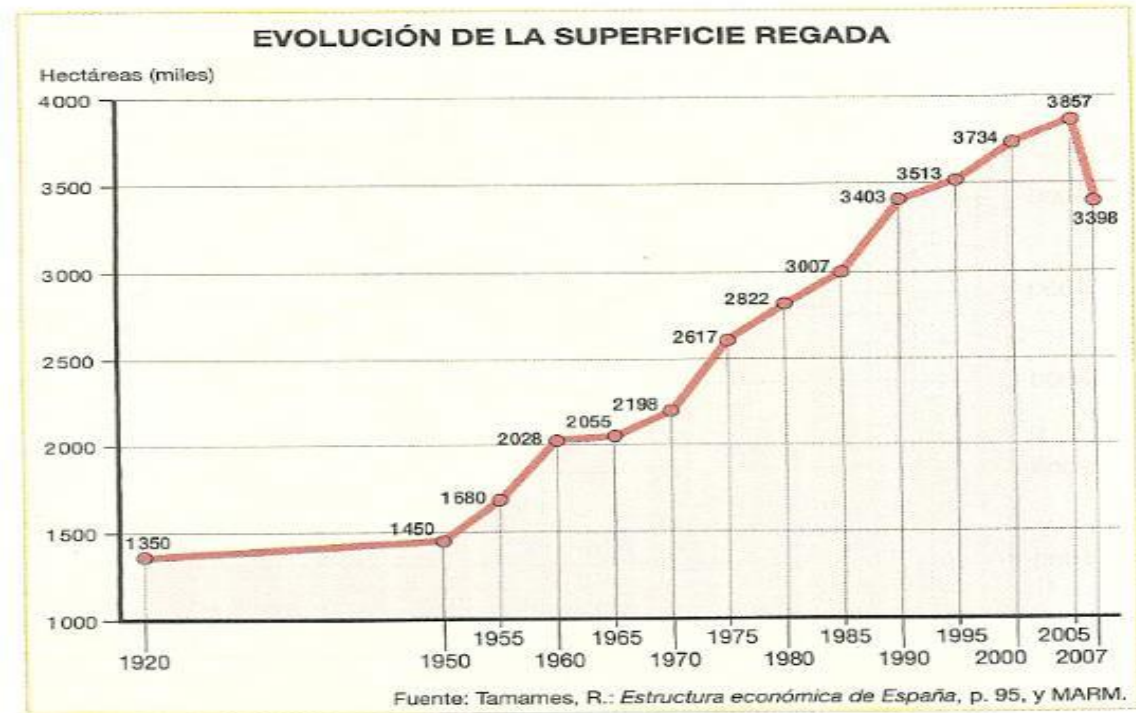


Figura 2. Evolución de la superficie regada en España según (Chiconte,2011)

1.4. Importancia de la evaluación de los sistemas de riego

Dado que el agua es cada vez más escaso y dado que la energía asociada al regadío en los sistemas de riego presurizados es cada vez más cara, los riegos deben ser más eficientes para poder mantener o incrementar los niveles actuales de la producción con menor disponibilidad de agua y energía. Asimismo, el efecto en el medio natural hace que los riegos del futuro deban de ser sostenibles. En este sentido, la evaluación en campo de los sistemas de riego permite conocer el funcionamiento del mismo, y establecer criterios de manejo de los sistemas de riego que mejoren su eficiencia y sus resultados.

El uso eficiente de agua de riego se refiere a una relación entre la cantidad que se pone a disposición de las plantas (input) y la que se extrae de su punto de almacenamiento (output). Teniendo en cuenta los procesos de captación y el transporte del agua para su almacenamiento, se obtiene la eficiencia global de riego (E_g), con un valor oscilante entre 0 y 1. Un sistema bien diseñado puede tener una

eficiencia global de riego superior a 80%, pero por desgracia en algunos sistemas este indicador no supera los 25% (Martín de Santana Olalla, López y Calera, 2005).

La eficiencia global del riego depende entre otros factores de la distancia recorrida en el proceso de transporte, distribución y aplicación del agua, del sistema de riego empleado y del estado de todas las instalaciones (captaciones, estructuras de almacenamiento, conducciones generales y secundarias o en parcela etc.), por lo que su valor puede ser descompuesto en la eficiencia de conducción (E_c), de distribución (E_d) y de aplicación (E_a).

En el proceso de evaluación de un sistema de riego por aspersión, a nivel de parcelas, se maneja precisamente el componente eficiencia de aplicación, está muy relacionado con la uniformidad del riego y engloba los siguientes aspectos: las pérdidas por percolación debidas a la falta de uniformidad de aplicación del agua por el sistema de riego, las pérdidas por escorrentía superficial, debidas tanto a un mal diseño del sistema como a un manejo inadecuado, las pérdidas por evaporación y arrastre durante el riego y las posibles pérdidas que se produzcan en el transporte del agua en las conducciones desde el punto de toma en la parcela hasta su descarga y aplicación por el sistema de riego (Keller y Bliesner, 1990).

La evaluación del riego por aspersión consiste en la determinación de indicadores de uniformidad de la distribución del agua, de las pérdidas por evaporación o desviación por efecto del viento, del volumen del agua aplicado en el riego Mateos (2006).

Clemmens y Molden (2007) observaron que los indicadores de la uniformidad de distribución del agua DU y el suministro relativo de agua de riego RIS , están directamente relacionados con índices relacionados con la productividad como: $\$/ha$ o $\$/m^3$. La extrapolación de estos resultados podría ser útil para estimar los beneficios del regadío.

1.5. Factores que afectan la uniformidad del riego por aspersión.

Los factores que afecta la distribución del agua en el riego por aspersión son: las características del inyector (tamaño, tipo, ángulo y número) (HaiJun, HongZhi e

YiChao, 2010 y Dukes y Perry, 2006), la disposición del sistema (separación de los aspersores sobre el lateral, la separación entre laterales, la altura de los aspersores, el movimiento del sistema) y el clima (velocidad del viento y temperatura) (Dechmi, Playán, Cavero, Faci y Martínez-Cob, 2003).

Según HaiJun, HongZhi e YiChao, (2010), a presión de trabajo y altura de los aspersores constantes (140 kPa y 1,2m), en un pivote central, el diámetro mojado y la intensidad de lluvia aumentan con el tamaño del aspersor, pero el pico instantáneo de la intensidad de lluvia y el ancho efectivo mojado no se relaciona con el tamaño del aspersor. La reducción del tiempo de giro de los aspersores de 60s a 40, incrementa el coeficiente de uniformidad radial pero sin ningún efecto sobre el circular.

En las condiciones del experimento (2.4 m de elevación de los aspersores y 140 kPa de presión), el diámetro mojado por el sistema de riego por aspersión a difusor de disco rotatorio es 1,6m mayor que el de difusor de disco fijo, por lo tanto con menor intensidad de lluvia. La reducción de la elevación del aspersor (2.4 m a 1 m) provocó una disminución en el diámetro mojado de 2.6m con el correspondiente aumento de la precipitación en el área mojada. En el caso del sistema a difusor de disco rotatorio, la regresión lineal del modelo basado en la velocidad del viento explica el 57 % de la variabilidad de las pérdidas por evaporación o por desviación del efecto del viento, independientemente de los dos casos de elevación del aspersor. En consecuencia, en las condiciones del experimento, bajar los aspersores significa favorecer la escorrentía y sin ningún efecto positivo sobre las pérdidas por la evaporación o la desviación del viento (Playán, Garrido, Faci y Galán, 2004).

Chávez, Pierce y Evans (2009) obtuvieron mayores coeficientes de uniformidad de Christiansen (1942) con menores velocidades de movimiento en un pivote central por lo tanto menor variabilidad de aplicación del agua.

La diferencia de altura entre los colectores podría causar diferencias en los resultados de la lamina de riego y del coeficiente de uniformidad de hasta 10 mm y 6% respectivamente (Dogan Kirnak y Dogan, 2008).

1.6. Efecto de la uniformidad de riego por aspersión sobre el rendimiento de los cultivos y la eficiencia de uso de agua.

Los sistemas de riego presurizados se caracterizan por algún grado de des uniformidad en la aplicación de agua. Potencialmente, esta falta de uniformidad en la aplicación puede afectar el rendimiento de la cosecha y eficiencia de uso de agua, lo que ha sido demostrado por diferentes investigadores (Warrick y Gardner, 1983; Letey et al., 1984; Montovani et al., 1995; Li, 1998).

La variabilidad espacial de la lamina del agua del riego por aspersión debido a la velocidad del viento está correlacionada con la variabilidad espacial del rendimiento del grano del maíz (Dechmi, Playán, Cavero, Faci y Martinez-Cob, 2003). Estos resultados indican la necesidad de seleccionar las mejores condiciones del viento en el riego por aspersión, para obtener mejores rendimientos.

La lámina de riego por aspersión y el rendimiento de la alfalfa representan una distribución normal con una variación del contenido de agua en el suelo mayor que la del rendimiento de la alfalfa. Por otra parte, el coeficiente de variación del contenido de humedad del suelo es 20% mayor que el de la uniformidad de la aplicación del agua de riego. Esto ilustra el efecto directo de la distribución del agua de este sistema de riego, de tal modo que la reducción del volumen de agua aplicado y el incremento de la uniformidad del riego permiten mejorar la eficiencia del uso del agua de riego para el alfalfa (Montazar y Sandeghi , 2008).

2. Antecedentes

La modernización de los regadíos es indispensable para asegurar la sostenibilidad de la agricultura de regadío en España (Faci et al., 2000).

En la transformación de la comunidad de regantes de Sucs (Lleida), se proyecta una reducción del volumen de agua aplicada por unidad de superficie para el cultivo de alfalfa de 12000 a menos de 7000 m³/ha (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010).

Los estudios del uso del agua son el primer paso en este camino, al servir para diagnosticar los problemas concretos que afectan al manejo de los recursos hídricos en el ámbito de la agricultura (Losada, 1994).

La comunidad de regantes del Adaja (Nava del Arévalo, Ávila) se ha acogido al plan de modernización del regadío y, las obras de su transformación siguen sin acabar por lo que, es un buen ejemplo para realizar un seguimiento y comprobar si la gestión del recurso agua corresponde con las expectativas creadas y para evaluar su impacto en el entorno natural.

Para conocer como se realiza la aplicación de agua en el riego y poder identificar y solucionar los posibles problemas de manejo y funcionamiento de las instalaciones, hay que realizar una evaluación de los sistemas.

Los resultados de las evaluaciones de los sistemas de riego constituyen una base para la toma de decisiones que permiten optimizar el uso de los recursos agua y energía.

Diversas son las metodologías desarrolladas y aplicadas por los autores para la evaluación de los sistemas de riego por aspersión. En principio se muestrea el agua aplicado por los aspersores definidos (Merriam y Keller, 1978) con el propósito de determinar los índices del resultado de riego.

3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es evaluar los sistemas de riego por aspersión de la comunidad de regantes del río Adaja con el propósito de conocer la distribución del agua en los sistemas, los resultados de riego y proponer recomendaciones para la mejora en el manejo del uso del agua.

4. Comunidad de Regantes “Río de Adaja”

4.1. Descripción de la comunidad de regantes

4.1.1. Situación actual

La comunidad de regantes del Adaja (CCRR Adaja) está dividida en cinco sectores. Una superficie de 800 ha de los sectores I y IV entró en funcionamiento el año 2010 y está previsto que comienzan a funcionar entre 3500 y 4500 ha, de los sectores I, II, III y IV, comiencen en 2011 y se alcanzarán las 6500 ha en el 2012.

La sede de la comunidad, se ubica en Nava de Arévalo, que se sitúa al norte de la provincia de Ávila, en la comunidad autónoma de Castilla y León; según las siguientes coordenadas geográficas: latitud: 40 °58'47,55" Norte y longitud: 4 °46',88" Oeste. En la figura 3 se observa la situación geográfica de la comunidad de Nava de Arévalo.



Figura 3: Localización geográfica de Nava de Arévalo según www.navadearevalo.es

La zona regable pertenece a la cuenca hidrográfica de Duero que se extiende sobre una superficie de 97 290 km², de los cuales el 81% son del territorio Español, y dentro

los cuales 5386 km² (6,82% del total de la cuenca) pertenece a la provincia de Ávila (Confederación Hidrográfica del Duero, 2011).

4.1.2. El Clima

El análisis climático de la zona objeto de estudio está basado en los datos que proporcionaron cinco estaciones pluviométricas (P), tres termo pluviométricas (TP) y una completa (C), seleccionadas según criterios espacio-temporales recomendados, para este tipo de estudio, por la Organización Meteorológica Mundial. Los observatorios pluviométricos (P) utilizados son: Arévalo, Cabezas de Alambre y Sanchidrián en la provincia de Ávila y Martín Muñoz de las Posadas y San Cristóbal de la Vega en la provincia de Segovia. Los observatorios termo pluviométricos (TP) utilizados son: Arévalo (Instituto) y Villanueva del Aceral en la provincia de Ávila y Ataquines en la provincia de Valladolid. Como estación completa (C) se ha recurrido a la estación de Ávila (Observatorio).

Las características agroclimáticas son:

Temperaturas.

Temperaturas medias anual = 10,7 a 12,2 C

Temperaturas medias de máximas = 16,9 a 19,1 C

Temperaturas medias de mínimas = 4,5 a 5,3 C

Temperaturas máximas absolutas = 34,7 a 38,0 C

Temperaturas mínimas absolutas = -6,6 a -10,5 C

Oscilación térmica = 16,7 a 20 C

Régimen de heladas.

EDLH = 147 a 168 días desde Mayo a Octubre.

EMLH = 176 a 194 días desde Abril a Octubre.

EmLH = 163 a 81 días desde Junio a Agosto.

Precipitaciones.

Pluviometrías medias anuales = 378,1 a 482,2 mm.

Precipitaciones máx. medias en 24 h.= 136,6 a 175,1 mm.

Nº días de lluvias al año = 61,1 a 93,9

Humedad relativa media = 60,6%

Evapotranspiración potencial

E.T.P. de Thornthwaite = 643,9 a 717 mm.

E.T.P. de Blaney-Criddle = 977,1 a 1.091,7 mm.

E.T.P. de Penman modificado = 1.334,5 a 1.478,2 mm.

Clasificaciones climáticas. Clasificación de Papadakis.

Valoración climática.

Tipo de invierno = Avena fresco (av)

Tipo de verano = Maíz (M)

Régimen térmico = Templado (TE)

Régimen de humedad = Mediterráneo seco (Me)

Tipo climático = Mediterráneo templado

A continuación se muestra en la tabla 1 los datos del año medio de las características climatológicas de la estación meteorológica AV01 - Nava de Arévalo (Ávila), tomados el 18 de mayo del 2011 y que pertenecen a todos los registros en la estación desde el 2001.

Datos absolutos registrados													
Me s	Días	Temp. med	Temp. máx.	Temp. mín.	Hum. med.	Hum máx. med	Hum mín. med	Vel. vient	Dir. viento (*)	Vel. máx	Dir. Vel. máx (*)	Rad.	Prec. acum.
-	-	°C	°C	°C	%	%	%	m/s	°(N=0°)	m/s	°(N=0°)	MJ/m ²	mm
1	308	3.05	18.66	-12.67	86.98	103.0	28.19	2.63	231.02	20.46	254.6	6.85	266.2
2	304	3.99	20.61	-17.48	80.05	103.0	11.69	2.91	225.18	21.85	253.7	10.74	281.6
3	340	7.04	22.12	-14.67	73.53	100.0	12.17	3.14	232.81	19.31	286.6	15.09	315.8
4	330	9.51	27.95	-6.26	71.06	100.0	10.83	2.66	250.87	16.86	290.3	20.51	387.4
5	327	13.21	34.59	-3.58	66.26	100.0	11.03	2.34	256.55	15.87		23.6	501.8
6	300	19.0	36.92	-0.18	54.92	100.0	7.68	2.21	254.68	16.04	195.1	27.19	287.2
7	310	20.83	37.02	3.23	46.93	98.0	5.94	2.25	282.2	18.42	273.0	28.51	96.6
8	310	20.45	38.21	2.56	48.87	99.2	7.35	2.26	277.33	17.74	237.1	24.88	118.4
9	297	16.43	35.59	-2.46	57.87	99.5	7.21	2.14	248.37	14.62	179.3	19.15	192.2
10	310	11.87	29.53	-6.72	73.09	100.0	9.42	2.63	214.93	22.24	307.4	11.91	655.8
11	300	5.85	43.18	-10.26	83.27	103.0	7.55	2.62	228.31	18.05	272.4	7.9	365.8
12	310	3.17	17.29	-15.02	85.67	103.0	12.9	2.7	210.12	20.78	275.7	6.2	284.6

Tabla 1: Datos del año medio de las características climatológicas de la estación AV01 - Nava de Arévalo (Ávila) tomados el 18 de mayo del 2011.

