

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y RIEGOS IMPLEMENTADOS EN LA UNIVERSIDAD DE
CASTILLA-LA MANCHA**

POR:

NELTON JAHZEEL MORALES LOPEZ

PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA



CATACAMAS

OLANCHO

JUNIO, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y RIEGOS IMPLEMENTADOS EN LA UNIVERSIDAD DE
CASTILLA-LA MANCHA**

POR:

NELTON JAHZEEL MORALES LOPEZ

M.Sc. EDUARDO ARIEL CASTRO

Asesor principal

**TRABAJO PROFESIONAL SUPERVISADO
PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO REQUISITO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

CATACAMAS

OLANCHO

JUNIO, 2024

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Los suscritos miembros del Comité Evaluador del Informe Final de la Práctica Profesional Supervisada certificamos que:

El estudiante **NELTON JAHZEEL MORALES LÓPEZ** del V Año de Ingeniería Agronómica presentó su informe intitulado:

“PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y RIEGOS IMPLEMENTADOS EN LA UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA”

El cual, a criterio de los evaluadores, **APROBÓ** el presente trabajo de investigación como requisito previo para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Dado en la ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho, a los veinte días del mes de junio del año dos mil veinticuatro.

M.Sc. EDUARDO CASTRO

Asesor Principal

M.Sc. RENE CÁCERES

Asesor Auxiliar

M.Sc. ADRIAN REYES

Asesor Auxiliar

DEDICATORIA

A **DIOS** nuestro creador por haberme permitido cumplir este sueño, darme las fuerzas que necesitaba, brindarme la salud y sabiduría en momentos que se fueron tornando difíciles en el transcurso de alcanzar esta meta.

A mi padre **FRANCIS NELTON MORALES MEJIA** por el apoyo incondicional brindado siempre en mi educación y formación como profesional y personal de valores, por animarme para seguir adelante en momentos difíciles.

A mi madre **LESLY MARIBEL LOPEZ AVILA** por todo su apoyo y esfuerzo brindado a lo largo de mi vida para que yo sea una persona de bien.

A mis hermanos **FABIEL, MARICELA, ISAMAR, SUANY, YOHANA**, y mis primas **ZENaida, CLAUDIA Y SEYLA**. Gracias por creer en mí y apoyarme siempre.

A mis amigos **DANIEL, JOSE ANTONIO, PASTRANA, WALTER, EMILY, CESAR, EMERITO, HIGINIO, STEPHANIE, ROSA PALMA, ROSSNER, JOSE JESUS, ISAAC, SANDY, JAVIER Y FRANCISCO** por su apoyo y consejos brindados a lo largo de mi carrera y de la práctica.

AGRADECIMIENTO

A **DIOS** todo poderoso porque en ningún momento se alejó de mí y siempre estuvo a mi lado dándome fuerzas para alcanzar este fin.

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA** por abrirme sus puertas y permitirme ser un egresado más de la mejor universidad de Honduras.

A mis asesores, **M. Sc. EDUARDO CASTRO, M. Sc. RENE CACERES, M. Sc. ADRIAN REYES** por su apoyo, y consejos en todo este trabajo y así, poder realizarlo de la mejor manera.

A mi **Familia** que de no ser por ellos nada de esto fuera posible, esto título es para ellos.

A cada uno de los colaboradores de la **UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA, ESPAÑA** por brindarme su apoyo y su confianza durante el periodo de la PPS.

A mi asesor de la UCLM durante la práctica **JOSE MARIA TARJUELO MARTIN-BENITO** por su apoyo, y consejos en todo este trabajo y así poder completarlo de la mejor manera.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN -----	1
II. OBJETIVOS -----	3
2.1 Objetivo general:-----	3
2.2 Objetivos específicos: -----	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA -----	4
3.1 Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) -----	4
3.2 Centro Regional de Estudios del Agua (CREA)-----	4
3.3 Sistema de información agroclimática para el regadío en Castilla-La Mancha-----	5
3.4 Herramienta de programación de riego deficitario controlado -----	5
3.5 Cálculo de las demandas hídricas de los cultivos -----	5
3.6 Evaluación de los sistemas de riego-----	6
3.6.1 Eficiencia de riego -----	7
3.6.2 Parámetros indicadores de la idoneidad del riego en las evaluaciones -----	8
3.6.3 Uniformidad de distribución (UD) -----	8
3.6.4 Coeficiente de uniformidad (CU)-----	9
3.6.5 Eficiencia de aplicación (Ea) -----	10
3.6.6 Porcentaje de percolación profunda (PPP) -----	10
3.6.7 Porcentaje de escorrentía superficial (PES) -----	11
3.7 Modelos de Optimización Económica -----	11
3.7.1 Sostenibilidad de la agricultura con las últimas tecnologías -----	12

IV. MATERIALES Y MÉTODO	14
4.1 Localización	14
4.2 Descripción del Lugar	15
4.3 Materiales y Equipo	16
4.4 Método	16
4.4.1 Etapas	16
4.5 Desarrollo de la práctica	18
4.5.1 Áreas agrícolas del CREA	18
4.5.2 Procesos agrícolas y riego	18
4.5.3 Verificación de los procesos agrícolas	26
V. RESULTADOS Y DISCUSION	27
5.1 Descripción de las áreas agrícolas del CREA	27
5.1.1 Administrativas	27
5.1.2 Académicas	27
5.1.3 Productivas	28
5.2 Desarrollo y verificación de procesos agrícolas.	29
VI. CONCLUSIONES	45
VII. RECOMENDACIONES	46
VIII. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	47

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 Universidad de Castilla-La Mancha (ETSIAM)	14
Figura 2. Croquis del cultivo de ajo	28
Figura 3. Croquis del cultivo de cebada	28
Figura 4. Croquis del cultivo de adormidera	29

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo 1. Distanciamiento entre ramales	51
Anexo 2. Instalación de ramales	51
Anexo 3. Sistema de microaspersión instalado	52
Anexo 4. Manejo de los tratamientos en el ajo.....	52
Anexo 5. Funcionamiento del sistema de microaspersión	52
Anexo 6. Control de malezas.....	53
Anexo 7. Asperjando el cultivo contra gramíneas.....	53
Anexo 8. Datalogger instalado	53
Anexo 9. Instalación de sensor de humedad	54
Anexo 10. Sistema de riego por goteo subterráneo	54
Anexo 11. Croquis de las oficinas del campo de prácticas de la UCLM	55
Anexo 12. Croquis de las parcelas de cebada, ajo y maíz	55
Anexo 13. Croquis de las parcelas de almendro, pistacho y adormidera	56

MORALES, N.J. 2024. Producción agrícola y riegos implementados en la Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España. PPS. Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Olancho, HN. 55 pág.

RESUMEN

La práctica profesional supervisada se realizó en el Centro Regional de Estudios del Agua (CREA) de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Albacete, España, durante el mes de enero a el mes de abril del año 2024, teniendo como objetivo caracterizar los procesos agrícolas y riego en las áreas agrícolas de la UCLM. Se registraron todas las actividades relacionadas con los sistemas de riego en áreas agrícolas, permitiendo evaluar su eficacia; por ende, la documentación sirve como base para analizar y mejorar métodos de riego, avanzando así en prácticas agrícolas; por lo tanto, para describir las áreas agrícolas, se usó una metodología activa-participativa, fomentando la participación y el compromiso de los estudiantes de la UNAG; y, posteriormente, se verificaron los procesos de preparación de suelos, instalación del sistema de riego, siembra, labores culturales y manejo fitosanitario; así mismo, para operar los sistemas de riego, se necesita llevar un monitoreo y mantenimiento para garantizar su correcto funcionamiento; además, en la evaluación de los sistemas de riego se consideraron parámetros como el caudal, Coeficiente de Uniformidad (CU) y Eficiencia de Uso (EU). Los procesos agrícolas realizados fueron positivos y pueden ser replicados en otras instituciones, como la Universidad Nacional de Agricultura (UNAG); por ende, se sugiere ampliar los servicios del CREA y considerar su aplicación en nuestro país, promoviendo el uso responsable del agua y contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: sistemas de riego, metodología activa/participativa, eficiencia de riego, optimización de agua, procesos agrícolas, coeficiente de uniformidad, CREA.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo, aproximadamente el 72% del agua dulce disponible se emplea en la agricultura, un 12% para uso diario de las comunidades y un 16% para la industria; es así, que la agricultura es la actividad humana que consume mayor cantidad de recursos hídricos, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria; por ende, los más afectados por esta situación son los agricultores, pueblos indígenas, migrantes y otros (FAO 2023).