Datos calculados:									
Mes	ETo(P.MON.) acumulada	Precipit. efectiva(P.M ON.) acumulada	Horas insol.	Veloc. viento diurna (*)	Veloc. viento nocturna (*)	Recorrido viento	Rad. neta	Temp. med diurna	Hum. media diurna
-	mm	mm	HH:mm	m/s	m/s	km/día	MJ/m ²	°C	%
1	245.94	74.46	6.85	3.05	2.22	227.44	2.07	4.62	82.07
2	422.57	76.2	8.59	3.4	2.37	251.03	3.99	6.34	72.17
3	799.34	103.86	10.04	3.83	2.43	271.02	7.05	9.91	63.37
4	1094.27	147.37	11.52	3.38	1.93	229.38	10.71	13.1	57.94
5	1416.47	214.13	12.41	3.07	1.62	202.05	13.01	17.09	51.49
6	1760.05	131.06	13.26	2.93	1.49	190.86	14.96	23.84	38.38
7	2007.67	35.15	13.26	3.04	1.47	194.78	15.03	25.99	31.76
8	1793.11	46.09	12.38	3.0	1.51	194.96	12.52	25.39	34.39
9	1186.18	82.16	10.93	2.79	1.5	185.27	8.74	20.84	43.7
10	712.56	310.99	8.95	3.25	2.04	227.48	4.84	14.79	63.1
11	340.41	134.02	7.39	3.08	2.15	226.46	2.42	8.0	76.73
12	236.62	95.72	6.59	3.07	2.34	233.6	1.44	4.78	80.96

Tabla 2: Datos del año medio calculados en la estación AV01 - Nava de Arévalo (Ávila) el 18 de mayo del 2011.

(*): La dirección del viento varía de 0 a 360 grados en el sentido de las agujas del reloj.

4.1.3. Suelo

La zona objeto de estudio comprende una superficie total de 13.597 ha, se encuentra situada en la margen izquierda de la cuenca del Duero, siendo los materiales que la componen formaciones sedimentarias propias de rellenos de cuenca tectónicas en facies medias. Presenta dos grandes unidades geomorfológicas que son: las residuales y las sedimentarias.

Los suelos de la unidad residuales son de mayor importancia superficial, son los siguientes:

Suelos de llanura inferior (D₁).

La unidad fisiográfica de llanura (formación baja) es la predominante en el área de estudio. El relieve es completamente llano (con pendientes del 0-2%) o, en ocasiones, ligeramente ondulado. Este relieve no impediría el riego por gravedad pudiendo realizarse ligeros refines en las ondulaciones.

Dentro de esta unidad se presentan también colinas con una diferencia de cota significativa como para impedir el riego por gravedad. El tipo de suelo es en estos casos muy similar al de la llanura en la que se encuentran situadas.

No se ha observado presencia de capa freática ni, en general, problemas de drenaje subterráneo.

Los suelos de llanura inferior son de 3 tipos:

- Suelos sobre arcosas.

Esta unidad, la más extendida en la zona, presenta unos suelos del tipo A/B/C con un epipedón de textura arenosa de unos 30-40 cm. de espesor, muy friable en húmedo y suelto en seco. La transición al horizonte B es abrupta o neta siendo éste de textura arcillo-arenosa. Tiene macro estructura prismática que rompe en bloques angulares o sub angulares gruesos y firmes. Alcanza una profundidad de 70-90 cm., quedando reducida la profundidad efectiva a esta profundidad y desarrollándose las raíces en las caras de los agregados estructurales. La transición al horizonte C es gradual. Este horizonte es de naturaleza arcósica, con textura arenosa o franco arenosa y sin estructura.

La infiltración en el epipedón es rápida, siendo lenta (0,03-0,1 m/día) en el horizonte B. En el horizonte C también es lenta o moderadamente lenta si contiene carbonatos, no pudiéndose separar cartográficamente estas unidades.

El contenido en agua útil es bajo en el horizonte superior y moderado en el horizonte B. No se presentan problemas de salinidad o alcalinidad.

- Suelos sobre Arenas.

Estos suelos se localizan en la margen derecha del río Adaja, entre Martín Muñoz de la Dehesa y Espinosa de los Caballeros, y en la margen izquierda del río Arevalillo entre Palacios Rubios y Vinaderos. Son suelos de perfil A/C, homogéneos, de textura arenosa franca o arenosa con alta percolación y baja retención de humedad (3% de agua útil). La profundidad efectiva oscila entre 70-100 cm.

En la margen izquierda del río Arevalillo, al Sur, se encuentran asociados en forma de complejo (aproximadamente el 8% arenosos) con suelos sobre gravas.

- Suelos sobre arcillas

Se localizan este grupo en la zona Sudeste, en la margen derecha del río Adaja. Son suelos de perfil A/(B)/C, textura arcillosa y características vérticas. Presentan una macro estructura prismática que rompe en bloques angulares finos y medianos. La profundidad efectiva varía de 100 a 130 cm. siendo alta la retención de humedad (50-60%) y el contenido de agua útil (20%).

La infiltración en seco es muy rápida considerándose moderadamente lenta con suelo a capacidad de campo, y lenta en húmedo, dada su textura y estructura.

Suelos de llanura superior (D₂):

- De planicie sobre placa caliza.

Esta unidad se sitúa al Sur de Villanueva del Aceral. En la superficie presenta frecuentes gravas y piedras calizas. El horizonte superficial, arcilloso, tiene una profundidad de 40 cm., encontrándose subyacente una placa caliza discontinua, de 20-30 cm. de espesor, situándose por debajo de ella arcosa con niveles carbonatados.

La profundidad efectiva es sólo de 40 cm. y la capacidad de retención de humedad moderada. No presenta problemas de drenaje

- De planicie sobre arcosa.

Esta unidad se sitúa al Norte de Palacios Rubios. Se trata de suelos tipo A/(B)/C con un epipedón de textura franco arcillo arenosa de 30 cm. de espesor, friable en húmedo. La transición al horizonte B es neta siendo éste de textura arcillo-arenosa, macro estructura en bloques angulares medianos y extremadamente duro, estando moderadamente cementado. Alcanza una profundidad de unos 70 cm., quedando reducida la profundidad efectiva a 60-70 cm. y desarrollándose las raíces por las caras de los agregados estructurales.

La transición al horizonte C es neta. Este horizonte es de naturaleza arcósica y se encuentra cementado. Presente un 30% de canto rodado en superficie.

Suelos de laderas y colinas en pendiente suave (D₃).

La forma del relieve es en laderas y colinas redondeadas con pendientes del 2-5%. Se presentan las mismas unidades que sobre llanura pero con una menor profundidad efectiva.

Suelos de laderas y colinas en pendiente moderada (D₄).

La unidad de laderas, formada generalmente por laderas rectilíneas, une las formaciones altas situadas al Sur de Aldeaseca con la unidad de llanura descrita anteriormente. Las pendientes oscilan entre el 3-8%, lo que dificulta el riego por gravedad dada la limitación de estos suelos en profundidad (60-70 cm.) que impide la nivelación del terreno.

Se trata de suelos sobre arcosa, de escasa profundidad efectiva, poca fertilidad y muy baja retención de humedad, que presentan un horizonte de arcosa cementada a escasos cm. de la superficie.

Suelos de escarpes (D₅).

Las unidades de escarpes se caracteriza por tener una pendiente fuerte o abrupta. Estos suelos están representados por la calicata C-32, derivada de caliza, pero es

posible encontrar suelos sobre otro tipo de materiales. Son suelos superficiales de textura superficial franco-arcillosa.

Los suelos de las unidades sedimentarias son:

Valles aluvio-coluviales (F₁).

Los valles no son de excesiva anchura, con pendientes del 2-3%. En su fondo discurre un arroyo natural o de drenaje excavado. El horizonte superficial es de textura media (franco) y estructura sub angular media, con una profundidad de 30-35 cm. El horizonte B es de textura fina (franco-arcillosa o arcillo-arenosa) con estructura angular gruesa fuerte. La profundidad efectiva alcanza de 70 a 100 cm. En algunos se pueden presentar problemas de drenaje, dada su posición baja, aunque no tienen problemas de salinidad ni alcalinidad.

Suelos de las formaciones endorreicas (E₂).

Las formaciones endorreicas, depresiones cóncavo planas con poca profundidad, se encuentran diseminadas por toda la zona. Presentan un perfil tipo sobre arcosas con epipedón franco sobre horizonte B arcilloso o arcillo limoso. Estos suelos tienen valores moderados de salinidad y altos de alcalinidad (CE entre 4-6 mmhos/cm.; PSI > 15) y una basicidad muy elevada (pH = 9,5).

4.1.4. Relieve

Las pendientes se agrupan en diferentes clases, de forma que el terreno que pertenece a una determinada clase se comporta más o menos homogéneamente ante la actividad propuesta.

En relación con la caracterización de la Capacidad Agrológica de los Suelos se usa la clasificación del Ministerio de Agricultura, que está basada en los grados de variación propuestos por el Servicio de Conservación de Suelos de EEUU (1966), y agrupa el terreno en los siguientes intervalos:

- Zonas llanas: pendiente < 3%
- Zonas con pendiente suave: pendiente del 3-10%

- Zonas con pendiente moderada: pendiente del 10-20%
- Zonas con pendiente fuerte: pendiente del 20-30%
- Zonas con pendiente muy fuerte: pendiente del 30-50%

En esta clasificación, el límite de los suelos laborables se fija para una pendiente del 20%, mientras que la pendiente de los suelos que no admiten ningún sistema de explotación, que no sea la reserva natural, se fija en el 50%.

En relación con los fenómenos de erosión y deslizamientos se ha seguido la clasificación de MARSH (1978) para determinar los riesgos de erosión que se presentan en la zona. Presenta la siguiente delimitación:

- Pendiente suave: < 5%. Con esta pendiente los terrenos pueden dedicarse a los usos más intensivos puesto que son áreas sin riesgo de erosión.
- Pendiente moderada: 5-15%. Son áreas con riesgo moderado de erosión. Con esta pendiente se pueden desarrollar actividades agrícolas y de urbanización. Sin embargo, una inadecuada explotación puede hacer susceptible la superficie a la erosión.
- Pendiente fuerte: 15-25%. Son áreas con alto riesgo de erosión, en las que hay peligro de formación de cárcavas si se disminuye la cubierta vegetal.
- Pendiente muy fuerte: > 25%. Hay peligro de deslizamientos si sobre estos terrenos se realizan determinadas construcciones o labores de remoción.

Como se ve, ambas clasificaciones presentan intervalos distintos. Si se modifican estas dos clasificaciones adaptándolas a las especiales características y circunstancias de la zona estudiada e intentando unificarlas, resulta:

- Zonas llanas: pendiente < 2%. Son zonas sin riesgo de erosión que pueden dedicarse a los usos más intensivos.

- Zonas de pendiente suave: pendiente entre 2-8%. Al igual que la anterior no presenta riesgo de erosión y puede dedicarse a usos intensivos.
- Zonas de pendiente moderada: pendiente entre 8-12%. Son zonas con riesgo moderado de erosión, lo que unido a su poca representatividad espacial en la zona, aconseja su exclusión para el riego.
- Zonas de pendiente fuerte: pendiente > 12%. Son áreas con alto riesgo de erosión, en las que hay peligro de formación de cárcavas si se disminuye la cubierta vegetal. Son zona excluidas del riego y en las que se recomienda mantener cubiertas de vegetación natural.

El reparto de superficies dentro de la zona estudiada para este punto es el siguiente:

- Pendientes < 2%: 10.403 ha.
- Pendientes entre 2-8%: 1.883 ha.
- Pendientes entre 8-12%: 294 ha.
- Pendientes > 12%: 373 ha.

4.1.5. Recursos hídricos

La zona regable del río Adaja pretende aprovechar los recursos hídricos regulados por la presa del Castro de las Cogotas. Según el informe de regulación del mencionado embalse, realizado por la Confederación Hidrográfica del Duero en enero de 1992, dichos recursos permitirían el riego de una superficie comprendida entre 6900 y 7200 ha.

El agua para abastecimiento de los sectores I y IV será suministrada conjuntamente, garantizándose de forma continua un caudal de 3294 L/s para lo que se construyó una balsa de regulación con 475000 m³ de capacidad, lo que garantizaría un caudal continuo de 0.747 L/s durante 2 días a una superficie regable de 3676 ha. Los sectores II y III, se abastecerán a partir de la balsa de regulación de las Porteras con caudal continuo de 0.747 L/s por último, el sector V se alimenta de la balsa de regulación de Vauperal con el mismo caudal continuo.

Respecto a la clasificación de las aguas para el riego se han utilizado los datos de la estación n º46-Ávila, proporcionados por la comisaría de Aguas según los cuales la calidad del agua se clasifica como C₁S₁ lo que indica una calidad excelente para el riego.

4.1.6. Distribución parcelaria y aprovechamiento de los suelos

Las características climáticas y edafológicas de la zona han condicionado los cultivos de la misma. En secano predomina la alternativa cerealista, siendo la cebada el cultivo mayormente explotado, el uso de barbecho blanco ha ido reduciendo con los años, recurriéndose al barbecho sembrado, generalmente con girasol. En los regadíos predominan la remolacha, la patata y algunas especies forrajeras. A continuación se observan en las figuras 4 , 5 y 6 los planos de distribución parcelaria en los sectores I y IV.

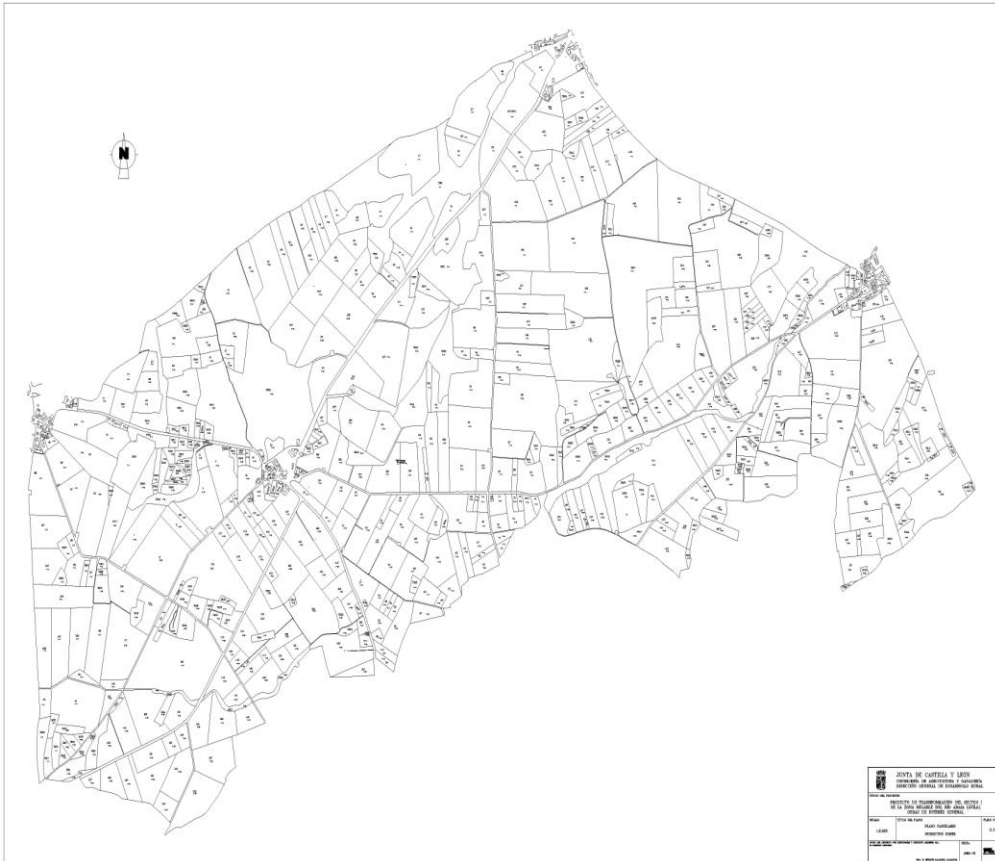
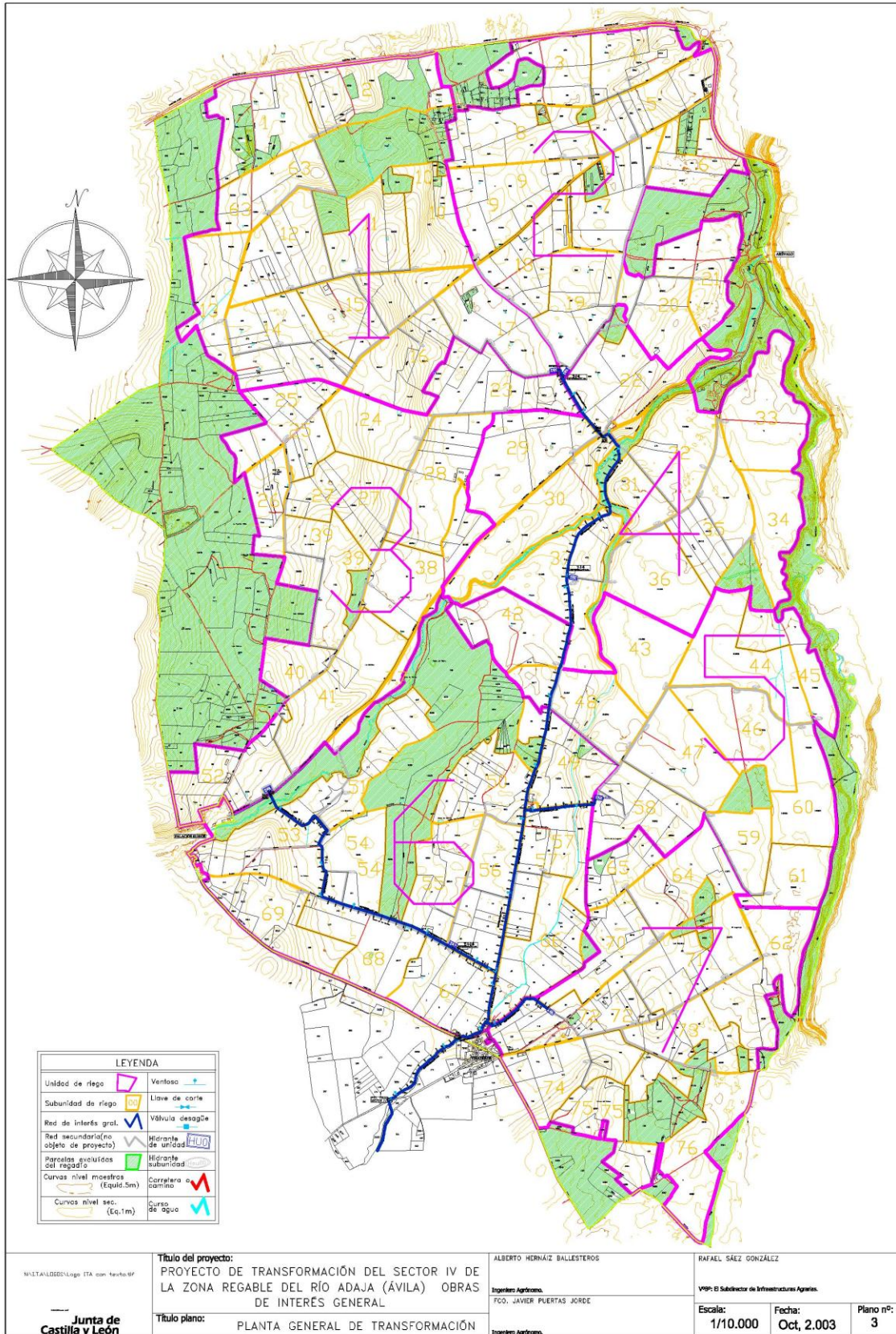


Figura 4: Plano subsector norte del sector I (Fuente: proyecto de transformación de la comunidad de regantes)



Figura 5: plano subsector sur del sector I. (Fuente: proyecto de transformación de la comunidad de regantes)



LEYENDA	
Unidad de riego	Verroso
Subunidad de riego	Llave de corte
Red de interés gen.	Válvula desagüe
Red secundaria (no objeto de proyecto)	Mirante de entidad
Parcelas evolucionadas del regadío	Mirante subunidad
Curvas nivel maestras (Eq. 5m)	Carretera o camino
Curvas nivel sec. (Eq. 1m)	Curso de agua

MILTA/ALDOD/Logo ITA con fecha 09
Junta de Castilla y León

Título del proyecto:
 PROYECTO DE TRANSFORMACIÓN DEL SECTOR IV DE LA ZONA REGABLE DEL RÍO ADAJA (ÁVILA) OBRAS DE INTERÉS GENERAL

Título plano: PLANTA GENERAL DE TRANSFORMACIÓN

ALBERTO HERNÁNZ BALLESTEROS
 Ingeniero Agrónomo.
 FCC - JAVIER PUERTAS JORDE
 Ingeniero Agrónomo.

RAFAEL SÁEZ GONZÁLEZ
 VPP- El Subdirector de Infraestructuras Agrarias.

Escala: 1/10.000 Fecha: Oct, 2.003 Plano nº: 3

Figura 6: Plano de distribución parcelaria y proyecto de transformación del sector IV.
(Fuente: proyecto de transformación de la comunidad de regantes)

4.1.7. Infraestructuras y caracterización hidráulica

Azud de derivación

Para derivar el agua del cauce del río Adaja a la conducción que abastece a la zona regable se proyectó un azud que debe cumplir la doble misión de dotar al agua de la presión necesaria y crear el embalse que permita hacer frente a las incidencias que se puedan producir durante la explotación. El azud dispone de los elementos de desagüe necesarios para cumplir las prescripciones de la Instrucción de Grandes Presas. El caudal punta a evacuar por el aliviadero es, la suma del laminado por la presa del Castro de las Cogotas más el vertiente de la cuenca intermedia entre dicho embalse y el azud proyectado, obteniéndose un caudal punta de 292 m³/s.

En la tabla 3 se indican las principales características del azud.

Longitud de coronación	123,75 m.
Longitud de aliviadero	81,00 m.
Altura total del Azud	22,00 m.
Cota de coronación	917,00
Cota de máximo embalse extraordinario	616,00
Cota de aliviadero	912,75/913,00
Cota de máximo embalse normal	912,50
Cota de mínimo embalse normal	911,00
Cota mínima de cimentación	985,00

Altura de vertido	3,00 m.
Superficie inundada (M.E.N.)	61.352 m ²
Volumen embalsado (M.E.N.)	367.759 m ³
Volumen Embalsado (M.E.E.)	622.255 m ³
Volumen Regulado	83.149 m ³

Tabla 3: Características del azud.

Redes de transporte desde la basa a los sectores de riego

Desde el azud a la balsa de los sectores I y IV, discurre una red de tuberías de 25,2 km de longitud y 2000 mm de diámetro, con presión nominal entre 4 y 6 atm. Así mismo desde la balsa de estos sectores hasta la de los sectores II y III, discurre una red de tubería de 6,51 km de longitud y diámetro 1500 con una presión de trabajo entre 6 a 8 atm. Por último, se localiza una desviación con un recorrido de 4,85 km y diámetro 1100 mm con presión de trabajo entre 8 y 12 atm que llega hasta la balsa del sector V. El material de los dos primeros tramos es hormigón armado con camisa de chapa y junta soldada, el último tramo es de hormigón pretensado con camisa de chapa y junta soldada.

Balsas

Con las aportaciones de agua que se producen a través de la red de transporte procedente del azud de Zorita, y mediante cada una de las balsas, se pretende independizar la demanda diaria de las zonas de riego. Así se permitirá el riego a la demanda y el llenado de las balsas durante todo el día con el caudal ficticio continuo, maximizándose la capacidad de transporte de la conducción.

Las tres balsas tienen las siguientes características:

- Balsa de la Nava de Arévalo (Sectores I y IV).

Superficie dominada: 3676 ha.

Volumen necesario (m³): 474313

Volumen útil (m³): 475.320

Volumen total (m³): 514.282

Mínimo nivel de explotación: 874,75 m.s.n.m.

Máximo nivel de explotación: 880,75 m.s.n.m.

Cota aliviadero: 880,8 m.s.n.m.

Máximo nivel extraordinario: 881,05 m.s.n.m.

Cota coronación: 882,05 m.s.n.m.

- Balsa de las Porteras (Sectores II y III).

Superficie dominada: 2442 ha.

Volumen necesario (m³) : 315090

Volumen útil (m³): 322463

Volumen total (m³): 392896

Mínimo nivel de explotación: 874 m.s.n.m.

Máximo nivel de explotación: 879 m.s.n.m.

Cota aliviadero. 879,05 m.s.n.m.

Máximo nivel extraordinario: 879,30 m.s.n.m.

Cota coronación: 880,30 m.s.n.m.

- Balsa del Vauperal (Sector V).

Superficie dominada: 1 278 ha.

Volumen necesario (m³): 164900

Volumen útil (m³) : 167093

Volumen total (m³): 199440

Mínimo nivel de explotación: 876,50 m.s.n.m.

Máximo nivel de explotación: 881,50 m.s.n.m.

Cota aliviadero: 801,55 m.s.n.m.

Máximo nivel extraordinario: 881 ,80 m.s.n.m.

Cota coronación: 882,80 m.s.n.m.

Estaciones de bombeo

Para el abastecimiento de toda la superficie regada en CCRR, se han instalado tres estaciones de bombeo, una en cada balsa de regulación. Los sectores II, IV y V todavía siguen en proyecto por lo que no se dispone de información completa de los mismos en este aspecto.

la estación de bombeo de la balsa de Arévalo abastece los sectores I y IV.

Se compone de dos grupos de bombas, el primero consta de 4 bombas principales de 500 KW en funcionamiento 3+1, y 3 bombas auxiliares de 75 KW en funcionamiento 2+1. Todas ellas accionadas mediante variadores de velocidad electrónicos. Nunca podrán estar en funcionamiento simultaneo el grupo principal con el auxiliar por lo que se toma como potencia más desfavorable la de las tres bombas principales en funcionamiento. La tensión nominal de los motores es de 690V a 50 Hz.

El segundo grupo tiene 3 bombas de 500 KW en funcionamiento y como auxiliares, le corresponden los mismos que los del primer grupo. De igual forma nunca estarán en funcionamiento simultáneo las principales y las auxiliares. Por lo que se toma como potencia más desfavorable el de las tres bombas en funcionamiento; la tensión nominal es de 690V y la frecuencia es 50Hz.

El funcionamiento de la estación de bombeo está controlado por un autómata programable que está programado para igualar los tiempos de funcionamiento de los grupos motobomba.

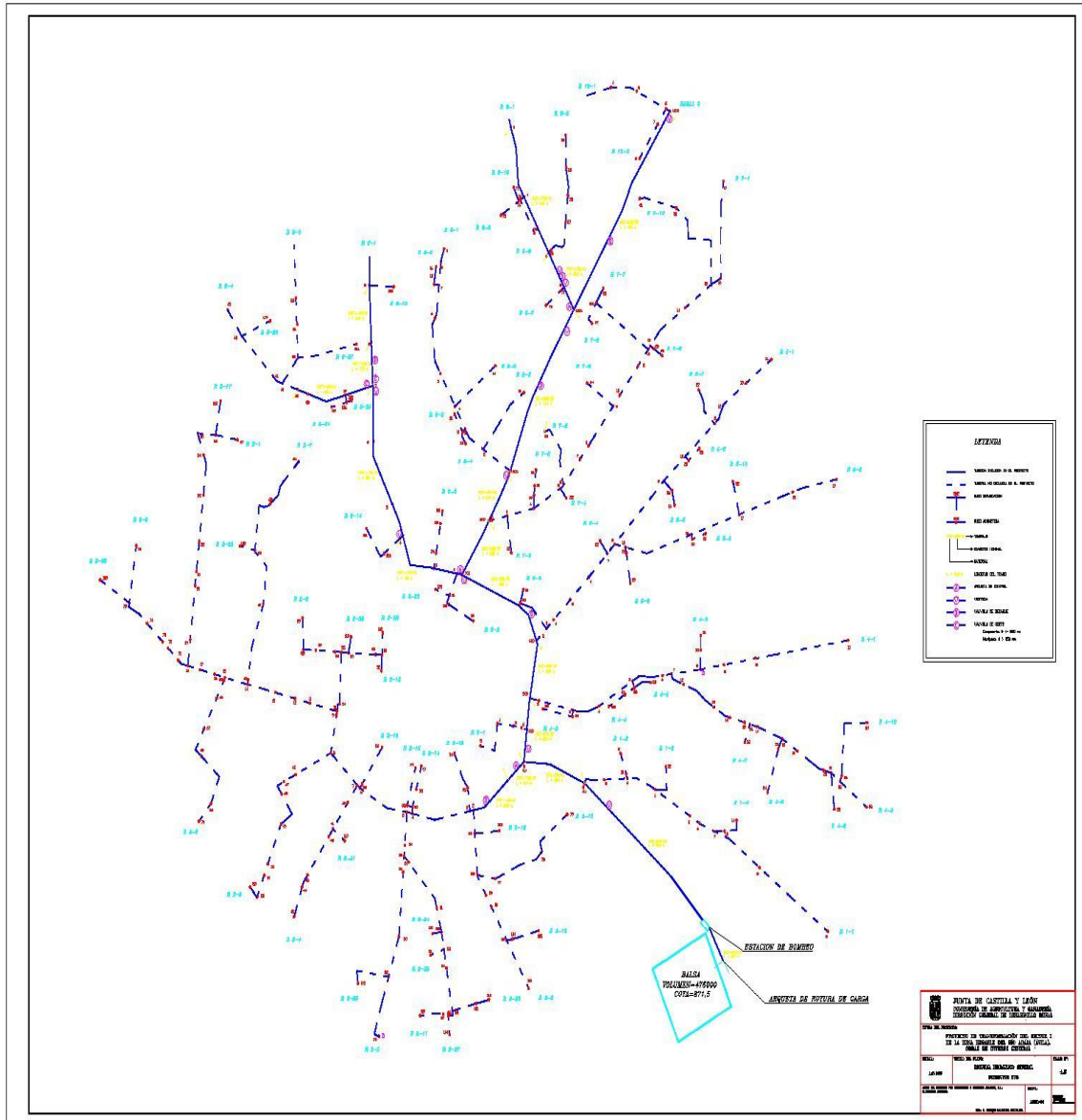


Figura 8: Trazado de la red del subsector sur del sector I (Fuente: proyecto de transformación de la comunidad de regantes).