Las actividades humanas tienen dependencia de los recursos hídricos; fundamentales para la innovación, desarrollo e investigación; además, constituye un elemento fundamental en la producción agrícola de las naciones para su sostenibilidad. El panorama actual no es alentador; se tiene un crecimiento demográfico exponencial, cambio climático, presión en los sistemas productivos, reducción del área de reservas, etc, provocan que un tercio de la población mundial tenga acceso limitado al agua y un 10% sin acceso a agua potable. (FAO 2023).

Según la ONU (2021), aunque el uso de recursos como el suelo y el agua en la agricultura aún no ha alcanzado su máximo potencial, se observa una desaceleración en el aumento de la productividad agrícola, junto con un acelerado agotamiento de la capacidad productiva y la generación de daños ambientales; por lo tanto, para revertir este deterioro y promover un crecimiento inclusivo, es crucial adoptar prácticas agrícolas más responsables ambientalmente y con un manejo climático eficiente; además, la FAO (2023) señala que la población mundial actual de aproximadamente 8,000 millones de personas se espera que aumente a 9,000 millones para el 2050, con una demanda de agua proyectada para crecer un 35%; por ende, ante este panorama, será necesario cultivar con menos agua, lo que subraya la urgencia de encontrar soluciones a esta problemática.

En regiones donde el suministro de agua es limitado y no renovable, su uso en la agricultura debe ser gestionado con eficiencia para maximizar su rendimiento y beneficios; además, el rendimiento del agua se utiliza como medida para evaluar esta eficiencia. Según las Naciones Unidas, para el 2030, casi la mitad de la población mundial vivirá en áreas con una demanda de agua superior a los recursos renovables de agua dulce disponibles (FAO 2021). La implementación de sistemas de riego ha mejorado la producción agrícola global, y su control optimiza los procesos de irrigación al reducir problemas como la escasez de agua debido al cambio climático; además, estos sistemas permiten un uso más racional del agua, evitando el desperdicio y mejorando la economía de la producción agrícola (Martínez-López et al. 2022).

Por lo tanto, esta Práctica Profesional se enfoca en la planificación e implementación de sistemas de regadío que generen un aprovechamiento eficiente del agua y se transmita el uso de estos programas de riego en el sector agrícola de Honduras.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Caracterización de los procesos agrícolas y riego en el Centro de Investigación de la Universidad de Castilla-La Mancha implementando tecnologías innovadoras para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la agricultura.

2.2 Objetivos específicos:

- Describir las áreas agrícolas del centro de investigación de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), mediante la participación en los trabajos que se realicen.
- Implementar los procesos agrícolas y riego en las parcelas demostrativas del centro de investigación de la UCLM, mediante prácticas de campo.
- Verificar los procesos agrícolas y riego de la UCLM mediante la toma de datos y la evaluación de estos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM)

Es una institución de educación superior e investigación referente a la comunidad autónoma que le da su prestigio desde hace ya cuatro décadas. Presenta una amplia oferta académica, científica y tecnológica, incluyendo otros servicios que presentan calidad y excelencia. Cuenta con campus en Albacete, Ciudad Real, Cuenca y Toledo y sedes en Almadén y Talavera de la Reina, la UCLM es una institución joven, moderna, dinámica y competitiva, cuyo compromiso es no solo la preparación de los estudiantes para ejercer actividades profesionales, sino también la formación plena e integral de los mismos (López-Brea Rector, 2021).

3.2 Centro Regional de Estudios del Agua (CREA)

Este centro se creó en el año 2001, es dependiente de la universidad de Castilla-La Mancha y se dedica a distintas labores que repercuten en el uso y aprovechamiento del agua. El CREA facilita un mejor conocimiento e implementación eficiente de los recursos hídricos, mediante la ejecución de trabajos, entre los que resaltan promover y ejecutar estudios y proyectos de investigación, la ejecución de labores docentes de formación básica y especializada, el abastecimiento de apoyo y consejo científico y técnico de entidades públicas y privadas, y dar origen a un fondo bibliográfico y documental especializado (CREA - 2020).

3.3 Sistema de información agroclimática para el regadío en Castilla-La Mancha

El SIARCLM es un servicio de consejería en la agricultura, agua y desarrollo rural, está asociado a la UCLM, y pretenden brindar a los agricultores a alcanzar en sus medios de producción un uso eficiente y racional, este un apoyo científico y técnico procura optimizar el uso del agua, y lograr convertir a la agricultura una actividad sostenible y compatible con el medio ambiente. La iniciativa busca ser un puente para la transferencia de tecnología a la agricultura que permite a los agricultores acceder a conocimientos y aplicar tecnologías avanzadas ligadas a la agronomía e ingeniería del riego. El CREA coordina este servicio de la mano con la UCLM en Albacete, España, bajo la dirección de la Consejería de Agricultura, Agua y Desarrollo Rural, quien señala las directrices generales (SIAR - 2024).

3.4 Herramienta de programación de riego deficitario controlado

Los Sistemas de Asesoramiento al Regante (SAR), envían información para la programación de riegos a sus usuarios, los SAR se basan en estaciones de red del Sistema de Asesoramiento al Regante de Castilla-La Mancha (SIARCLM), su importancia radica en que estiman el consumo de los principales cultivos por área, esta información es el método más rápido, eficaz y económico para llevar los datos a los usuarios. Existe una solicitud de información particular sobre la parcela del usuario, orientada a satisfacer las necesidades específicas de sus métodos de producción, incluyendo su sistema de riego, de manera fácil de utilizar y eficiente (Martínez-López et al. s. f. 2020).

3.5 Cálculo de las demandas hídricas de los cultivos

Se calculan implementando la aplicación RETOAGUA desarrollada por el CREA a partir de varios proyectos europeos, nacionales y regionales con la colaboración de la UCLM y la

Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha para realizar el cálculo de necesidades en el riego para cultivos herbáceos y leñosos bajo técnicas de riego deficitario. Se actualiza diariamente gracias a que la Agencia Estatal de Meteorología y la red de estaciones SIAR, brindan datos climáticos. RETOAGUA genera por tanto una programación de riegos optimizada y adaptada a las necesidades de los cultivos o a la cantidad de agua disponible en el caso de los leñosos (UCLM - 2024).

3.6 Evaluación de los sistemas de riego

Evaluar el riego es esencial para llevar a cabo una programación efectiva de los riegos, ya que es necesario comprender cuánta agua suministra nuestro sistema y de qué manera lo hace, permitiéndonos ajustar las dosis de riego en consecuencia. Garantizar una uniformidad de distribución es crucial para asegurar que cada sección del campo reciba la cantidad apropiada, evitando tanto el exceso como la insuficiencia de humedad. La evaluación de la uniformidad del riego generalmente se basa en la cantidad de agua suministrada al cuarto del campo con menor riego, en comparación con el promedio de agua aplicado a toda la extensión del campo, lo que se conoce como Uniformidad de Distribución del menor cuarto (Gavilán et al. 2015).

$$UD = \frac{\text{Altura media de agua infiltrada en el 25\% del área menos regada}}{\text{Altura media del agua infiltrada en la parcela}} \times 100$$

Se establecen las particularidades generales del sistema, ya que cada sistema requiere una evaluación específica; por ende, para que los sistemas sean considerados aceptables, los valores de estos parámetros deben mostrar un coeficiente de uniformidad superior al 80% (Tarjuelo 1995), es importante señalar que los valores de uniformidad obtenidos en la evaluación hacen referencia al día en que se llevó a cabo dicho análisis y no abarcan toda la temporada.

Por ejemplo, si las evaluaciones se realizan durante el día con vientos más fuertes que los que se experimentan durante la noche, momento en el cual se han realizado la mayoría de los riegos en aquellas parcelas con bajos coeficientes de uniformidad, se acepta un umbral mínimo del 84% (De Montes et al. S. f.).

3.6.1 Eficiencia de riego

Se define como la relación entre la cantidad de agua que es efectivamente utilizada por las plantas para su crecimiento y la cantidad total de agua aplicada durante el riego. En el riego por goteo la eficiencia de la aplicación debe estar entre 85% a 87% para sistemas superficiales y entre el 90 y 92 para sistemas de goteo subterráneo; mientras que en el riego por aspersión posee una eficiencia de 70% a 80%; así mismo, los sistemas de riego por goteo bien diseñados son capaces de dar rendimientos eficientes si se les da el mantenimiento adecuado, por ende, se debe mantener y cuidar el sistema de obstrucciones y verificar el rendimiento del emisor, pues este puede variar (Valdivieso López 2017 s. f.).