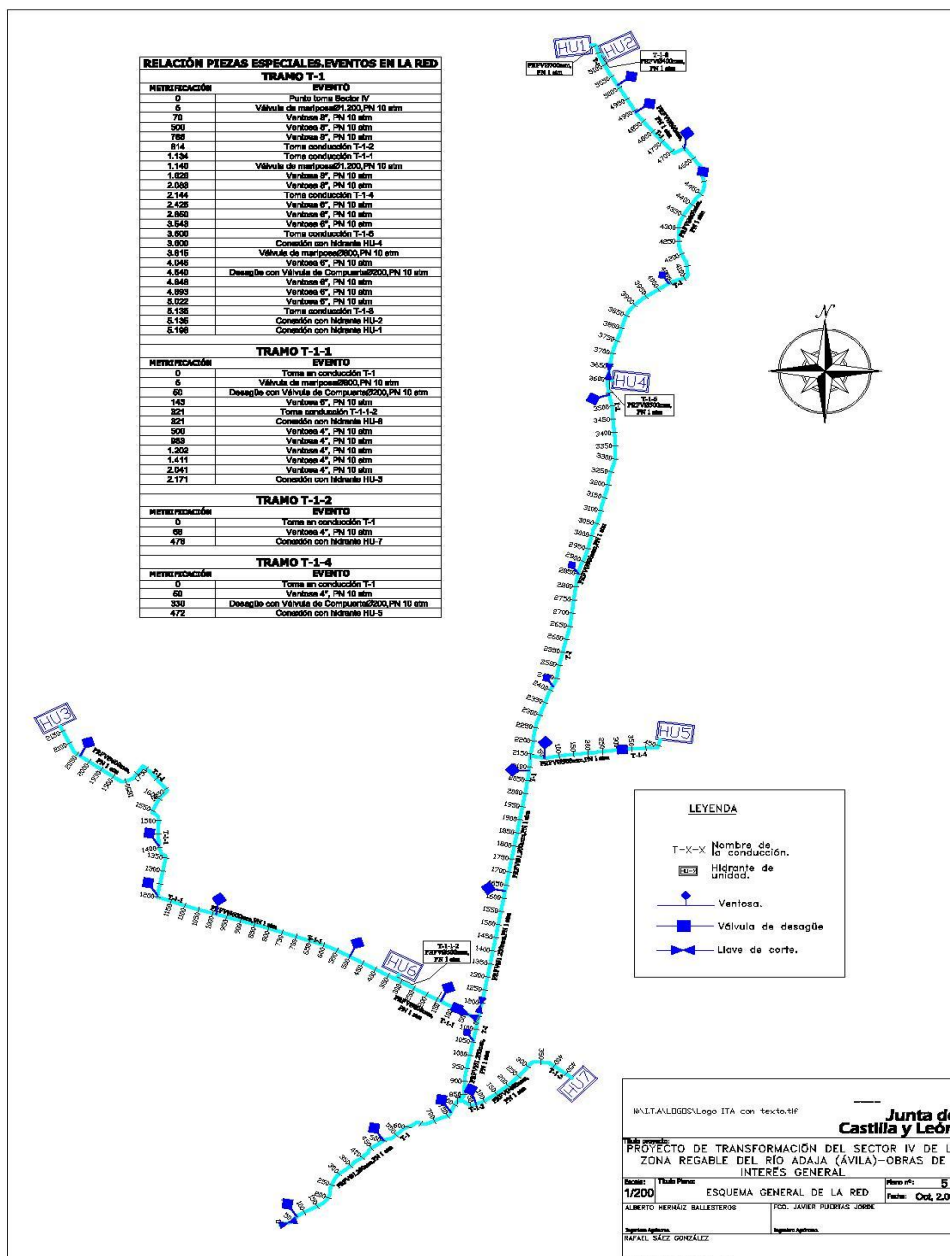


Figura 9: Trazado de la red de distribución del sector IV (Fuente: Proyecto de transformación de la comunidad de regantes)

El trazado de la red ha respetado el trazado de los caminos.

Las tuberías de diámetro variable entre 500 y 1600 mm van enterradas en zanjas y apoyadas sobre cama de material seleccionado; considerando las diferentes secciones

de las tuberías de material de PVC o PRFV colocadas en zanjas con profundidad entre 1,6-3 m y anchura entre 1-2,8 m.

A continuación se observa en la tabla 4, las características de las zanjas.

Diámetro tubería (mm)	Profundidad mínima (m)	Anchura (m)
DN 500	1.6	1.0
DN 700	1.8	1.2
DN 1200	2.5	2.0
DN 1300	2.6	2.12
DN 1400	2.7	2.22
DN 1500	2.8	2.34
DN 1600	3	2.48

Tabla 4: Características de las zanjas de la red.

Hidrantes

En principio cada finca dispone de su hidrante individual, aunque en ciertos casos, con poca superficie, un mismo hidrante abastece varias fincas colindante.. Para el control del agua, cada hidrante dispone de un contador volumétrico, un limitador de caudal, que dependerá de la superficie a regar y un regulador de presión. El hidrante se sitúa en el lugar más conveniente para el agricultor.

4.1.8. Cultivos y necesidades hídricas

En el plan general de transformación se definen dos tipos de explotaciones I y II. La explotación tipo I compuesta por los cultivos: cebada en grano, judía grano, remolacha azucarera, patata, girasol, maíz grano y hortícolas. Es una alternativa totalmente agrícola.

La explotación tipo II la formula los cultivos: alfalfa, maíz forrajero, cebada grano, remolacha azucarera, girasol, veza-avena y nabo forrajero. Es una alternativa básicamente ganadera.

Se han calculado las necesidades hídricas de los cultivos con la ecuación de Penman modificada, considerando una precipitación de proyecto igual a la que es superada el 80 % de los años y una capacidad máxima de reserva del suelo de 50 mm.

Las necesidades netas se calculan cultivo a cultivo para posteriormente calcular las necesidades globales de la alternativa.

Para calcular las necesidades brutas se han considerado las siguientes eficiencias de riego en campo (riego por aspersión) (Calvo, 2001):

julio - agosto: 70 %

mayo y junio: 75 %

marzo – abril, septiembre – octubre: 86,5 %

La eficiencia de las conducciones se han estimado en un 93 %, por lo que la eficiencia global estimada es de un 65 % para julio y agosto, de un 70 % para mayo y junio y de un 80 % para el resto de los meses.

Con éstos datos se obtienen los siguientes consumos anuales:

- Alternativa I 7.689 m³/ha. año
- Alternativa II 10.452 m³/ha. año

Se estima que las alternativas se distribuyen de forma que el 85 % de la superficie correspondiente a una alternativa tipo I y el 15 % restante a la alternativa II, de donde resulta un consumo global de 8.104 m³/ha. año, con un consumo en el mes de máxima demanda (agosto) de 2.093 m³/ha. año.

Aplicando esta dotación a las 7.396 ha. de la zona regable se obtiene un consumo de 60 Hm³/año.

4.1.9. Métodos de riego

El método de riego de la comunidad de regantes es el de aspersión siendo la cobertura total y sistemas de desplazamiento continuo los sistemas de riego mayoritarios.

- Sistemas de desplazamiento continuo

Son aquellos sistemas que se encuentran en movimiento mientras aplican el agua, distinguiéndose el pivote central y el ramal auto propulsado.

El pivote está formado, por una estructura metálica que soporta la tubería donde se colocan los emisores separados una distancia dada. En su extremo libre se suele instalar un emisor de gran caudal que cubre una distancia comprendida entre 15 a 20 m.

El ramal pivotante gira alrededor de un extremo fijo donde se sitúan los elementos de control. La superficie regada es circular.

El ramal autopropulsado, desde un punto de vista mecánico, es similar al ramal pivotante. Se compone de tramos de tubería alineados montados sobre torres metálicas fijados a bastidores móviles que disponen de un aparato propulsor que los desplaza a la velocidad deseada.

Las variables que limitan el uso de los sistemas de riego de desplazamiento continuo son: la topografía, el tipo de suelo y el tamaño de la finca. No se recomienda que la pendiente del terreno sea superior al 15-20%, ni que el suelo tenga un porcentaje de arcilla sea alto, lo que podría ocasionar fallos de tracción en las ruedas y la parada del sistema. Otro factor limitante en de este sistema es tiene que ver con la altura o características del cultivo que pueden impedir el paso del ramal. Los terrenos llanos y suelos ligeros (de textura arenosa) suelen ser los más apropiados con eficiencias de aplicación de entre 0,80-0,85 (Riesgo y Gómez-Limon, 2002)

- Cobertura total (sistema de líneas móviles)

Tiene un doble juego de aspersores y en el porta aspersor se dispone de una llave de manera que se pone en funcionamiento simultaneo solamente los aspersores en líneas.

4.1.10. Criterios de manejo del riego

El riego es a la demanda y los agricultores pueden regar a cualquiera hora del día o de la noche por lo que pueden organizar su trabajo a discreción y disponer de las siguientes ventajas:

- Programación de los riegos y ajuste a las necesidades de cultivo
- Facilita la distribución de mano de obra, que de este modo puede utilizarse con el calendario y horario más favorable, pudiendo incluso alternarse con otras labores simultaneas con el riego.
- Reparto más equitativo del coste de agua, ya que cada regante paga en función del volumen de agua que consume; estimulándose de este modo el ahorro de un bien tan escaso.

A pesar de que el riego a la demanda, en su concepción más pura, implica que cada parcela disponga de su propio hidrante individual, debido que existe un número considerable de parcelas muy pequeñas, en la obtención de los caudales de diseño se ha supuesto que un mismo hidrante puede abastecer varias parcelas colindantes cuya superficie conjunta no supere una hectárea; y un hidrante individual para las que tengan superficie superior a una hectárea o inferioresi se encuentran aisladas.

Se ha dotado a cada hidrante de cierto grado de libertad de riego en función de la superficie a abastecer, siendo este mayor cuanto menor sea la superficie. Los distintos grados de libertad asignados permiten regar hasta un máximo de 16 h/día..

4.2. Metodología de trabajo

4.2.1. Definición de los indicadores de riego

El riego tiene como objetivo garantizar una buena distribución del agua por el sistema y unos buenos resultados de riego que indican el aprovechamiento del agua por parte del cultivo, lo cual se logra aportando sus necesidades hídricas en el momento oportuno.

El método de riego por aspersión aplica el agua en forma de lluvia a través de los emisores. La uniformidad de aplicación de agua requerida suele determinarse por el coeficiente de uniformidad propuesto por Christiansen (Christiansen, 1942):

$$CU = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N\bar{X}} \right) \times 100$$

Donde:

CU = coeficiente de uniformidad de Christiansen

X_i = cada una de las observaciones desde $i = 1$ hasta N

\bar{X} = promedio de las observaciones

N = numero de las observaciones

En sistemas de riego por aspersión se recomiendan valores de $CU > 80\%$ (Keller y Bliesner, 1990) aunque va a depender de la velocidad del viento (Tarjuelo 1995, Tarjuelo et al 1992).

El coeficiente de variación es una medida de dispersión, expresa la desviación estándar como porcentaje de la lámina media.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{H}} \times 100$$

σ = desviación estándar

\bar{H} = lámina media

CV = coeficiente de variación

Otra manera de expresar la uniformidad de distribución de agua en el sistema es utilizando el coeficiente de uniformidad de distribución ($UD_{1/4}$) (Merriam y Keller, 1978). Que define la relación entre la altura media de agua recogida en el 25% del área menos regada en relación con la media.

$$UD_{1/4} = \frac{\bar{H}_{1/4}}{\bar{H}}$$

$\bar{H}_{1/4}$ = lámina media recogida en el 25% del área menos regada

\bar{H} = lámina media del agua recogida total

$UD_{1/4}$ = uniformidad de distribución

Montero et al., (1999) observó que la aplicación de riegos ligeramente deficitarios, suelen conducir al óptimo económico. Así, para cultivos de valor medio o alto se tiende a que la altura media de agua aplicada (dosis neta), que en un riego correcto debe ser igual al "déficit permisible de manejo (DPM)", coincida con la media del 25% del área menos regada. De esta forma, sólo el 12,5% del área estará infra regada. Para los cultivos de menor valor económico (forrajes), la dosis neta se suele hacer coincidir con la media del 50% del área menos regada, en cuyo caso el 25% del área quedará infra regada.

La eficiencia o rendimiento de aplicación indica la relación entre el agua recogida por los pluviómetros y el agua descargada por los aspersores. La diferencia entre ambas son las pérdidas por evaporación y arrastre durante el proceso de riego, debido fundamentalmente a las condiciones climáticas (temperatura, humedad, viento, etc.). También hay que incluir en estas diferencias a los errores propios que conlleva la metodología seguida.

$$Ra(\%) = \frac{\textit{Altura media de agua recogida}}{\textit{Altura de agua descargada}} \times 100$$

La altura o lámina bruta corresponde a la precipitación media aplicada por el sistema en cada vuelta completa. Se calcula con la expresión siguiente:

$$Hb(mm) = \frac{Q(l/h) * t(h)}{A(m^2)}$$

El coeficiente de déficit expresa la relación entre la lamina deficitaria y la lamina requerida por el cultivo.

$$Cd = \frac{H_d}{H_r} \times 100$$

H_d = lamina deficitaria

H_r = lamina requerida

Cd = coeficiente de déficit

El coeficiente de filtración profunda expresa el porcentaje de lamina que se pierde por filtración.

$$Cp = \frac{H_p}{H_b}$$

H_p = lamina de filtración profunda

H_b = lamina bruta

C_p = coeficiente de filtración profunda

El coeficiente de evaporación expresa una relación entre la lamina evaporada y la lamina bruta.

$$C_{ev} = \frac{H_{ev}}{H_b} \times 100$$

H_{ev} = lamina evaporada

H_b = lamina bruta

C_{ev} = coeficiente de evaporación

Pluviometría máxima en el extremo

La pluviometría máxima en el extremo de un pivote o ramal de avance frontal es un indicador en un determinado suelo, sobre todo cuando esta es mayor que la infiltración del agua en el suelo.

$$P_m\left(\frac{mm}{h}\right) = \frac{H_m(mm) \times V\left(\frac{m}{h}\right)}{2 \times r_a(m)}$$

$$P_{max}\left(\frac{mm}{h}\right) = \frac{4}{\pi} \times P_m\left(\frac{mm}{h}\right)$$

H_m : lamina media.

$V(m/h)$: velocidad de avance.

$r_a(m)$: radio mojado por el emisor en el extremo.

$P_m(mm/h)$: pluviometría media en el extremo.

P_{\max} (mm/h): pluviometría máxima en el extremo.

4.2.2. Procedimientos de evaluación de campo

El equipo de trabajo estaba formado por dos personas: el ingeniero agrónomo Javier Rodríguez Ros y yo mismo. Se evaluaron 12 sistemas de riego, dos de cobertura total, un ramal autopropulsado y nueve pivotes.

La identificación de los sistemas se define de la siguiente manera:

PC: pivote central

CT: cobertura total

RAF: ramal de avance frontal

Las parcelas evaluadas fueron escogidas según la disponibilidad de los regantes. En todas, el suelo es de textura franco arenosa con las siguientes características, contenido de arena entre 50-70%, de limo entre 0-50% y de arcilla entre 0-20% citado por Miliarium.com (2004) según United States Department of Agriculture. La infiltración instantánea de estos suelos es de 8-12 l/h (INFORIEGO, 2011), dado que falta referencia de conversión entre l/h y mm/h, se considera que los suelos tienen como infiltración instantánea 20-30 mm/h (centro de investigación y transferencia en riego y agro climatología) . Los terrenos son llanos, salvo en un caso (parcela PC 9) donde se observa una ondulación moderada.

A continuación se describe el procedimiento seguido en cada una de las evaluaciones

Evaluación de ramales autopropulsados y pivotes

- Describir y medir las características del pivote o del ramal auto propulsado según el caso y dibujar un croquis del sistema de riego.
- Colocar pluviómetros a lo largo de dos radios y dos testigos fuera del alcance de sus aspersores.
- Poner en marcha el equipo.

- Medir la presión en cabeza del pivote o del ramal auto propulsado.
- Observar y registrar las condiciones del ensayo y, una vez que el ramal haya pasado sobre las dos líneas de pluviómetros, medir el agua de los pluviómetros.

Evaluación de sistema de cobertura total.

- Describir las características del aspersor
- Observar y registrar las condiciones del ensayo (velocidad y dirección del viento).
- Registrar los datos del ensayo (marco de aspersores, hora de comienzo y final, tuberías, cultivo, etc.)
- Colocar los pluviómetro en una malla alrededor de tres aspersores representativos del ramal representativo.
- Medir el volumen del agua de los pluviómetros así el de los testigos para la evaporación, que una vez finalizado el tiempo del ensayo.

Materiales utilizados para las evaluaciones

Los materiales utilizados para en las evaluaciones son los siguientes:

- Vasos pluviométricos de 0.0855 m de diámetro interior
- Cronómetro
- Probeta graduada con unidad menor de 2 ml
- Cinta métrica de 25 m
- Anemómetro

4.2.3. Procesamiento de los datos de campo

Se utilizó la hoja de cálculo de Excel para determinar los coeficientes de uniformidad y los resultados de riego.

5. Resultados y Discusión

En las Tablas 6-10 se presentan las características de los sistemas de riego, las condiciones del ensayo, los cultivos, las condiciones ambientales y los resultados de riego de las evaluaciones.

Identificación	Sistema de riego		Caudal teórico de la maquina en cabeza (L/h) o caudal del aspersor en cobertura total (L/s)	Hidrante		Longitud	
	Marca	Modelo maquina (pulg) o Diámetro boquilla en cobertura total (mm)		N °	Φ (mm)	Ramal (m)	Campo mojado (m)
PC 1	IRRITECH	5	90000	25	100	280	300
PC 2	IRRITECH	5	72000	19	100	183	194
PC 3	LR IRRITECH	65/8	75000	93	150	344,5	360
PC 4	IRRITECH	65/8	120000	67	150	241,9	252
PC 5			110000	1	150	274,3	282
PC 6			70000	13	150	207	234
PC 7	IRRITECH	5	60000	12	150	142,97	162
PC 8	LINDSAY	65/8	60000	95	100	231,27	244
PC 9	IRRITECH- OTECH	65/8	100000	214	152,4	282	303
CT 1	Unirai F46	3,97		80	80		
CT 2	Nelson	3,97	0,33	53	101,6		

RAF	IRRITECH- OTECH	65/8	85000	66	100	175	194
-----	--------------------	------	-------	----	-----	-----	-----

Tabla 6: Características de la instalación

Identificación	Tiempo		Presión en cabeza (bar)	Velocidad de avance (m/h)	Separación entre pluv. (m)
	Inicio	Final			
PC 1	10:48	14:20	3,2	74,26	3
PC 2	12:20	13:58	4,1	110,6	2
PC 3	17:00	18:42	3,5	79	4
PC 4	17:05	19:34	4	94,8	3
PC 5	12:07	14:51	4,4	70,2	3
PC 6	11:20	12:00	4,4	38,5	2-4 (*)
PC 7	10:25	12:00	4,5	119,2	2
PC 8	17:00	18:42	5,2	93,5	2
PC 9	12:05	14:18	4	110	4
CT 1	11:30	12:00	3,14		3
CT 2	8:00	9:00	3,2		3
RAF	15:12	16:45	2,94	55,3	2

Tabla 7, condiciones del ensayo.

(*) La separación entre pluviómetros fue de 2 m, midiendo desde el cañón hacia la torre central, hasta el pluviómetro n º42 incluido. A partir de allí, la separación es igual a 4 m.

Identificación	Cultivo	Fechas	
		Siembra	Evaluación
PC 1	Maíz	9 de mayo 2011	17 de mayo 2011
PC 2	Maíz	2 de mayo 2011	16 de mayo 2011
PC 3	Maíz	2 de mayo 2011	11 de mayo 2011
PC 4	Remolacha	8 de abril 2011	2 de junio 2011
PC 5	Maíz	22 de abril 2011	18 de mayo 2011
PC 6	Trigo	12 de octubre 2010	4 de mayo 2011
PC 7	Remolacha	26 de marzo 2011	20 de mayo 2011
PC 8	Maíz	25 de abril 2011	10 de mayo 2011
PC 9	Cebolla	6 de marzo 2011	25 de mayo 2011
CT 1	Remolacha	26 de marzo 2011	24 de mayo 2011
CT 2	Cebolla	6 de marzo 2011	3 de mayo 2011
RAF	Cebolla	28 de febrero 2011	2 de junio 2011

Tabla 8: Fecha de siembra y de evaluación

Identificación	Velocidad del viento (m/s)	Evaporación (ml)	Temperatura media del día ° C	Humedad relativa (%)
PC 1	1,55	6	16,58	60,22
PC 2	2,5	7,5	15,16	52,94
PC 3	1,5	8,5	20,23	46,16
PC 4	4,1	8	16,48	61,22
PC 5	4,2	10,5	13,36	65,33
PC 6	1,6	2,5	13,35	62,30
PC 7	2,3	3,5	15,81	57,75
PC 8	4,95	7,5	19,82	49,17

PC 9	2,9	14	20,16	54,67
CT 1	2,6	3,5	19,49	58,93
CT 2	0,6	0,5	20,14	52,19
RAF	3,6	6	16,48	61,22

Tabla 9: Condiciones ambientales durante los ensayos

Los valores de Temperatura media y humedad relativa fueron tomados de la estación meteorológica AV01 - Nava de Arévalo.

Las láminas requeridas Hr fueron determinadas mediante Cropwat, utilizando los valores de Kc de los cultivos según INFORIEGO (2011) registradas en la estación desde 2001 hasta la fecha. Se considero la frecuencia de riego dada por los regantes: dos riegos por semana para el maíz y tres para la cebolla, remolacha y trigo.

A continuación se presenta las necesidades hídricas de los cultivos en su distintos estados fenológicos, con los cuales se estimó la lamina requerida en la fecha de evaluación.

PC 1

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	Etc	Eff	rain	Irr. Req.
			Coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	1	Init	0,45	2,69	5,4	3,0	5,4	
May	2	Init	0,45	2,4	29,4	16,1	13,2	
May	3	Init	0,45	3,06	33,6	14,6	19,0	
Jun	1	Init	0,45	3,18	31,8	13,1	18,7	
Jun	2	Init	0,45	3,30	33,0	12,0	21,1	
Jun	3	Deve	0,46	3,41	34,1	9,7	24,4	
Jul	1	Deve	0,64	4,71	47,1	6,7	40,4	
Jul	2	Deve	0,86	6,36	63,6	4,2	59,4	

Jul	3	Deve	1,10	8,00	88,0	4,8	83,1
Aug	1	Mid	1,23	8,95	89,5	5,7	83,8
Aug	2	Mid	1,23	8,88	88,8	5,9	82,9
Aug	3	Mid	1,23	8,22	90,4	7,0	83,4
Sep	1	Late	1,15	7,03	70,3	8,2	62,1
Sep	2	Late	0,98	5,47	54,7	9,2	45,5
Sep	3	Late	0,81	4,03	40,3	10,3	29,9
Oct	1	Late	0,66	2,72	19,1	8,1	7,5

819,0 138,6 679,9

La lamina requerida resulta igual a 4,63 mm.

PC 2

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	Etc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
May	1	Init	0,45	2,69	24,2	13,6	9,1
May	2	Init	0,45	2,94	29,4	16,1	13,2
May	3	Init	0,45	3,06	33,6	14,6	19,0
Jun	1	Init	0,45	3,18	31,8	13,1	18,7
Jun	2	Init	0,45	3,30	33,0	12,0	21,1
Jun	3	Deve	0,57	4,21	42,1	9,7	32,4
Jul	1	Deve	0,80	5,85	58,5	6,7	51,9
Jul	2	Deve	1,02	7,51	75,1	4,2	70,9
Jul	3	Mid	1,21	8,81	96,9	4,8	92,1
Aug	1	Mid	1,23	8,94	89,4	5,7	83,7
Aug	2	Mid	1,23	8,87	88,7	5,9	82,8

Aug	3	Late	1,20	7,98	87,8	7,0	80,8
Sep	1	Late	1,03	6,28	62,8	8,2	54,6
Sep	2	Late	0,85	4,78	47,8	9,2	38,6
Sep	3	Late	0,68	3,40	34,0	10,3	23,7

835,1 141,1 692,6

La lámina requerida resulta igual a 4,63 mm.

PC 3

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	Etc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
May	1	Init	0,45	2,69	24,2	13,6	9,1
May	2	Init	0,45	2,94	29,4	16,1	13,2
May	3	Init	0,45	3,06	33,6	14,6	19,0
Jun	1	Init	0,45	3,18	31,8	13,1	18,7
Jun	2	Init	0,45	3,30	33,0	12,0	21,1
Jun	3	Deve	0,57	4,21	42,1	9,7	32,4
Jul	1	Deve	0,80	5,85	58,5	6,7	51,9
Jul	2	Deve	1,02	7,51	75,1	4,2	70,9
Jul	3	Mid	1,21	8,81	96,9	4,8	92,1
Aug	1	Mid	1,23	8,94	89,4	5,7	83,7
Aug	2	Mid	1,23	8,87	88,7	5,9	82,8
Aug	3	Late	1,20	7,98	87,8	7,0	80,8
Sep	1	Late	1,03	6,28	62,8	8,2	54,6
Sep	2	Late	0,85	4,78	47,8	9,2	38,6
Sep	3	Late	0,68	3,40	34,0	10,3	23,7

835,1 141,1 692,6

La lámina requerida resulta igual a 4,63 mm.

PC 4

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Apr	1	Init	0,40	1,80	5,4	3,4	5,4
Apr	2	Init	0,40	1,96	19,6	13,5	6,1
Apr	3	Init	0,40	2,18	21,8	14,1	7,6
May	1	Init	0,40	2,39	23,9	15,1	8,8
May	2	Init	0,40	2,61	26,1	16,1	10,0
May	3	Deve	0,41	2,80	30,8	14,6	16,2
Jun	1	Deve	0,53	3,72	37,2	13,1	24,1
Jun	2	Deve	0,66	4,83	48,3	12,0	36,4
Jun	3	Deve	0,79	5,82	58,2	9,7	48,5
Jul	1	Deve	0,92	6,80	68,0	6,7	61,4
Jul	2	Deve	1,06	7,79	77,9	4,2	73,7
Jul	3	Mid	1,18	8,59	94,5	4,8	89,6
Aug	1	Mid	1,20	8,70	87,0	5,7	81,3
Aug	2	Mid	1,20	8,63	86,3	5,9	80,4
Aug	3	Mid	1,20	7,98	87,8	7,0	80,8
Sep	1	Mid	1,20	7,30	73,0	8,2	64,8
Sep	2	Mid	1,20	6,69	66,9	9,2	57,6
Sep	3	Mid	1,20	5,98	59,8	10,3	49,5
Oct	1	Late	1,19	4,92	49,2	11,6	37,6

Oct	2	Late	1,15	3,92	39,2	12,8	26,4
Oct	3	Late	1,12	4,47	17,9	4,7	11,4

1078,6 202,7 877,6

La lámina requerida resulta igual a 5,63 mm.

PC 5

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	Etc	Eff rain	Irr. Req.
			Coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Apr	3	Init	0,45	2,45	22,0	12,7	7,9
May	1	Init	0,45	2,69	26,9	15,1	11,8
May	2	Init	0,45	2,94	29,4	16,1	13,2
May	3	Init	0,45	3,06	33,6	14,6	19,0
Jun	1	Init	0,45	3,18	31,8	13,1	18,7
Jun	2	Deve	0,57	4,20	42,0	12,0	30,0
Jun	3	Deve	0,79	5,84	58,4	9,7	48,7
Jul	1	Deve	1,02	7,48	74,8	6,7	68,1
Jul	2	Mid	1,20	8,88	88,8	4,2	84,6
Jul	3	Mid	1,23	8,94	98,4	4,8	93,5
Aug	1	Mid	1,23	8,92	89,2	5,7	83,5
Aug	2	Late	1,20	8,67	86,7	5,9	80,8
Aug	3	Late	1,04	6,91	76,0	7,0	69,0
Sep	1	Late	0,85	5,20	52,0	8,2	43,9
Sep	2	Late	0,68	3,80	38,0	9,2	28,8

848,0 145,0 701,6

La lámina requerida resulta igual a 4,14 mm.

PC 6

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Oct	2	Init	0,30	1,03	9,2	11,5	0,0
Oct	3	Init	0,30	1,20	13,2	13,0	0,2
Nov	1	Init	0,30	1,54	15,4	13,1	2,3
Nov	2	Deve	0,34	1,95	19,5	13,4	6,1
Nov	3	Deve	0,41	1,82	18,2	13,5	4,7
Dec	1	Deve	0,48	1,28	12,8	13,9	0,0
Dec	2	Deve	0,55	0,79	7,9	14,1	0,0
Dec	3	Deve	0,62	0,97	10,6	12,8	0,0
Jan	1	Deve	0,69	1,21	12,1	11,3	0,8
Jan	2	Deve	0,76	1,29	12,9	10,1	2,9
Jan	3	Deve	0,83	1,74	19,2	9,1	10,1
Feb	1	Deve	0,90	2,28	22,8	7,8	15,0
Feb	2	Deve	0,97	2,81	28,1	6,6	21,4
Feb	3	Deve	1,04	3,28	26,2	6,9	19,4
Mar	1	Deve	1,10	3,79	37,9	6,8	31,1
Mar	2	Deve	1,17	4,36	43,6	6,6	36,9
Mar	3	Mid	1,24	5,11	56,2	8,8	47,4
Apr	1	Mid	1,27	5,71	57,1	11,5	45,6
Apr	2	Mid	1,27	6,20	62,0	13,5	48,5
Apr	3	Mid	1,27	6,89	68,9	14,1	54,8
May	1	Late	1,26	7,56	75,6	15,1	60,5

May	2	Late	1,05	6,83	68,3	16,1	52,2
May	3	Late	0,69	4,69	51,6	14,6	37,0
Jun	1	Late	0,37	2,61	20,8	10,5	7,8

770,2 274,5 504,8

La lámina requerida resulta igual a 14,13 mm.

PC 7

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			Coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	3	Init	0,40	1,65	9,9	4,8	5,5
Apr	1	Init	0,40	1,80	18,0	11,5	6,6
Apr	2	Init	0,40	1,96	19,6	13,5	6,1
Apr	3	Init	0,40	2,18	21,8	14,1	7,6
May	1	Init	0,40	2,39	23,9	15,1	8,8
May	2	Deve	0,43	2,79	27,9	16,1	11,8
May	3	Deve	0,56	3,80	41,8	14,6	27,2
Jun	1	Deve	0,70	4,93	49,3	13,1	36,2
Jun	2	Deve	0,83	6,09	60,9	12,0	49,0
Jun	3	Deve	0,96	7,08	70,8	9,7	61,1
Jul	1	Deve	1,10	8,06	80,6	6,7	74,0
Jul	2	Mid	1,19	8,78	87,8	4,2	83,6
Jul	3	Mid	1,19	8,70	95,8	4,8	90,9
Aug	1	Mid	1,19	8,68	86,8	5,7	81,2
Aug	2	Mid	1,19	8,62	86,2	5,9	80,3
Aug	3	Mid	1,19	7,97	87,7	7,0	80,7

Sep	1	Mid	1,19	7,28	72,8	8,2	64,6
Sep	2	Mid	1,19	6,68	66,8	9,2	57,5
Sep	3	Late	1,17	5,87	58,7	10,3	48,4
Oct	1	Late	1,13	4,67	46,7	11,6	35,1
Oct	2	Late	1,10	3,77	3,8	1,3	3,8

1117,5 199,3 919,8

La lámina requerida resulta igual a 2,75 mm.

PC 8

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			Coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Apr	3	Init	0,45	2,45	14,7	8,5	7,6
May	1	Init	0,45	2,69	26,9	15,1	11,8
May	2	Init	0,45	2,94	29,4	16,1	13,2
May	3	Init	0,45	3,06	33,6	14,6	19,0
Jun	1	Init	0,45	3,18	31,8	13,1	18,7
Jun	2	Deve	0,51	3,76	37,6	12,0	25,6
Jun	3	Deve	0,73	5,35	53,5	9,7	43,8
Jul	1	Deve	0,95	6,99	69,9	6,7	63,3
Jul	2	Mid	1,17	8,59	85,9	4,2	81,8
Jul	3	Mid	1,23	8,95	98,4	4,8	93,6
Aug	1	Mid	1,23	8,92	89,2	5,7	83,6
Aug	2	Late	1,22	8,82	88,2	5,9	82,3
Aug	3	Late	1,09	7,27	79,9	7,0	72,9
Sep	1	Late	0,91	5,53	55,3	8,2	47,1

Sep	2	Late	0,73	4,09	40,9	9,2	31,7
Sep	3	Late	0,62	3,09	9,3	3,1	4,1

844,6 143,8 700,1

La lámina requerida resulta igual a 4,14 mm.