Según (Agrícola s. f. 2020) la programación del riego es esencial para una gestión eficiente del agua y la energía en la agricultura. Implica determinar la cantidad, el momento y la forma adecuada de regar los cultivos para maximizar su productividad y el uso eficiente del agua. Esto incluye calcular las necesidades hídricas de los cultivos, considerando factores como la evaporación y la transpiración; además (Valdivieso López 2017 s. f.) afirma que, en agricultura de regadío, entender la interacción entre suelo, agua y planta es crucial; sin embargo, no siempre más agua es beneficiosa, ya que tanto el exceso como la escasez pueden afectar el crecimiento de los cultivos; además, en algunas zonas con lluvias abundantes, los cultivos pueden no desarrollarse adecuadamente debido a diversos factores como la distribución irregular de las lluvias, la baja retención de humedad en el suelo o la alta escorrentía.

3.6.2 Parámetros indicadores de la idoneidad del riego en las evaluaciones

Según afirma Faci Gonzales J.M (2005) la descripción del comportamiento del riego a menudo se expresa mediante términos como "eficiencia" (en función de la cantidad de agua aplicada por el sistema de riego que queda a disposición de las plantas) y "uniformidad" (en función de cómo el sistema de riego reparte el agua dentro de la parcela), los cuales suelen ser empleados de manera ambigua y con variados significados por diversos autores. Ningún parámetro individual es capaz de capturar completamente dicho comportamiento del riego. Conceptualmente, la idoneidad de un riego depende de los parámetros de «uniformidad» y «eficiencia» más comúnmente utilizados en las evaluaciones del riego de superficie que según (Faci Gonzales J.M 2005) son:

- Cantidad de agua que queda almacenada en la zona radicular del cultivo.
- Perdidas por percolación.
- Pérdidas por escorrentía superficial.
- Uniformidad del agua aplicada.
- Déficit de humedad en el suelo después del riego.

3.6.3 Uniformidad de distribución (UD)

La uniformidad de distribución (UD) es un indicador de los problemas de distribución del agua de riego según Faci Gonzales J.M (2005). Indica la uniformidad de la altura de agua infiltrada a lo largo y ancho de la parcela y se expresa:

$$UD = \frac{\text{Altura media de agua infiltrada en el 25\% del área menos regada}}{\text{Altura media del agua infiltrada en la parcela}} \times 100$$

La altura media de agua infiltrada en el 25% del área menos regada se calcula como la media del 25% de los valores más bajos de altura de agua infiltrada medidos, donde cada valor corresponde a una misma superficie (Faci Gonzales J.M 2005).

3.6.4 Coeficiente de uniformidad (CU)

Según (Faci Gonzales J.M 2005) el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) es un parámetro estadístico ampliamente utilizado para describir la uniformidad de distribución del agua en los sistemas de riego (Christiansen, 1942). Normalmente, el CU es utilizado en sistemas de aspersión y goteo, pero puede utilizarse también en riego de superficie, por ende, a partir de los datos obtenidos se calculan los valores de coeficiente de uniformidad (CU) de Christiansen y eficiencia de descarga que llega al suelo (Ed) mediante las ecuaciones 1 y 2.

UD (uniformidad de distribución), Vm25%: Volumen medio de los 25% menores volúmenes recogidos (ml) y Vm (volumen medio en el total de los pluviómetros)

$$CU (\%) = \left(\frac{1 - \sum |V_i - V_m|}{n \times V_m} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde CU (Coeficiente de Uniformidad), Vi: Volúmenes recogidos en los pluviómetros (ml), Vm: volumen medio recogido en el total de los pluviómetros (ml), n: número de pluviómetros.

$$Ed = \frac{100 \times (V_f + V_3)}{V_d} \quad (2)$$

Donde:

Vd = volumen de agua agregado al sistema de distribución

V3 = entregas de agua que no tienen como fin el riego en el sistema de distribución

Vf = volumen de agua proporcionado a los campos

3.6.5 Eficiencia de aplicación (Ea)

La eficiencia de aplicación del riego (Ea) se define como:

$$Ea = \frac{\text{Volumen de agua añadido a la zona radicular}}{\text{Volumen de agua aplicado en la parcela}} \times 100$$

Durante el riego se pierde agua por percolación profunda y por escorrentía superficial. El aumento de estas pérdidas de agua supone una disminución de la eficiencia de aplicación del riego Faci Gonzales J.M (2005).

3.6.6 Porcentaje de percolación profunda (PPP)

Según (Faci Gonzales J.M 2005) la pérdida de agua de drenaje por debajo de la zona radicular se refleja como el porcentaje de percolación profunda, que se expresa:

$$PPP = \frac{\text{Volumen de percolación profunda}}{\text{Volumen de agua aplicado a la parcela}} \times 100$$

Altos valores de la percolación profunda pueden producir problemas de asfixia radicular, ascensos potenciales de los niveles freáticos, salinización del suelo y lavado de nutrientes fuera de la zona radicular del cultivo. Asimismo, las aguas de percolación profunda provenientes del riego pueden producir una movilización de las sales del suelo y consiguientes problemas de calidad de agua en los cauces receptores (Faci Gonzales J.M 2005).

3.6.7 Porcentaje de escorrentía superficial (PES)

Las pérdidas por escorrentía al final de la parcela en el riego por gravedad se expresan como el porcentaje de escorrentía superficial (PES). El PES se expresa:

$$\text{PES} = \frac{\text{Volumen de escorrentía}}{\text{Volumen de agua aplicado a la parcela}} \times 100$$

3.7 Modelos de Optimización Económica

El modelo MOPECO, desarrollado por el Centro Regional de Estudios del Agua (CREA), es una herramienta que ayuda a los agricultores a tomar decisiones sobre la distribución de cultivos en zonas regables, teniendo en cuenta la rentabilidad, las necesidades hídricas de los cultivos y la cantidad de agua disponible.

(Valdivieso López 2017 s. f.) afirma que el modelo permite maximizar el margen bruto de los cultivos, optimizando la distribución de los cultivos en función de su rentabilidad, sus necesidades hídricas (también calcula la programación de riego en función de la cantidad de agua disponible, teniendo en cuenta el impacto sobre el rendimiento de la distinta sensibilidad del cultivo al déficit hídrico a lo largo de sus etapas fenológicas) considerando las características del suelo, el clima y el sistema de riego; además, el modelo MOPECO es una herramienta para identificar planes de producción óptimos y estrategias de manejo del riego.

El sistema MOPECO realiza estimaciones de la cosecha, producción y margen bruto en relación con la profundidad del riego. Estas métricas de margen bruto son empleadas para identificar un patrón de cultivo óptimo y desarrollar una estrategia de riego que busque maximizar el beneficio económico. Las relaciones entre estas variables no son lineales, y el número de estrategias posibles es muy grande. Por esta razón, determinar el proceso óptimo es muy complejo y computacionalmente intensivo; para ello, el modelo MOPECO utiliza algoritmos genéticos Valdivieso López (2017 s. f.); así mismo, el modelo MOPECO se compone de tres módulos:

- Módulo 1: Estimación de los requerimientos netos de agua.
- Módulo 2: Derivación de la relación entre el margen bruto y la profundidad de riego.
- Módulo 3: Identificación del cultivo, planificación y los volúmenes de agua a aplicar.

Un ejemplo de acciones para afrontar la problemática que presenta la reducción del recurso agua, la fundación PRIMA de la Unión Europea ha financiado el proyecto SUPROMED (Producción sostenible en ambientes con recursos hídricos limitados del afro-ecosistema Mediterráneo), dicho proyecto se ejecutó entre octubre 2019 y septiembre 2022, bajo la tutela del Centro Regional de Estudios del Agua de la Universidad de Castilla-La Mancha (Martínez-López J.A. s. f. 2020).

3.7.1 Sostenibilidad de la agricultura con las últimas tecnologías

Además del uso de nuevas tecnologías se necesita de herramientas y modelos de ayuda para la toma de decisiones que nos den el acceso a (Tarjuelo et al., 2015):

Determinar los requerimientos del agua en los cultivos con el mayor nivel de precisión posible, incluyendo la implementación de técnicas de riego deficitario, así mismo, ayudar a los productores a ser capaces de ejecutar en su cultivo una programación de riegos optimizada. La cual otorgue acceso al aumento de la productividad.(Martínez-López J.A s. f.)