PC 9

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req.
Mar	1	Init	0,70	2,42	12,1	3,4	8,7	
Mar	2	Init	0,70	2,61	26,1	6,6	19,5	
Mar	3	Deve	0,80	3,31	36,4	8,8	27,6	
Apr	1	Deve	0,98	4,43	44,3	11,5	32,8	
Apr	2	Mid	1,12	5,47	54,7	13,5	41,2	
Apr	3	Mid	1,13	6,14	61,4	14,1	47,2	
May	1	Mid	1,13	6,75	67,5	15,1	52,4	
May	2	Mid	1,13	7,36	73,6	16,1	57,5	
May	3	Mid	1,13	7,67	84,3	14,6	69,7	
Jun	1	Mid	1,13	7,97	79,7	13,1	66,7	
Jun	2	Mid	1,13	8,28	82,8	12,0	70,8	
Jun	3	Late	1,12	8,21	82,1	9,7	72,4	
Jul	1	Late	1,08	7,94	79,4	6,7	72,8	
Jul	2	Late	1,04	7,67	76,7	4,2	72,5	
Jul	3	Late	1,00	7,28	80,0	4,8	75,2	
Aug	1	Late	0,97	7,07	14,1	1,1	14,1	

955,4 155,3 801,2

La lámina requerida resulta igual a 16,28 mm.

CT 1

Month	Decade	Stage	Kc coeff	Etc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Mar	3	Init	0,140	1,65	9,9	4,8	5,5
Apr	1	Init	0,40	1,80	18,0	11,5	6,6
Apr	2	Init	0,40	1,96	19,6	13,5	6,1
Apr	3	Init	0,40	2,18	21,8	14,1	7,6
May	1	Init	0,40	2,39	23,9	15,1	8,8
May	2	Deve	0,43	2,79	27,9	16,1	11,8
May	3	Deve	0,56	3,80	41,8	14,6	27,2
Jun	1	Deve	0,70	4,93	49,3	13,1	36,2
Jun	2	Deve	0,83	6,09	60,9	12,0	49,0
Jun	3	Deve	0,96	7,08	70,8	9,7	61,1
Jul	1	Deve	1,10	8,06	80,6	6,7	74,0
Jul	2	Mid	1,19	8,78	87,8	4,2	83,6
Jul	3	Mid	1,19	8,70	95,8	4,8	90,9
Aug	1	Mid	1,19	8,68	86,8	5,7	81,2
Aug	2	Mid	1,19	8,62	86,2	5,9	80,3
Aug	3	Mid	1,19	7,97	87,7	7,0	80,7
Sep	1	Mid	1,19	7,28	72,8	8,2	64,6
Sep	2	Mid	1,19	6,68	66,8	9,2	57,5
Sep	3	Late	1,17	5,87	58,7	10,3	48,4
Oct	1	Late	1,13	4,67	46,7	11,6	35,1

Oct 2 Late 1,10 3,77 3,8 1,3 3,8

1117,5 199,3 919,8

La lámina requerida resulta igual a 6,35 mm.

CT 2

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			Coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	1	Init	0,70	2,42	12,1	3,4	8,7
Mar	2	Init	0,70	2,61	26,1	6,6	19,5
Mar	3	Deve	0,80	3,31	36,4	8,8	27,6
Apr	1	Deve	0,98	4,43	44,3	11,5	32,8
Apr	2	Mid	1,12	5,47	54,7	13,5	41,2
Apr	3	Mid	1,13	6,14	61,4	14,1	47,2
May	1	Mid	1,13	6,75	67,5	15,1	52,4
May	2	Mid	1,13	7,36	73,6	16,1	57,5
May	3	Mid	1,13	7,67	84,3	14,6	69,7
Jun	1	Mid	1,13	7,97	79,7	13,1	66,7
Jun	2	Mid	1,13	8,28	82,8	12,0	70,8
Jun	3	Late	1,12	8,21	82,1	9,7	72,4
Jul	1	Late	1,08	7,94	79,4	6,7	72,8
Jul	2	Late	1,04	7,67	76,7	4,2	72,5
Jul	3	Late	1,00	7,28	80,0	4,8	75,2
Aug	1	Late	0,97	7,07	14,1	1,1	14,1

955,4 155,3 801,2

La lámina requerida resulta igual a 15,58 mm.

RAF

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req.
Feb	3	Init	0,70	2,22	2,2	0,9	2,2	
Mar	1	Init	0,70	2,42	24,2	6,8	17,4	
Mar	2	Deve	0,74	2,75	27,5	6,6	20,9	
Mar	3	Deve	0,91	3,73	41,1	8,8	32,3	
Apr	1	Mid	1,08	4,87	48,7	11,5	37,3	
Apr	2	Mid	1,13	5,52	55,2	13,5	41,7	
Apr	3	Mid	1,13	6,14	61,4	14,1	47,3	
May	1	Mid	1,13	6,75	67,5	15,1	52,4	
May	2	Mid	1,13	7,37	73,7	16,1	57,5	
May	3	Mid	1,13	7,67	84,4	14,6	69,8	
Jun	1	Mid	1,13	7,98	79,8	13,1	66,7	
Jun	2	Late	1,13	8,27	82,7	12,0	70,7	
Jun	3	Late	1,10	8,05	80,5	9,7	70,8	
Jul	1	Late	1,06	7,77	77,7	6,7	71,1	
Jul	2	Late	1,02	7,50	75,0	4,2	70,8	
Jul	3	Late	0,98	7,17	50,2	3,1	45,3	

931,7 156,7 774,1

La lámina requerida resulta igual a 15,58 mm.

Los resultados de las evaluaciones son los siguientes:

Titular	Hb (mm)	Hm (mm)	Hn (mm)	Hr (mm)	CU %	CV	Ra	Cd	Cp	Cev	Pmax (mm/h)
PC 1	5,17	4,12	4,05	4,63	84	0,21	0,78	0,12	0,014	0,20	9,75
PC 2	5,24	3,94	3,85	4,63	87	0,21	0,74	0,16	0,015	0,25	25,19
PC 3	5,25	3,76	3,69	4,63	82	0,21	0,70	0,20	0,012	0,29	12,19
PC 4	6,97	5,57	5,26	5,63	86	0,19	0,76	0,06	0,04	0,20	33,3
PC 5	9,36	7,53	4,05	4,14	89	0,22	0,43	0,02	0,37	0,20	43,69
PC 6	8	7,57	7,57	14,13	79	0,26	0,95	0,46	0	0,20	6,86
PC 7	4,42	3,81	2,58	2,75	78	0,28	0,58	0,06	0,27	0,14	15,19
PC 8	4,69	3,38	3,10	4,14	70	0,45	0,66	0,25	0,05	0,28	15,8
PC 9	6,20	3,76	3,76	16,28	88	0,17	0,61	0,76	0	0,39	12,62
CT 1	6,95	6,34	5,60	6,35	77	0,29	0,81	0,11	0,10	0,08	
CT 2	4,75	4,57	4,57	15,58	82	0,22	0,96	0,70	0	0,04	
RAF	6,93	5,88	5,88	15,58	89	0,18	0,85	0,62	0	0,15	10,89

Tabla 10: Resultados de las evaluaciones

La distribución del agua del sistema de riego se muestra en las Figs. 10-21

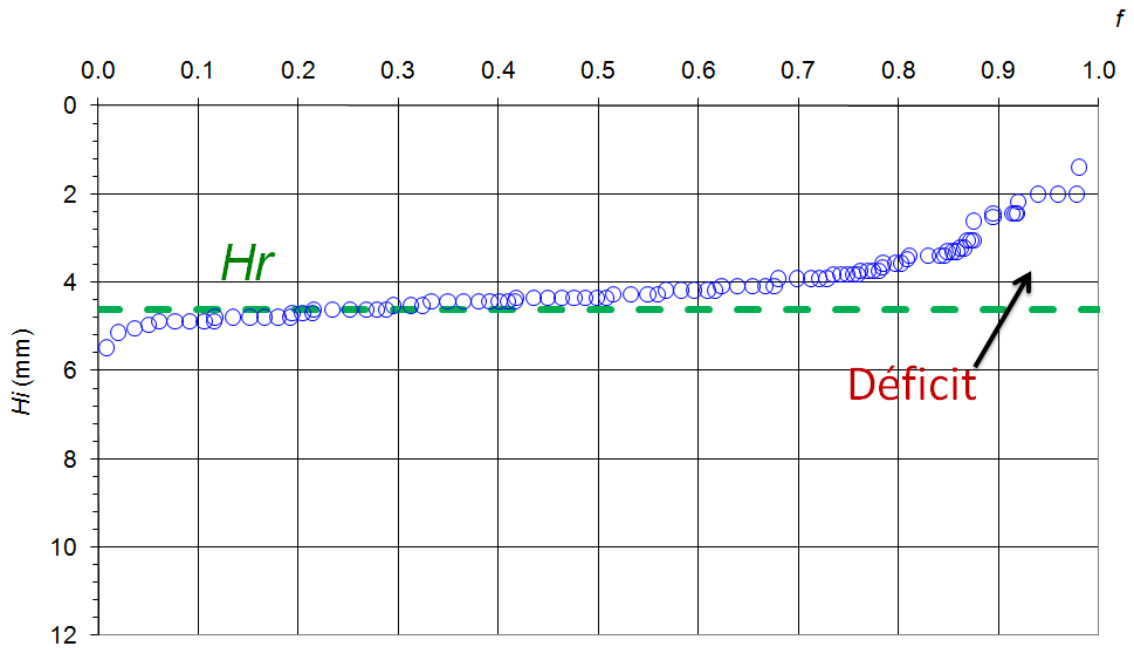


Figura 10: Distribución de agua de PC 1. (CU = 84%, cultivo: maíz)

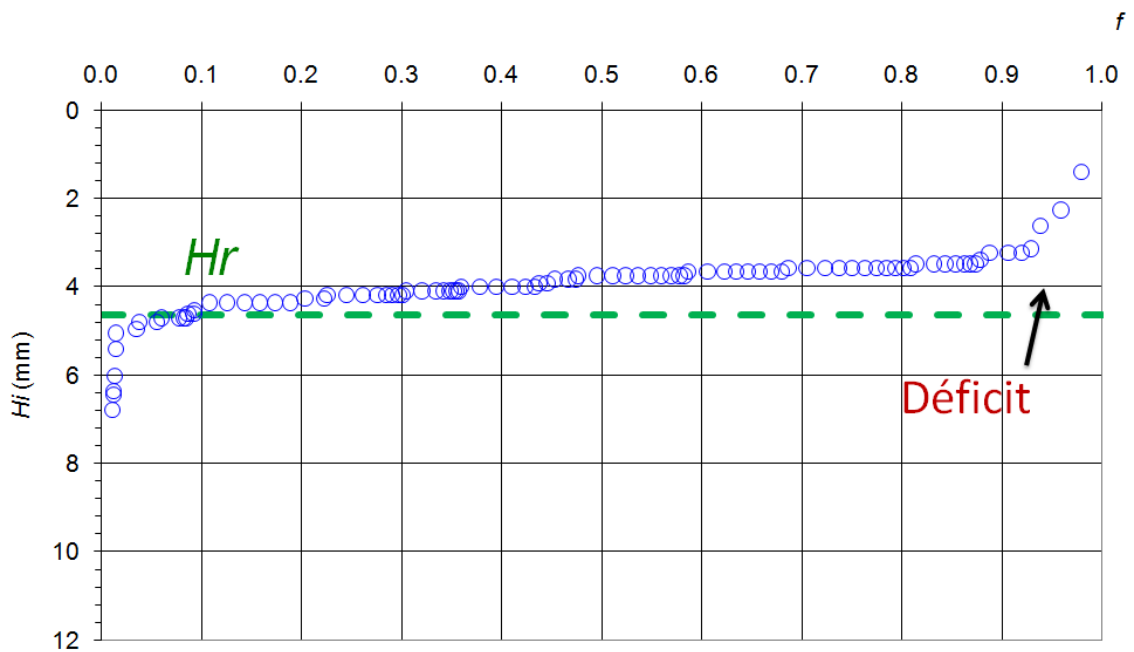


Figura 11: Distribución de agua de PC 2 (CU = 87%, cultivo: maíz)

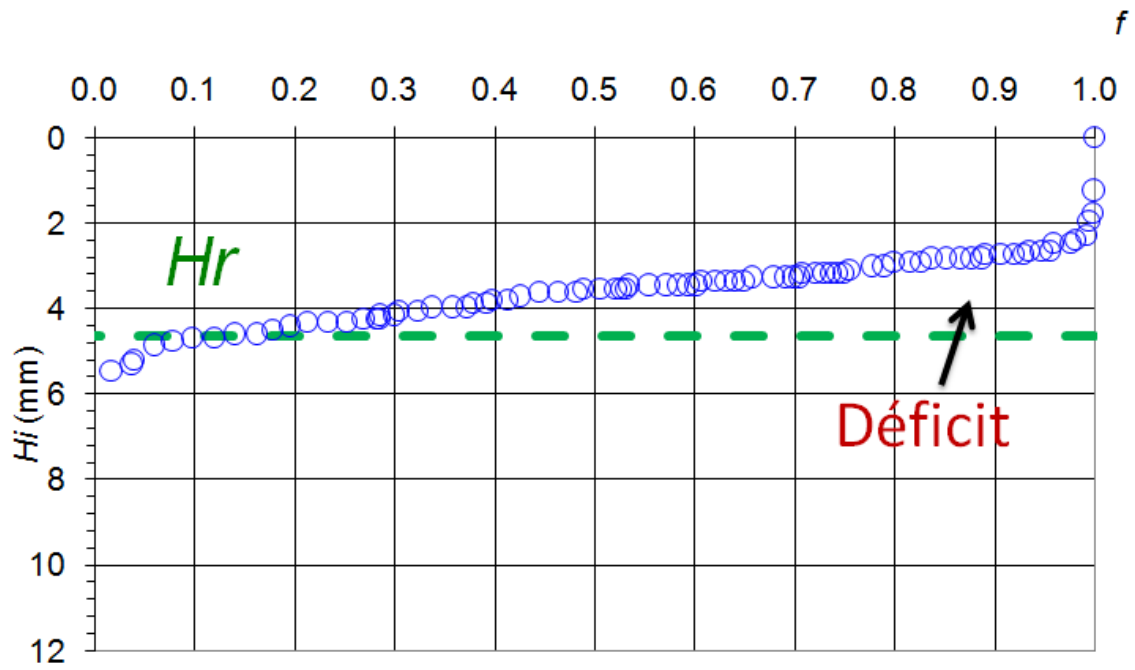


Figura 12: Distribución de agua de PC 3 (CU = 82%, cultivo: maíz)

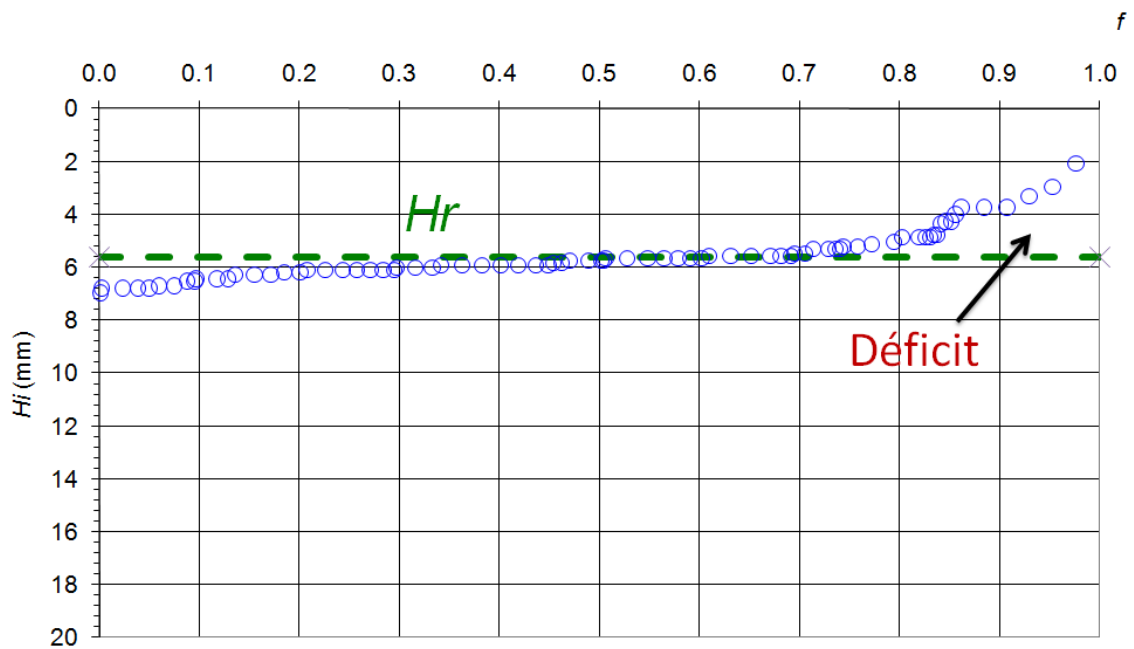


Figura 13: Distribución del agua de PC 4 (CU = 86%, cultivo: remolacha).

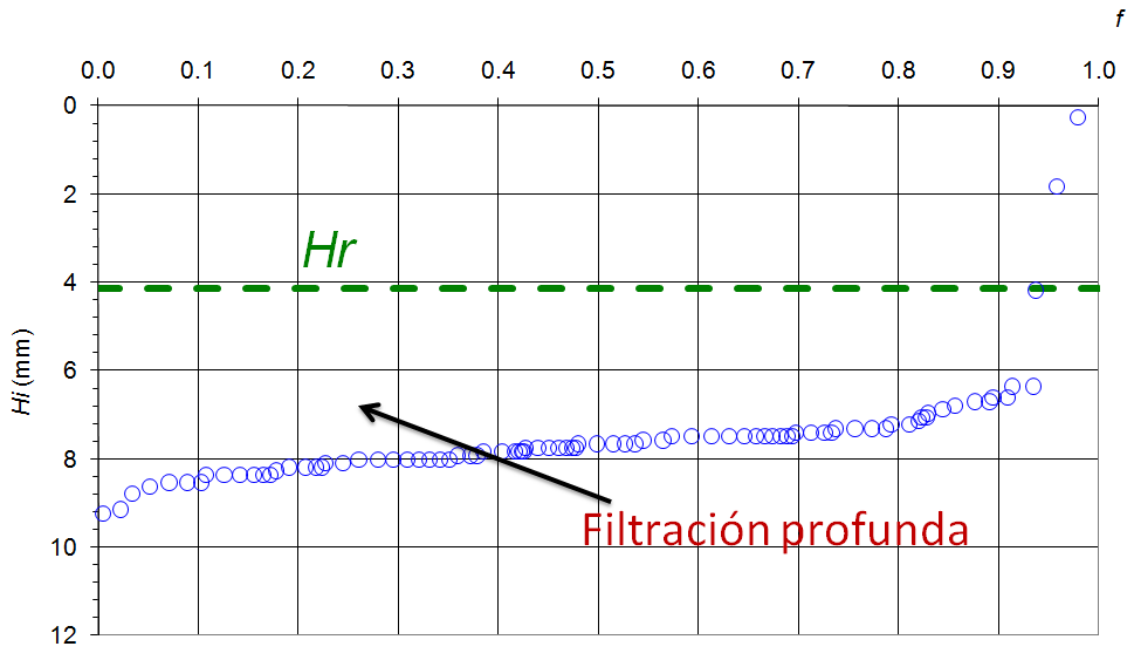


Figura 14: Distribución de agua de PC 5 (CU = 89%, cultivo: maíz)

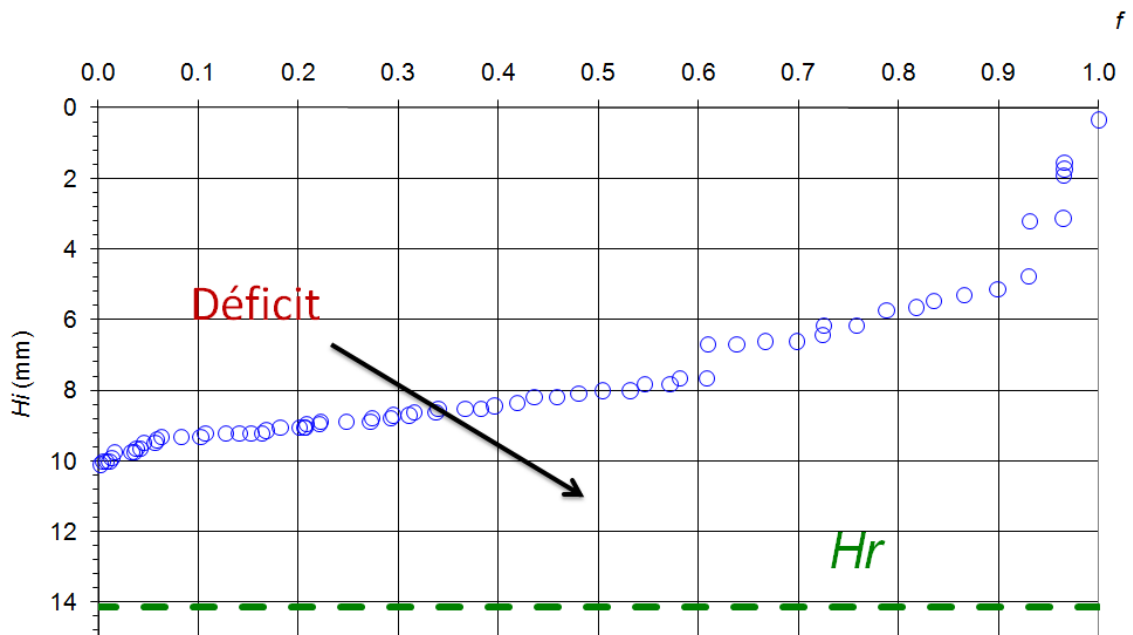


Figura 15: Distribución de agua de PC 6 (CU = 79%, cultivo: trigo)

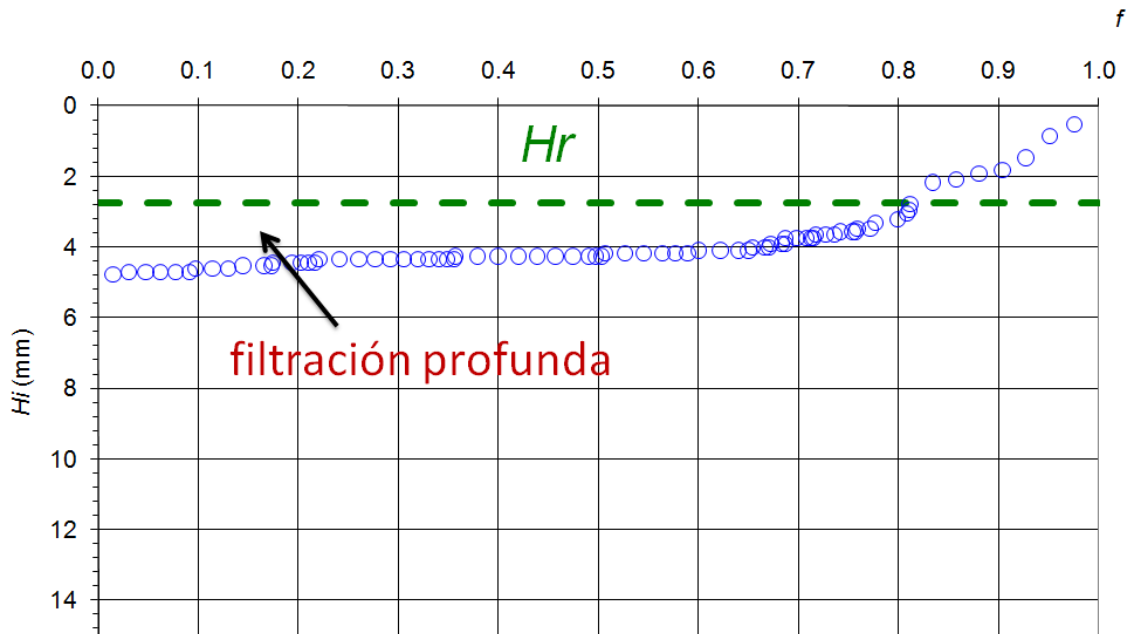


Figura 16: Distribución de agua de PC 7 (CU = 78, cultivo: remolacha).

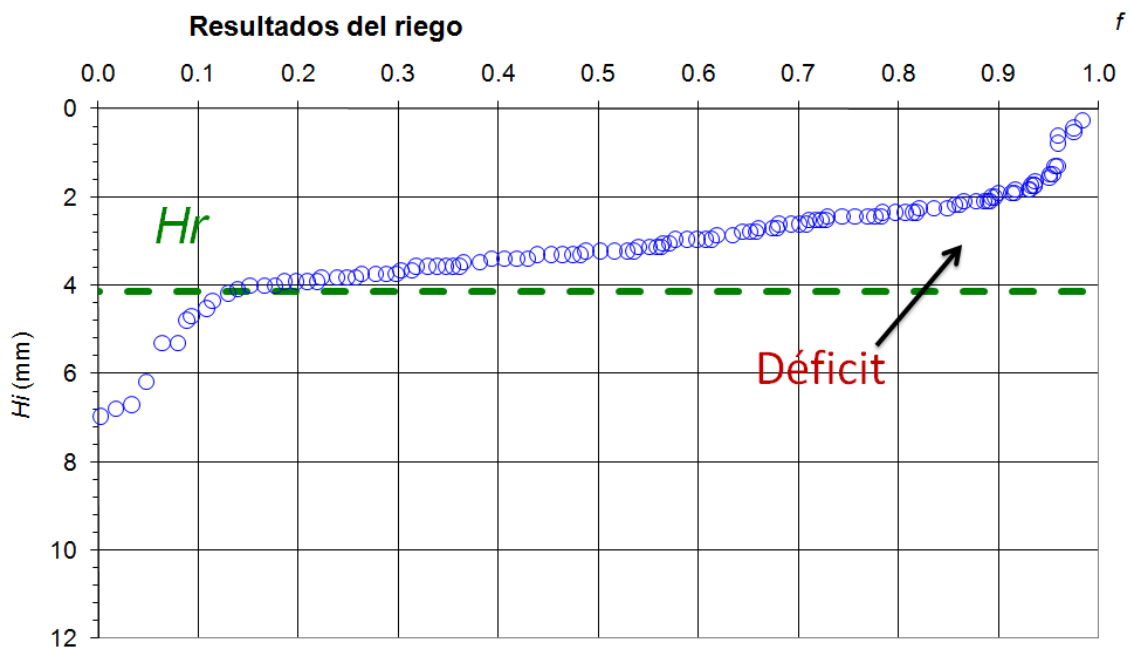


Figura 17: Distribución del agua de PC 8 (CU = 70%, cultivo: maíz).

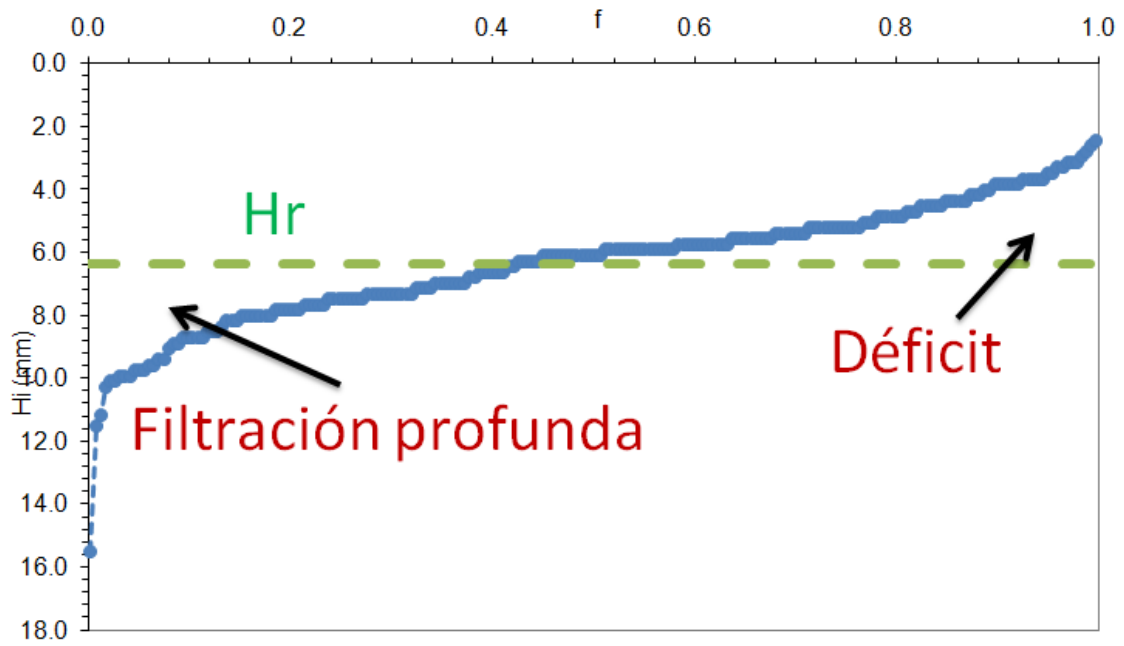


Figura 18: Distribución del agua de CT 1 (CU = 77%, cultivo: remolacha).

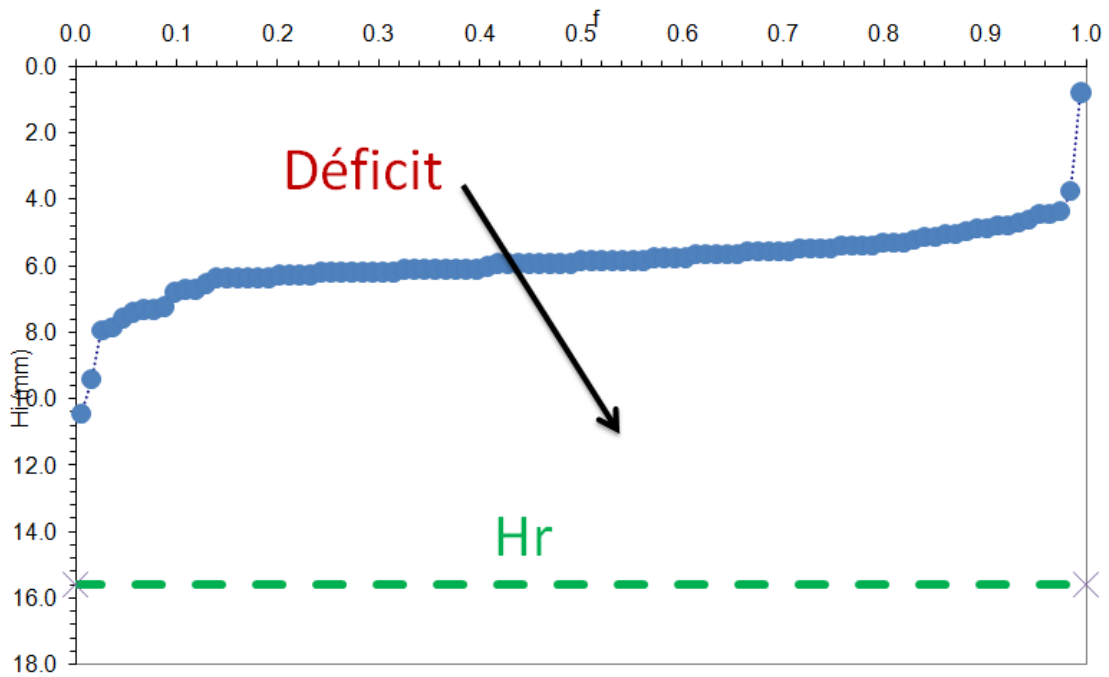


Figura 19: Distribución del agua de RAF (CU = 89%, cultivo: Cebolla).