Martínez-López J.A (2020 s. f.) Afirma que la aplicación de nuevas tecnologías digitalizadas, para aumentar la eficiencia de la productividad agronómica y económica del agua, la energía y el resto de los medios de producción. Así como lo aborda el proyecto SUPROMED, contribuirá a:

- Evitar el abandono de tierras y la desertificación, perfeccionando la calidad de vida de los productores por medio de capacitaciones para el manejo de las nuevas tecnologías.
- La generación de empleos para técnicos calificados, permitiendo la integración de jóvenes en el contexto rural.
- Variar y conservar las ganancias de los productores al poder adoptar la rotación de cultivos según la demanda del mercado.
- Mantener la población en zonas rurales, permitiendo el fácil relevo generacional a jóvenes agricultores que verán más cómodas las condiciones de trabajo.

IV. MATERIALES Y MÉTODO

4.1 Localización

La PPS se realizó en Universidad de Castilla La Mancha, ubicada en la ciudad de Albacete en España; dicha universidad posee su acceso más importante al campus en la Avenida de España, muy próxima al Parque Científico y Tecnológico de Castilla-La Mancha (PCTCLM), al Jardín Botánico de Castilla-La Mancha, y al Estadio Carlos Belmonte, en la autovía de Los Llanos, al sur de la ciudad (Longitud 38.958908 y latitud -1.879004) UCLM (2021).

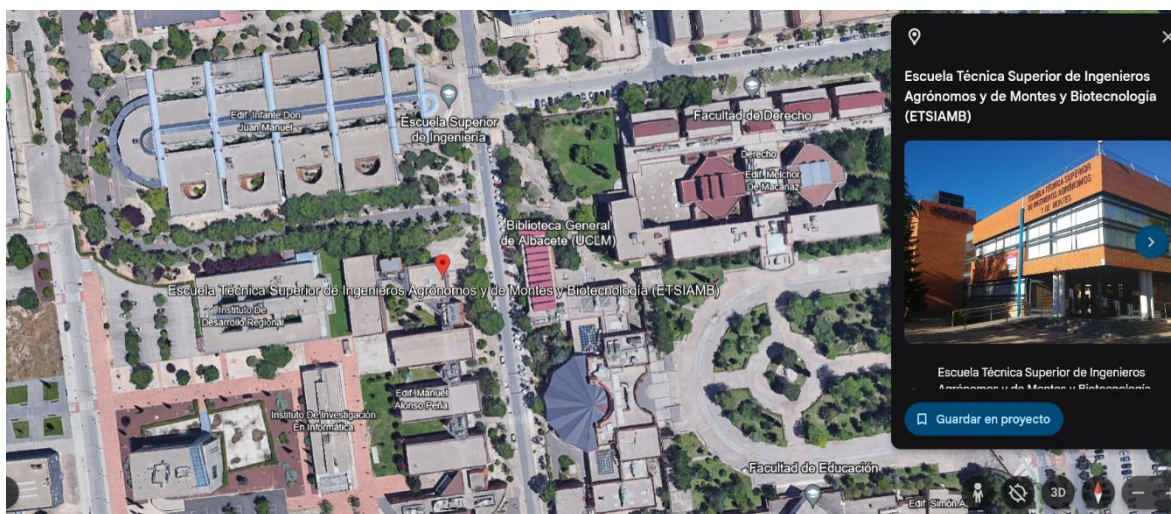


Figura 1 Universidad de Castilla-La Mancha (ETSIAM)

Fuente: Google Earth

4.2 Descripción del Lugar

La Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes y Biotecnología (ETSIAMB), pertenece a la UCLM y se encuentra en Albacete; además, cuenta con dos edificios para desarrollar sus actividades docentes e investigadoras. En el edificio del Campus Universitario, denominado Manuel Alonso Peña, principalmente se imparten las enseñanzas teóricas y prácticas de laboratorio mientras que, en el campo de prácticas, cuenta también con otro edificio denominado Francisco Jareño y Alarcón, se desarrollan las prácticas agropecuarias y forestales de las titulaciones de la ETSIAMB (UCLM- 2022).

La topografía en las parcelas de la UCLM se caracteriza por una altitud promedio sobre el nivel del mar de 682 metros y suelos mayormente poco profundos con textura franca-arcilla-arenosa y un pH ligeramente neutro, especialmente en la provincia de Albacete, donde la mayor parte del área, incluida la capital, pertenece a la unidad morfoestructural de Los Llanos, destacada por su terreno llano; además, en cuanto al clima, la región experimenta veranos cortos, cálidos y mayormente despejados, mientras que los inviernos son largos, muy fríos, ventosos y parcialmente nublados, con una aridez constante a lo largo del año.

Las temperaturas oscilan entre 0°C y 33°C, rara vez descendiendo por debajo de 5°C o ascendiendo por encima de 37°C, lo que indica un clima templado, aunque con extremos notables en invierno y verano; respecto al viento, la época más ventosa abarca 5.9 meses, desde el 4 de noviembre hasta el 1 de mayo, coincidiendo con el periodo de la PPS, con velocidades promedio superiores a los 14.6 kilómetros por hora; sin embargo, febrero se destaca como el mes más ventoso, con una velocidad media del viento de 16.5 kilómetros por hora.

4.3 Materiales y Equipo

Para el desarrollo de la práctica se emplearon diversas tecnologías y materias primas en las parcelas productivas, tales como botas de hule, tijeras, navaja, llaves de tubería, pegamento, guantes, sierras, sopletes, componentes del sistema de riego, palas, azadones, piochas, entre otros, asimismo, se utilizarán materiales y equipo de oficina, como ordenadores portátiles, material didáctico y programas especializados para la gestión de sistemas de riego proporcionados por el CREA y la UCLM. Este enfoque integral garantizará un análisis que abarcará tanto el trabajo de campo como las actividades administrativas relacionadas con la investigación.

4.4 Método

El trabajo profesional supervisado tuvo una duración de 600 horas, para el desarrollo del mismo se utilizó la metodología activa/participativa, que se caracteriza por promover la participación y el compromiso activo de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en lugar de adoptar un enfoque pasivo donde los estudiantes son receptores de información, este método fomenta la participación activa, el pensamiento crítico y la colaboración entre los estudiantes y el profesor. (Narváez 2021); dicho esto, para adoptar este método en busca de alcanzar los objetivos planteados se abordará en base a las siguientes etapas:

4.4.1 Etapas

Para la implementación de este método hay que considerar las siguientes etapas según Narváez (2021).

- a) **Reconocimiento de la zona:** Se realiza un proceso de reconocimiento de la Universidad de Castilla-La Mancha y su respectivo campo de prácticas, para reconocer y describir las áreas donde se trabaja durante el desarrollo del trabajo profesional supervisado, y así se sostener una buena relación con los distintos puntos de las actividades realizadas y por ende, verificar la eficiencia de esta etapa.
- b) **Socialización:** Se sostiene una convivencia positiva con el personal laboral y con el asesor asignado por la UCLM, la cual es fundamental para cumplir los objetivos del trabajo profesional, pues, dicha relación es la base para poder implementar los procesos agrícolas en las parcelas productivas.
- c) **Desarrollo de actividades:** Las actividades se llevan a cabo con el personal del CREA, pues, haciendo uso de los diferentes materiales y herramientas con las que la UCLM cuenta en su campo de prácticas y sus oficinas, se pueden alcanzar los objetivos que es describir y verificar las áreas productivas y el funcionamiento de los procesos agrícolas implementados.
- d) **Documentación de la información:** en este paso se insertan los datos que se obtienen en el transcurso de la práctica, para ofrecer datos e información importante y haciendo constar como es el desarrollo de las actividades, que se presentan en el informe final y en la defensa final del mismo; además, los procesos se deben documentar describiendo, analizando y percibiendo detalladamente los elementos, pasos y variables que forman parte de las actividades, para proporcionar una referencia clara y completa que permita comprender, seguir y mejorar el flujo del trabajo realizado

4.5. Desarrollo de la práctica

Consiste en registrar todas las actividades relacionadas con los sistemas de riego en las áreas agrícolas, este enfoque permite evaluar cuidadosamente la eficacia de estos sistemas, además la documentación detallada de las prácticas realizadas sirve como base para analizar y mejorar los métodos de riego utilizados en la agricultura, contribuyendo de esta manera al avance y la optimización de las prácticas agrícolas.

4.5.1 Áreas agrícolas del CREA

Para la descripción de las áreas agrícolas del centro de investigación se implementa la metodología activa-participativa que consiste en promover la participación y el compromiso activo de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en lugar de adoptar un enfoque pasivo donde los estudiantes son receptores de información, este método fomenta la participación activa, el pensamiento crítico y la colaboración entre los estudiantes y el profesor

4.5.2 Procesos agrícolas y riego

Para la verificación de los procesos agrícolas se implementa la metodología activa participativa que consiste en involucrar activamente a los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje; además, se valora el diálogo, la colaboración y la autonomía del estudiante, promoviendo un ambiente de aprendizaje interactivo y significativo que facilita una comprensión más profunda y duradera de los conceptos.

En esta etapa se identificó y verificó los procesos de la manera siguiente:

➤ **Preparación de suelos**

Consiste en una serie de actividades destinadas a optimizar las condiciones del terreno para el crecimiento de las plantas, incluye la eliminación de malezas, la nivelación del terreno, la incorporación de enmiendas orgánicas o minerales para mejorar la estructura y fertilidad del suelo, así como la adecuada labranza para romper los terrones y permitir una buena aireación y drenaje; así mismo, este proceso busca crear un ambiente favorable para el desarrollo de las raíces, facilitar la absorción de nutrientes y agua por parte de las plantas, y minimizar la competencia con malezas u otros agentes que puedan afectar el rendimiento del cultivo (JACTO, 2023). Para la preparación de suelo se realizan las siguientes prácticas de campo:

a) Limpieza o chapia

Consiste en un proceso que implica la eliminación de la vegetación no deseada, como malezas, arbustos, hierbas y cualquier otra planta que compita con los cultivos deseados por nutrientes, agua y luz solar. Según (JACTO, 2023) esta acción previene la competencia entre las diferentes especies vegetales por los nutrientes y el espacio disponibles.

b) Arado

Este paso según (JACTO, 2023) consiste en un proceso agrícola que implica el volteo y la remoción de capas superficiales de tierra con el uso de un arado; este implemento, que puede ser tirado por animales o por maquinaria agrícola, rompe el suelo y lo revuelve, facilitando la aireación y la mezcla de materia orgánica; además, ayuda a mejorar la estructura del suelo, facilita la aireación y permite que las raíces se extiendan con más facilidad; en sí, el objetivo principal del arado es preparar el terreno para la siembra, eliminando malezas, rompiendo terrones y creando un lecho de siembra óptimo

c) Muestreo de suelos

Consiste en adquirir datos acerca de la calidad fertilizante del suelo y usarlos para desarrollar un programa de fertilización adecuado para un tipo específico de cultivo; además, es posible obtener información sobre las características del suelo, tanto en términos químicos, como el pH, el porcentaje de materia orgánica, la presencia de macro y micronutrientes, el nivel de aluminio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico; así como en términos biológicos, como la actividad enzimática, la biomasa microbiana, y características físicas tales como la textura, la densidad aparente, la densidad real, la porosidad, la tasa de infiltración, la estructura y la capacidad de retención de humedad. (FHIA, 2021)

d) Rastreado y pulido

Consiste en eliminar todas las malezas, restos de cultivos anteriores y escombros del terreno, esto garantiza un inicio limpio para nuevos cultivos y reducirá la competencia con las malezas (JACTO, 2023).

➤ **Instalación del sistema**

Consiste en la implementación de un conjunto de componentes y dispositivos diseñados para suministrar agua de manera controlada y eficiente a las plantas en un área específica; para ejecutar la instalación se realizan las siguientes etapas:

a) Riego por aspersión.

Es una técnica de irrigación que utiliza pequeños dispositivos (aspersores) para distribuir el agua en forma de pequeñas gotas sobre el área a regar; este sistema es una excelente opción para mejorar la eficiencia hídrica y la productividad en agricultura, proporcionando un control preciso sobre el suministro de agua y contribuyendo a la conservación de recursos

naturales, por ende, se implementan procesos agrícolas correspondientes al sistema trabajado y se verifica su funcionamiento; además, se realizan las actividades de forma activa-participativa para alcanzar los objetivos planteados.

Para la instalación de este sistema, se toman medidas de las tuberías (polietileno) y se determina la cantidad necesaria de ramales como se puede observar en los anexos 1 y 2, los cuales tienen un diámetro de 16 mm; además, en el caso de la cebada, se necesitan 23 ramales para microaspersión, y, para el cultivo de adormidera, se necesitan 54 ramales para microaspersión (PIZARRO, 1990). Este proceso se aborda detalladamente en los resultados.

b) Riego localizado

Consiste en un método que facilita una aplicación efectiva de agua y nutrientes en las áreas agrícolas caracterizadas por su escasez de agua; además, el agua y los fertilizantes se distribuyen directamente en el suelo, llegando específicamente a la zona de las raíces de las plantas a través de una red de tuberías y dispositivos de emisión. (NOVAGRIC, s.f.)

Se realiza empleando un hidrante del cual se hará la toma de agua desde la balsa donde se almacena la misma; además, la parcela se divide en varias repeticiones según los tratamientos aplicados; se verifican las parcelas productivas cuando los cultivos ya hayan emergido para poder instalar el sistema; además, en este los ramales tienen una longitud de 12 m y la tubería terciaria está dividida en los 8 tratamientos en el que cada uno tiene tres repeticiones. Este proceso se abordará detalladamente en los resultados.

➤ Siembra

Consiste en el proceso de plantar las semillas o plántulas en el lugar donde crecerán y se desarrollarán hasta la cosecha final.; además, se aconseja emplear maquinaria especializada, para realizar una siembra precisa, controlando la profundidad deseada para las semillas;

aunque este proceso también demanda tiempo, se realiza de manera sencilla gracias al uso de estos avanzados equipos agrícolas, adaptados para sembrar diversos tipos de cultivos en diferentes terrenos. (LARROSA, 2018)

➤ **Labores culturales**

Son prácticas agrícolas que mejoran el crecimiento de los cultivos para garantizar su desarrollo óptimo y maximizar la producción; por ende, se llevan a cabo labores de control de malezas en los cultivos, fertilización, podas, cosecha; por ello, estas labores son fundamentales para el manejo adecuado de los cultivos y pueden variar según el tipo de cultivo, las condiciones climáticas y el sistema de producción utilizado

➤ **Manejo fitosanitario**

Consiste en una serie de estrategias y prácticas empleadas para prevenir, controlar y tratar las enfermedades que afectan a las plantas, con el objetivo de mantener la estabilidad y salud óptima de tu cultivo o del agroecosistema en general; además, se considera que las plantas más vigorosas, es decir, aquellas que crecen en suelos naturalmente fértiles o bien fertilizados, tienen mayor capacidad para resistir los ataques de las plagas.; por lo tanto, es crucial mantener tus plantas bien alimentadas; para lograrlo, es esencial renovar la solución nutritiva al menos una vez al mes y mantener el pH de manera estable. (Fertiberia, 2016)

➤ **Operación de los sistemas de riego**

Para operar los componentes del sistema de riego de manera efectiva, es necesario seguir un proceso que asegure su correcto funcionamiento y reduzca la posibilidad de daños; además, el manejo del riego implica proporcionar a las plantas la cantidad adecuada de agua necesaria para su crecimiento en el momento oportuno, este proceso se divide en dos etapas: la programación o calendario de riego y el control del mismo; por lo tanto, el control se lleva a

cabo mediante el equipo de riego, la medición de la humedad del suelo y/o el estado hídrico de la planta; además, la programación del riego localizado se basa en el cálculo de la demanda bruta de agua del cultivo (Db), considerando la evapotranspiración potencial (Eto), el estado de desarrollo del cultivo (Kc) y la eficiencia del método de riego (Efa) (M., 2005).

Se requiere disponer de un sistema de monitoreo del riego que abarque tanto la supervisión del funcionamiento del equipo de riego como el seguimiento de la distribución de la humedad en el suelo; por lo tanto, es aconsejable llevar un registro del estado de hidratación de las plantas; además, para garantizar que un equipo de riego funcione correctamente, siguiendo las indicaciones de su selección y manejo, es esencial mantenerlo en condiciones óptimas; por ende, para alcanzar este objetivo, es fundamental implementar un programa de mantenimiento que abarque todos los elementos del sistema de riego: bomba, filtros, válvulas, tuberías principales, laterales y emisores (M., 2005).