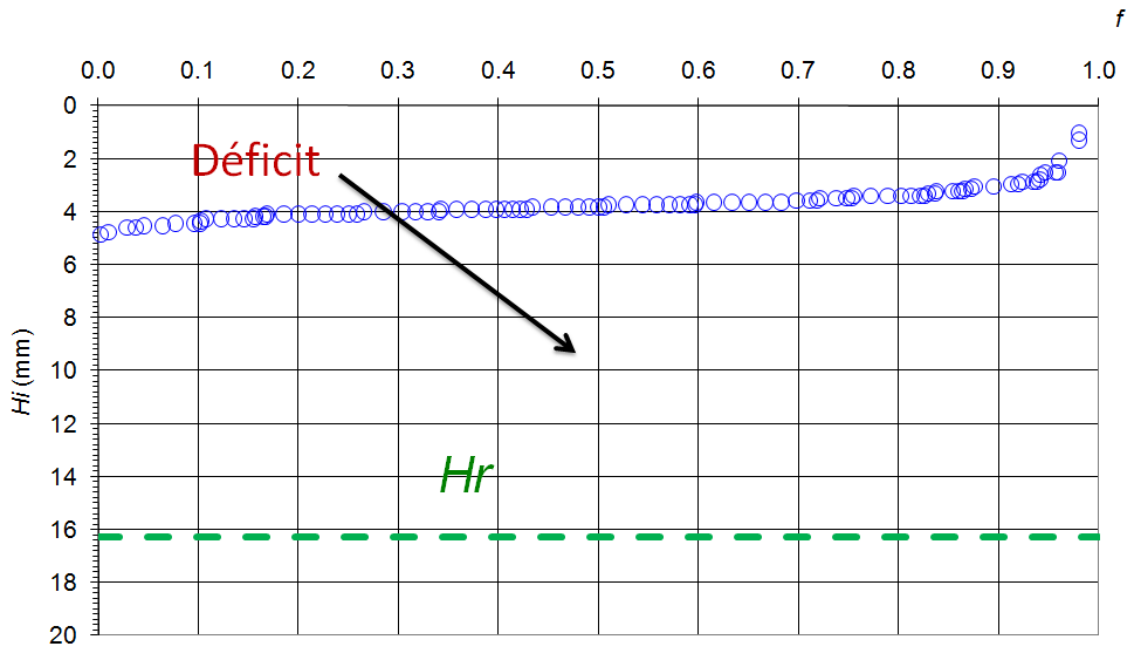


Figura 20: Distribución del agua de PC 9 (CU = 88, cultivo: cebolla).

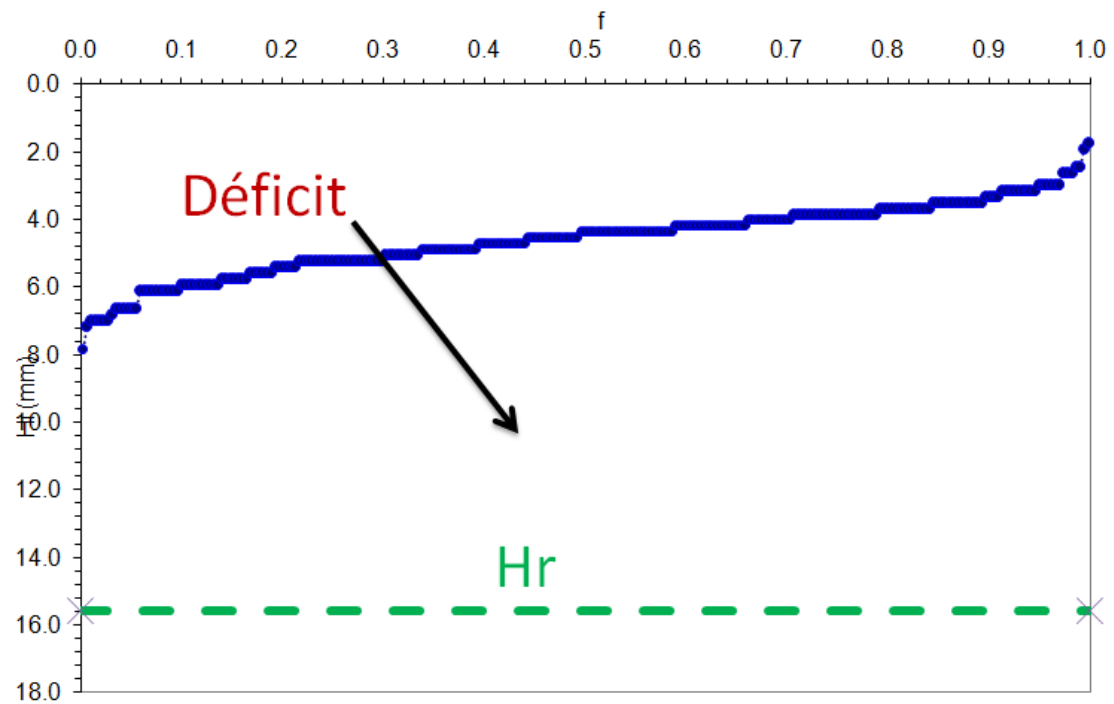


Figura 21: Distribución del agua de CT 2 (CU = 82, cultivo: cebolla).

Los valores de uniformidad de riego (CU) varían entre 70 y 89% . Según la clasificación mostrada en Tarjuelo 1995 y en Tarjuelo et al 1992, valores $CU \geq 80\%$ son considerado buenos y valores $CU < 80\%$ se consideran mejorables. Atendiendo a este criterio, la distribución del agua de los sistemas de riego por pivote: PC 1, PC 2, PC 4, PC 5, PC 9, PC 3, junto con el sistema de cobertura total CT 2 y el ramal de avance frontal RAF, es bueno (66,66% de los sistemas evaluados). Por el contrario son mejorables las distribuciones del agua en los pivotes: PC 8, PC 6 y PC 7 y de cobertura total CT 1 que en conjunto correspondería al 33,33% de los sistemas evaluados.

Aunque se considera que las condiciones del ambiente pueden haber influido en la evaluación, sobre todo por la evaporación y arrastre de las gotas por el viento, se podría mejorar la uniformidad de aplicación del agua con una mejor selección de la presión en cabeza y adecuando la disposición de los aspersores a lo largo del pivote y haciendo uso de las tomas que permiten una distribución adecuada del agua. En el caso del sistema de cobertura total, se propone aplicar la regla de los $2/3$, “la distancia en diagonal entre dos aspersores en ramales contiguos no debe exceder los $2/3$ del diámetro mojado”. De esta forma, el alcance del aspersor R debería ser mayor de $\frac{3}{4}$ de dicha distancia, $R > \frac{3}{4}$ y así se podría mejorar la superposición de las lluvias de los aspersores y por tanto obtener una mejor uniformidad de distribución.

Asimismo, se aconseja aprovechar al máximo el riego nocturno , evitar regar con vientos mayores de 4, 5m/s y trabajar con presiones bajas o medias que no superan $2,25 \text{ kg/cm}^2$, que produzcan gotas de tamaño grande que son menos sensibles al arrastre por el viento y siempre que las pérdidas de carga en el ramal no superen un determinado valor.

Los resultados del riego en la mitad de los sistemas evaluados (PC 2, PC 3, PC 5, PC 7, PC 8 y PC 9) han sido malos. Su rendimiento de aplicación es menor de 0,75 valor que es considerado como bueno en estos tipos de sistemas (INFORIEGO, 2011). Estos rendimientos se ven afectados, en gran medida, por de la lámina de riego requerida para cubrir las necesidades hídricas del cultivo. En este estudio, se ha considerado unas necesidades hídricas medias calculadas con CropWat a partir de la precipitación y temperatura medias registradas en la estación climática desde 2001 hasta la

actualidad considerado como coeficientes de cultivo los proporcionados por el servicio de asesoramiento al regante (INFORIEGO). Sin embargo, estos valores medios no coincidieron con los proporcionados por INFORIEGO en la semana de la evaluación.

En las evaluaciones de PC 5 y PC 7 (16,66% de los sistemas evaluados), se observa una lámina de filtración profunda alta. Por el contrario, la distribución del agua en las evaluaciones de PC 6, PC 9, CT 2 y RAF (33,33% de los sistemas evaluados), no cubren la lámina requerida por lo que el riego sería totalmente deficitario.

Varias de las consecuencias del bajo rendimiento de aplicación de riego, son el coste adicional de energía, de agua y de fertilizantes que genera por lo que habría que mejorar dichos resultados, considerara lo que se sugieren las siguientes medidas:

Reducir el tiempo de aplicación del riego (en la evaluaciones con riego excedentario) con el propósito de ajustar la lamina aplicada con la requerida.

Aumentar el tiempo de aplicación de riego dejando un déficit no más de 12.5%, valor que se considera permisible en el riego por aspersión (Montero et al., 1999) en los riego deficitarios y/o aumentar la frecuencia de riego.

Aunque el suelo franco arenoso tiene una infiltración instantánea buena, (20-30 mm/h), en las evaluaciones : PC 4 y PC 5 (16,66% de los sistemas evaluados) el riesgo de encharcamiento del terreno por la precipitación máxima en el extremo del pivote es elevado.

6. Conclusiones

La uniformidad de distribución del agua de riego de los diferentes sistemas de riego evaluados puede considerarse buena aunque podría mejorarse seleccionando mejor la presión en cabeza del sistema, el solapamiento entre aspersores y evitando el riego con condiciones de viento y temperatura desfavorables. No se ha observado diferencia entre métodos de riego.

Atendiendo a los valores medios de la lámina requerida calculados con la información de toda la serie de datos registrada en la estación meteorológica y la frecuencia de riego proporcionada por los agricultores, el rendimiento de aplicación en el 50 % de las evaluaciones es menor de 0,75 y puede ser calificado de malo.

Por otra parte, casi el 17 % de las evaluaciones aplican riegos excedentarios con la consiguiente pérdida de recursos de agua, energía y fertilizantes y el consiguiente riesgo de contaminación de acuíferos. En estos casos, se recomienda la disminución del tiempo de aplicación de riego manteniendo un coeficiente de déficit apropiado para la producción del cultivo.

Asimismo, el 33 de los sistemas de riego evaluados es totalmente deficitario y aportan láminas de agua por debajo de la requerida en toda la superficie por lo que se recomienda aumentar la frecuencia y tiempo de aplicación del riego.

7. Bibliografía:

1. Beltrán, J. M. 1996. Consideraciones sobre el regadío en España. REVISTA DEL COLEGIO DE LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. ESPAÑA Y EL AGUA. (1996) 37-3
2. Calvo L. P. 2001. Eyser Estudios y Servicios S.A. Proyecto modificado de precios e informaciones de las condiciones impuestas por la declaración del impacto ambiental del proyecto del azud de derivación y conducción principal de la zona regable del río Adaja (Ávila).
3. Centro de investigación y transferencia en riego y agro climatología. Infiltración del agua en el suelo. http://www.sepor.cl/informacion_cartillas/S106_Cartilla_Infiltracion_del_agua_en_el_suelo.pdf
4. Chávez, L. J.; Pierce F.J.; Evans R.G. 2009. Compensating inherent linear move water application errors using a variable rate irrigation system. Irrig Sci 28:203–210.
5. Chicote F. G. 2011. El Regadío en España. <http://geoperspectivas2bachiller.blogspot.com/2011/01/practica-el-regadio-en-espana.html>
6. Christiansen JE (1942) Irrigation by sprinkling. Bulletin 670. Agricultural experiment station. University of California, Berkeley.
7. Clemmens A. J, Molden D.J, 2007. Water uses and productivity of irrigation systems. Irrig Sci (2007) 25:247–261.
8. Climate Institute. 2000. El Agua. <http://www.climate.org/topics/water-espanol.html>
9. Confederación Hidrografica del Duero. 2011. <http://www.chduero.es/Inicio/LacuencadelDuero/Caracter%C3%ADsticagenerales/tabid/86/Default.aspx>
10. Dechmi F. Playa E. Caverro, J. Faci, J.M. Martinez-Cob, A. 2003. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (Zea mays). Irrig Sci 22: 67–77

11. Dogan E, Kirnak H, Dogan Z. 2008. Effect of varying the distance of collectors below a sprinkler head and travel speed on measurements of mean water depth and Uniformity for a linear move irrigation sprinkler system. *B I O S Y S T E M S E N G I N E E R I N G* 99 (200 8) 1 9 0 – 1 9 5.
12. Dukes, M. D.; Perry, C. 2006. Uniformity testing of variable-rate center pivot irrigation control systems. *Precision Agric* 7: 205-218.
13. Echarri L. 1998. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/06Recursos/110AguaEsp.htm#Disponibilidad%20y%20uso%20del%20agua%20en%20Espa%C3%B1a>
14. Faci, J.M.; Bensaci, A.; Slatni, A.; Playán, E. 2000. A case study for irrigation modernisation. I. Characterisation of the district and analysis of water delivery records. *Agric. Water Manage.* (42): 313-314.
15. Fereres, E, Mateos, L, Losada, A. 1996. Eficiencia de riego y modernización de regadíos. *Asociación Española de Riegos y Drenajes*, XIV.
16. HaiJun, Y.; HongZhi, J. e YiChao, Q. 2010. Characterizing center pivot irrigation with fixed spray plate sprinklers. *SCIENCE CHINA technological sciences.* 53 (5) 1398-1405.
17. INFORIEGO. 2011. Agronomía del riego http://www.inforiego.org/opencvms/opencvms/info_tecnica/6_agronomia/index.html
18. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesca. 2011. Sistema de asistencia al regante en Andalucía. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/sar/servlet/FrontController?action=Static&url=infoUATRA/evaluaciones.html&ec=info>
19. Instituto Nacional de Estadística. 2008. Estadísticas e indicadores del agua. La información estadística, instrumento necesario para una mejor gestión del agua. <http://www.ine.es/revistas/cifraine/0108.pdf>
20. ITACYL. 2011. Datos medio mensuales. http://www.inforiego.org/opencvms/opencvms/info_meteo/datos_medios/index.html

21. Keller, J. y Bliesner R.D. 1990: Sprinkle and Trickle Irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York.
22. Letey, J., H. J. Vaux and E. Feinerman. 1984. Optimum crop water application as affected uniformity of water infiltration. *Agronomy Journal* 76: 435-441.
23. Li, J. 1998. Modelling crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation system. *Agricultural Water Management* 38: 135-146.
24. Losada, A. 1994. Eficiencia técnica en la utilización del agua de riego. *Revista de estudios agrosociales* 167:131-154.
25. Martín de Santa Olalla, F.; López, F. P.; Calera B. A. 2005. Agua y Agronomía. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Página. 271-294
26. Mateos, L. 2006. A simulation study of comparison of the evaluation procedures for three irrigation methods. *Irrig Sci* 25: 75–83.
27. Merriam, J. L., Keller, J (1978) Farm irrigation system evaluation: a guide for management, 3rd edn. Utah State University, Logan.
28. Miliarium.com. 2004. Clasificación textural de los suelos. <http://www.miliarium.com/prontuario/Tablas/Suelos/ClasesTexturales.htm>
29. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2010. El MARM resuelve la evaluación de impacto ambiental de la modernización de riego de la Comunidad de Regantes de Sucs (Lleida). <http://www.marm.es/es/prensa/ultimas-noticias/notas-de-prensa-din.aspx?tcm=tcm:7-125578-16>
30. Montazar A.; Sadeghi M. 2008. Effects of applied water and sprinkler irrigation uniformity on alfalfa growth and hay yield. *agricultural water management* 95 1279–1287.
31. Montero J., Ortega F.J., Honrubia F.T., Ortiz J., Valiente M., Tarjuelo J.M. 1999. RECOMENDACIONES PARA UN ADECUADO DISEÑO Y MANEJO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN. Congreso del Instituto Internacional de Investigaciones Remolacheras.
32. Montovani, E. C., F. J. Villalobos, F. Orgaz and E. Fereres. 1995. Modeling the effects of sprinkler irrigation uniformity on crop yield. *Agricultural Water Management* 27: 243-257.

33. Playán, E.; Garrido, S.; Faci, J.M.; Galán, A.2004. Characterizing pivot sprinklers using an experimental irrigation machine. *Agricultural Water Management* 70 177–193.
34. Riesgo A. L y Gómez-Limon R.J.A. 2002. Políticas de tarificación y de ahorro de agua en el regadío. Análisis de su aplicación conjunta. *Estudios Agro sociales y Pesqueros*, 192. Pag. 63-104.
35. Tarjuelo J.M. (1995): *El riego por aspersión y su tecnología*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
36. Tarjuelo, J.M., Valiente M. y Lozoya J. 1992. Working conditions of a sprinkler to optimize the application of water. *J. Irrig. Drain. Eng.* 118(6): 895-913.
37. Warrick, A. W. and W. R. Gardner. 1983. Crop yield Proceeding. California. USA. 439-442. as affected by spatial variation of soil and irrigation. *Water Resources Research* 19: 181-186.