➤ **Evaluación de los sistemas de riego**

Según (Rodrigo A. Pachón Bejarano¹, 2014) en la evaluación de los sistemas de riego, se consideraron los siguientes parámetros: el caudal de las unidades de riego, el Coeficiente de Uniformidad (CU) y la Eficiencia de Uso (EU); el proceso metodológico comprende las siguientes etapas:

- a) Verificación del funcionamiento normal del sistema, revisión de los filtros, unidades de riego y tapones de lavado de las tuberías principales, múltiples y laterales.
- b) Identificar el sector de riego crítico, es decir, aquel con condiciones más desafiantes (como contrapendiente, mayor cantidad de microaspersores y mayor distancia a la válvula de paso), para permitir una circulación fluida del agua en el sector.

- c) Dentro del sector de riego seleccionado, se identificaron los primeros laterales, así como aquellos ubicados a 1/3 y 2/3 de la distancia desde el inicio, junto con el último lateral. Luego, en cada uno de ellos, se identificaron las primeras unidades de riego, aquellas ubicadas a 1/3 del inicio del lateral, la unidad ubicada a 2/3 del inicio del lateral y la última unidad de riego.
- d) Se midió el caudal de salida en cada unidad de riego y se elaboró un registro de estas mediciones
- e) Estimación de los Coeficientes de Uniformidad (CU).
- f) Clasificación de los Coeficientes de Uniformidad
- g) Estimación de la Eficiencia del uso del agua (EU), cuya formula se expresa:

$$EU = \frac{(EAP) * CU}{100}$$

Donde: EU (Eficiencia de uso del agua), EAP (Eficiencia de aplicación), CU (Coeficiente de uniformidad)

➤ **Sistema de monitoreo, control y automatización**

- a) Sensores de humedad

Se colocan sensores de humedad en el suelo para monitorear su nivel de humedad y detectar posibles problemas de percolación, los sensores utilizados son los Senteck de iMetos, que emplean tecnología de capacitancia o FDR (Frequency Domain Reflectometry), estos miden

la constante dieléctrica del suelo, la cual está relacionada con su contenido de agua. El sensor cuenta con una serie de sondas separadas por intervalos de 10 cm hasta una profundidad de 60 cm, que están interconectadas a través de un circuito eléctrico, el cual mide que al aumentar la constante dieléctrica, aumenta también el contenido de agua en el suelo, además en los sensores la información recopilada es procesada por una tarjeta integrada en la parte superior de la sonda del sensor, y luego se envía al datalogger, desde el cual, los datos se transmiten a una plataforma en línea donde se pueden visualizar y descargar; además, el Datalogger también registra datos como la salinidad y la temperatura del suelo.

b) Herramienta RETOAGUA

Se utiliza la herramienta RETOAGUA que nace del convenio en colaboración del Instituto Tecnológico Agronómico Provincial (ITAP), el Centro Regional de Estudios de Agua de la UCLM y la consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo., la cual proporciona un apoyo en la toma de decisiones en riego y fertilización; por lo tanto, gracias a esta herramienta podemos conocer las necesidades hídricas de nuestro cultivo, nos proporciona un calendario con el desarrollo fenológico de nuestro cultivo y un asesoramiento de cuando se debe regar para cubrir las necesidades del cultivo, además nos permite colocar los datos de nuestro suelo, tiempo de riego y otros parámetros que permiten a la herramienta proporcionarnos una gran asistencia en cuanto al manejo del riego en nuestras plantaciones.

➤ Cosecha

Consiste en la separación de la planta madre de la porción vegetal de interés comercial, para ello existen dos sistemas de cosecha: manual y mecanizada, aunque en algunos cultivos se utilizan combinaciones de ambos; por ende, la elección de un sistema u otro depende fundamentalmente del cultivo considerado, del destino y muy especialmente del tamaño del predio a ser cosechado. La cosecha mecanizada tiene como ventaja la rapidez y un menor costo por tonelada recolectada, pero al ser destructiva, sólo puede ser utilizada en cultivos de maduración concentrada.

La cosecha involucra una serie de operaciones adicionales a la simple separación de la planta madre del órgano de interés comercial tales como una preselección o una preparación tal como recorte de follaje, eliminación de partes no comestibles, etc. que se realizan en el mismo predio y a los efectos de facilitar la posterior preparación para la venta.

4.5.3 Verificación de los procesos agrícolas

Para verificar los procesos agrícolas se aplicó la metodología activa/participativa que consiste en el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje cooperativo y el aprendizaje experiencial en donde, se busca involucrar activamente a los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje.

El CREA realiza las actividades de campo, trabajando de manera activa para la instalación de los equipos de riego y de distintos tipos de sensores necesarios para los ensayos de cultivos herbáceos y leñosos. por ende, se llevó a cabo, la evaluación del sistema de riego por goteo realizada durante las prácticas, esta misma se completó de la mejor forma, pues gracias a los datos recolectados en el campo como lo son valores de presión y de caudal, pudimos ingresar dichos valores en el archivo de Excel proporcionado por el CREA, el cual cuenta con todos los campos requeridos para la evaluación del sistema de riego y que presenta celdas con las fórmulas apropiadas para determinar la eficiencia del sistema de riego utilizado.

La documentación sistemática de información se ejecutó tomando los datos obtenidos en el transcurso de la práctica, para ofrecer información importante y haciendo constar el desarrollo de las actividades, que se presentarán en el informe y la defensa final del mismo; además, los procesos se documentaron describiendo, analizando y percibiendo detalladamente los elementos, pasos y variables que forman parte de las actividades, y, proporcionar una referencia clara y completa que permita comprender, seguir y mejorar el flujo del trabajo realizado.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se obtuvieron utilizando el método activo-participativo, mediante los trabajos en campo y gabinete, se logró caracterizar los procesos agrícolas del centro de investigación de la UCLM.

5.1 Descripción de las áreas agrícolas del CREA

El campo de prácticas de la UCLM cuenta con: diversas áreas de acuerdo al reconocimiento realizado durante el desarrollo de la PPS. Las áreas son las siguientes:

5.1.1 Administrativas

El edificio de investigación cuenta con diferentes despachos u oficinas donde se ubican los investigadores del CREA en donde se ejecutan actividades de oficina, como se observa en el anexo 11.

5.1.2 Académicas

El centro de investigación posee un auditorio donde se realizan capacitaciones a grupos de personas sobre las técnicas implementadas por el equipo del CREA en el manejo de los diferentes sistemas de riego, también cuenta con una sala de reuniones en donde se toman las decisiones sobre el desarrollo de actividades del equipo, como se observa en el anexo 11.

5.1.3 Productivas

Al realizar el recorrido de las áreas se identificaron las parcelas de producción de cebada, ajo, maíz, pistacho, almendro y adormidera como se observa en el croquis de las figuras 2,3,4 y 5; dichas parcelas cuentan con suelos poco profundos (45cm) con textura franca-arcilla-arenosa, el pH es ligeramente neutro. El clima en general es templado, pero con temperaturas extremas en invierno y verano. Está ubicada en parte de la unidad morfo estructural de Los Llanos.

Dicha topografía como su nombre indica, se caracteriza por ser llana anexos 12 y 13. Posee también un almacén en donde se guarda toda la indumentaria necesaria para la instalación y mantenimiento de los sistemas como se observa en el anexo 11.

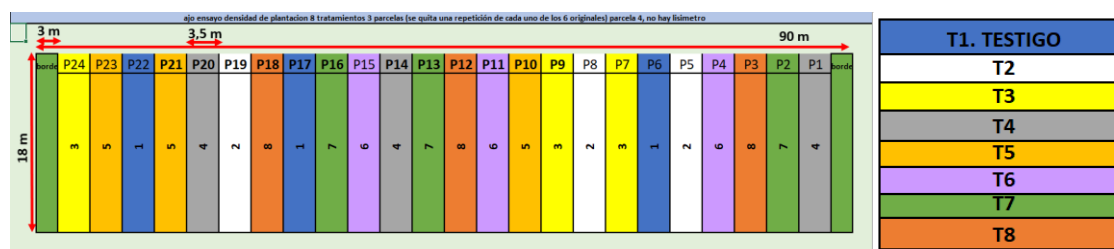


Figura 2. Croquis del cultivo de ajo

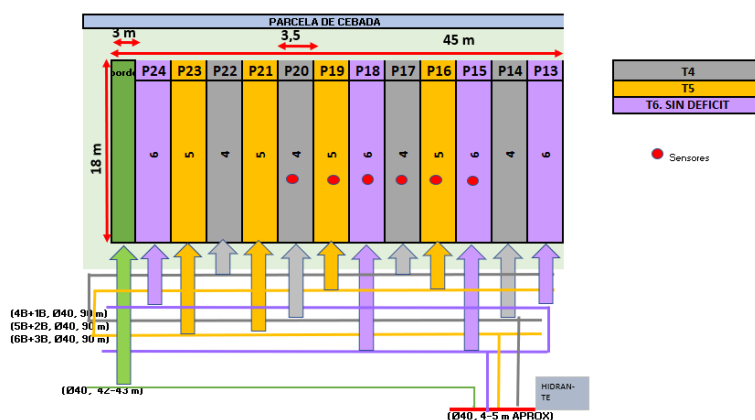


Figura 3. Croquis del cultivo de cebada

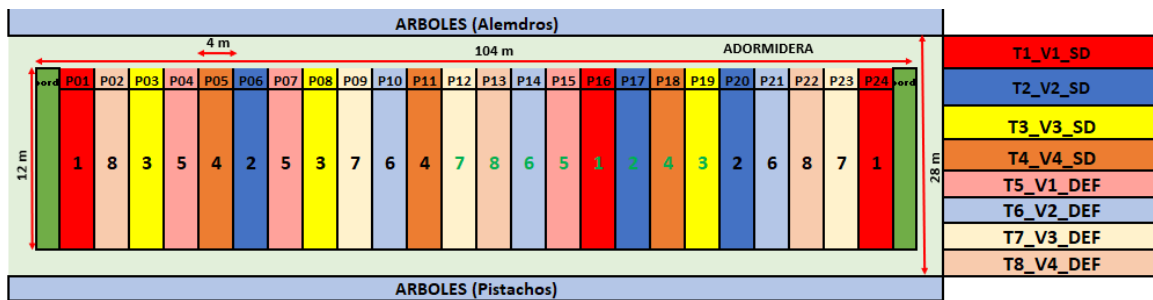


Figura 4. Croquis del cultivo de adormidera

5.2 Desarrollo y verificación de procesos agrícolas.

Los procesos agrícolas implementados en el centro de investigación son: preparación del suelo, fertilización, siembra, instalación del sistema de riego y manejo del cultivo. Para el desarrollo de dichos procesos se adoptó una metodología activa participativa para supervisar los procedimientos agrícolas, la cual implica la activa participación de los estudiantes en su proceso educativo; además, se fomenta el diálogo, la colaboración y la autonomía del estudiante, creando así un entorno de aprendizaje interactivo y significativo que favorece una comprensión más profunda y perdurable de los conceptos.

➤ Preparación del suelo

La preparación de suelo consiste en una serie de actividades destinadas a optimizar las condiciones del terreno para el crecimiento de las plantas, incluye la eliminación de malezas, la nivelación del terreno, la incorporación de enmiendas orgánicas o minerales para mejorar la estructura y fertilidad del suelo, así como la adecuada labranza para romper los terrones y permitir una buena aireación y drenaje. Para la preparación de suelo se realizan las siguientes prácticas de campo:

a) Limpieza o chapia

Este proceso es fundamental para preparar el terreno antes de sembrar, ya que ayuda a reducir la competencia por los recursos y permite un mejor crecimiento de las plantas cultivadas; según (JACTO, 2023) es esencial iniciar con una superficie libre de obstáculos, también es esencial eliminar las hierbas no deseadas, los residuos de cultivos previos y cualquier otro material que pueda interferir con el desarrollo de tus plantas; esto previene la competencia entre las diferentes especies vegetales por los nutrientes y el espacio disponibles.

b) Arado

Esta labor implicó el arado del suelo con un subsolador, una acción justificada por la limitada profundidad del suelo en dichas áreas debido a que, la profundidad insuficiente podría obstaculizar el desarrollo óptimo del sistema radicular de las plantas, lo que subraya la importancia de esta intervención preliminar.

Dicha labor resultó efectiva según afirma (Armando, 2006) lo anterior contribuye a disminuir en gran medida la erosión, mejora la aireación del suelo, el contenido de humedad, el crecimiento y desarrollo de raíces, la movilización y absorción de nutrimentos y, por lo tanto, un buen desarrollo y crecimiento de las plantas, obteniéndose así rendimientos mayores en las cosechas con menores costos de producción y menor contaminación del medio ambiente.

c) Muestro de suelo

El muestreo de suelo constituye el primer paso del análisis; por ello, hay que empezar por hacer una buena recolección de la muestra porque esto determinará en gran parte la validez de los resultados; por lo tanto, previo a realizar el muestreo de suelos, es importante considerar: área de muestreo o tamaño del lote, cantidad de submuestras a tomar por lote, topografía, profundidad a la que se tomará la muestra, antecedentes de uso del suelo, cultivo establecido o cultivo a establecer; además, no se recomienda la toma de muestras en lotes

demasiados húmedos, ya que no será fácil mezclar las submuestras para obtener una buena muestra compuesta que será enviada al laboratorio.

(FHIA, 2021) afirma que este proceso fue efectuado correctamente pues, la interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio es importante para elaborar los programas de fertilización y enmiendas a los suelos para suplir los nutrientes deficitarios o no disponibles y evitar aquellos que, en menor requerimiento o en alta concentración, pudieran ser tóxicos y afectar la absorción por parte de la planta, afectar el rendimiento y la calidad de los cultivos.

Es crucial realizar una adecuada preparación del suelo para garantizar el suministro adecuado de nutrientes a los cultivos durante su desarrollo vegetativo. Esto implica muestrear el suelo, homogeneizar las muestras y analizarlas en laboratorio. Además, se recomienda aplicar fertilizantes y riego para optimizar las condiciones del suelo y asegurar que las plantas crezcan en un entorno propicio. Según (LARROSA, 2018), esta práctica garantiza un crecimiento adecuado de las plantas al proporcionarles el sustrato y las condiciones óptimas para su cultivo.

d) Rastreado y pulido

Se trabajó con un rulo para compactar el suelo, mejorando así su estabilidad, también se eliminan los terrones de tierra para facilitar la siembra; además, este proceso contribuye nivelando el terreno creando una superficie uniforme que favorece a la distribución del agua y nutrientes para el cultivo, garantizando una mejora en la germinación del cultivo.

Esta actividad resulta favorable pues, esto es fundamental para un riego uniforme y un crecimiento homogéneo de las plantas según lo afirma (JACTO, 2023); por ende, dicha actividad es recomendable para la preparación de suelos. Para que una labranza sea correcta debe realizarse en la época en que sean más favorables las condiciones de humedad, temperatura y radiación solar, además, debe considerarse el crecimiento radical del pasto, la topografía, las malezas existentes (Vásquez, 1999).

➤ **Instalación del sistema**

Es un proceso que implica la implementación de infraestructuras y dispositivos destinados a suministrar agua de manera controlada y eficiente a los cultivos; por lo tanto, este proceso varía según el tipo de sistema de riego que se esté instalando, así como las características específicas del terreno y los requerimientos hídricos de los cultivos.

La instalación del sistema de riego por microaspersión se emplea durante las primeras etapas del cultivo para así facilitar la implantación y garantizar la emergencia del cultivo; además, posteriormente se llevó a cabo la instalación del sistema de riego por goteo. La instalación debe ser ejecutada correctamente, en base a eso, conlleva a realizar la conexión que se encuentra desde la balsa de agua a la tubería secundaria instalada desde producciones pasadas y a la cual se enlazó la tubería terciaria que se subdividió en conformidad a los tratamientos presentes en las parcelas productivas, esto lo veremos paso a paso de esta manera:

El sistema se compone de una toma de hidrante, conectada con la balsa a través de una tubería primaria con diámetro 63mm, de este hidrante parten las tuberías secundarias y terciarias de diámetro 40 mm, estas tuberías terciarias llegan a posicionarse al cultivo y de ellas parten los ramales de riego ya sea goteo o aspersión de 16 mm de diámetro; además, la tubería debe ser adecuada para que los microaspersores trabajen en condiciones adecuadas de presión como se observa en el anexo 5, teniendo en cuenta que la bomba con la que se alimenta el sistema es de 9000 L/h de caudal.

a) Riego por aspersión

Se ensamblaron microaspersores, conectándolos a picas, dichos aspersores utilizados descargan un caudal de 30 litros por hora, para realizar la instalación se prepararon empalmes, conectores, tapones para colocar al final de los ramales, llaves para ajustar las conexiones, navajas, contadores, sopletes para facilitar las conexiones de los ramales, así como tuberías

terciarias y secundarias, las cuales tienen un diámetro de 40 mm, entre otros materiales, dicho proceso de instalación se podrá observar de forma minuciosa en los resultados.

Para poder regar uno a la vez, en el que a cada sector se le colocó un contador que tiene un sistema de cierre y de abertura automático y de esta manera poder medir el caudal que pasa al cultivo, además, todo el sistema se encuentra conectado a un hidrante que está ubicado a 1 m de las parcelas y este va enchufado a la caseta donde se encuentra la bomba de agua que está localizado a unos 100 m de las parcelas experimentales, toda el agua que se utiliza se obtiene de una balsa que está asentada a unos 6 m de la bomba.

Según (PIZARRO, 1990), la instalación del sistema fue adecuada, ya que posee los componentes necesarios y las características apropiadas para su funcionamiento óptimo. Se observó un rango de uniformidad de riego satisfactorio; por lo tanto, se concluye que la instalación asegura un suministro hídrico adecuado para cubrir las necesidades del cultivo a lo largo de su ciclo de desarrollo, respaldando así su eficacia.

b) Riego localizado

Cada tratamiento se compone de: caudalímetro para medir el volumen aplicado por cada tratamiento y una válvula hidráulica accionada por microtubo para dar acceso al agua según las órdenes del programador instalado en la caseta; luego, encontramos la tubería terciaria desde la cual parten los ramales de riego localizado que posee un diámetro de 16 mm con gotero integrado autocompensante de 4l/h espaciados 0.5 m, así mismo, los ramales de goteo se conectan con la tubería terciaria a través de entronques especiales para ello.

En la parcela de ajo la tubería terciaria se dividió en los 8 tratamientos, en el que cada uno tiene tres repeticiones, a cada tratamiento se le debe instalar un contador con una válvula automática de cierre y de abertura, esto se hizo ya que cada tratamiento tendrá distintas densidades de siembra, en la que cada gotero estará descargando una dosis de riego de 2 Lts/h; sin embargo, en la parcela de cebada la tubería terciaria utilizada (grosor 40 mm) donde

van conectados los ramales se dividió en tres tratamientos, con cuatro repeticiones cada uno, en donde también se debe instalar un contador ya que cada tratamiento lleva distintas dosis de riego.

Se conectaron ramales a una tubería terciaria de 40 mm, dividida en cuatro sectores. Esto facilitó el riego por sector, con contadores automáticos para medir el caudal. Se optó por goteros autocompensantes para garantizar un riego uniforme, independientemente de las variaciones de presión. Por ejemplo, en cultivos como almendros y pistachos, los microaspersores descargan 2 l/h cuando la presión alcanza 1 bar.

En el cultivo de la adormidera al lapso de dos meses cuando este ya había germinado y emergido se realizó la desinstalación del sistema por microaspersión, para poder instalar el riego por goteo, este se diseñó con las mismas dimensiones que el sistema que se instaló en el ajo y la cebada, con la diferencia de que este los ramales tienen una longitud de 12 m y la tubería terciaria está dividida en los 8 tratamientos en el que cada uno tiene tres repeticiones, La mitad de los tratamientos están con déficit y la otra mitad sin déficit.

Se observó que los resultados se dieron de forma eficiente pues el funcionamiento del sistema se vio reflejado en el desarrollo de la plantación de los cultivos (cebada, ajo, maíz, adormidera, almendro y pistacho), además X (Mendoza & Muñoz, 2013) afirman que estos sistemas de microaspersión están indicados tanto para cultivos leñosos como para cultivos herbáceos de distinto marco de plantación, además, según los expresado por (Mendoza & Muñoz, 2013), la instalación cuenta con todos los componentes adecuados para su funcionamiento y el proceso de instalación se realizó correctamente.

La instalación de dicho sistema resultó correcta en basé a lo que afirma (PIZARRO, 1990) dicha infraestructura cuenta con las características adecuadas para el funcionamiento óptimo del sistema por microaspersión y, así mismo, cuenta con los componentes necesarios para realizar el montaje de dicho sistema; en base a lo antes mencionado se determina que la instalación resulto correcta.

En el caso del sistema subterráneo primero se extienden los conductos de agua en todos los sectores en los que estén divididos, una vez extendidos los conductos, se enciende el sistema para verificar el correcto funcionamiento de los goteros; además, cada fila de árboles en ambos cultivos está equipada con dos conductos de riego; al verificar que el sistema funciona correctamente como se observa en el anexo 10, se procede a enterrar los conductos de riego de ambos cultivos utilizando un tractor, dichos conductos se enterraron a una distancia de 1 m desde la base de cada árbol como se observa en el anexo 10.

Una vez enterrada la tubería, se comienza a excavar manualmente desde la base donde se conecta cada conducto, hasta una distancia de 100 cm, dando forma de "v" alrededor de cada árbol, luego, al inicio de cada conducto se coloca una manguera más gruesa como cubierta, para evitar cortes o daños durante las actividades agrícolas, además, en cada sector de ambos cultivos se colocan dos válvulas de limpieza, que se activan cuando se enciende el sistema y la presión comienza a aumentar, lo que permite que realicen una limpieza en el sector correspondiente, sin embargo, una vez que el sistema alcanza la presión máxima, las válvulas ya no pueden llevar a cabo la limpieza.

Los resultados de dicho sistema fueron positivos basado en lo que afirma (Javier Salomó, 2019) quien asegura que el riego por goteo subterráneo ofrece la ventaja de aplicar agua de manera localizada alrededor del sistema radicular de los cultivos, penetrando bajo la superficie del suelo; así mismo, esta técnica garantiza una uniformidad del 90-95%, lo que contribuye significativamente a reducir las pérdidas de agua ocasionadas por evaporación, escorrentía o percolación.

Este tipo de sistemas son muy recomendables pues la presión a la que funcionan sus emisores es inferior a la presión con que trabajan los aspersores en riego por cobertura, por ende, el coste energético que este sistema requiere, es menor que el de otro tipo de sistemas de riego presurizado; además, se obtuvieron respuestas positivas gracias a las buenas prácticas en el manejo del cultivo con las que trabajaron, las que según (Brechelt, 2004) especifica los beneficios que otorgan estas prácticas a el mejoramiento de los suelos y, por ende, potenciar

el desarrollo del cultivo; en base a lo anterior se determina que el resultado de la instalación del riego por goteo superficial resultó correcta y que por ende, garantiza un riego positivo para las parcelas.

➤ **Siembra**

Para una siembra precisa, se aconseja el empleo de maquinaria especializada que permite controlar la profundidad adecuada de la siembra, estos sofisticados equipos facilitan el proceso, ahorrando tiempo y asegurando una siembra efectiva en diversos tipos de terrenos y semillas; en ese sentido, durante la siembra, se marcaron parcelas siguiendo las especificaciones de tratamientos y repeticiones del CREA, garantizando coherencia y precisión en la disposición de las parcelas experimentales. Se utilizó siembra directa con maquinaria para colocar semillas en surcos, pero las líneas recorridas por el tractor se sembraron manualmente para asegurar una cobertura completa; posteriormente, se aplicó un tratamiento preventivo para reducir la aparición futura de malezas.

Durante esta fase, se logró una eficiencia notable según (Gutman, 2022), la siembra directa implica principalmente la implantación de cultivos sin el previo arado del suelo; además en consecuencia, el proceso de siembra adoptado difiere del método convencional; sin embargo, gracias a los procedimientos agrícolas implementados para mejorar las condiciones productivas del suelo en las zonas agrícolas de la UCLM, se obtuvieron resultados positivos durante la emergencia de las plantas.

➤ **Labores culturales**

Las labores culturales en los cultivos son actividades esenciales llevadas a cabo durante el ciclo de crecimiento de las plantas con el fin de asegurar su desarrollo óptimo y maximizar la producción. Estas labores implican el control de malezas, el suministro adecuado de agua mediante riego, la aplicación de nutrientes esenciales mediante fertilización, la prevención y, la realización de podas para promover un crecimiento saludable, la instalación de estructuras

de soporte para mantener erguidas las plantas, y finalmente, la recolección de los cultivos en su punto óptimo de madurez para su comercialización o procesamiento. Estas actividades son cruciales para el manejo efectivo de los cultivos y pueden variar según el tipo de cultivo, las condiciones climáticas y el sistema de producción utilizado.

a) Control de malezas

Se llevan a cabo labores de control de malezas en los cultivos como se observa en el anexo 6, en el cultivo de ajo, se aplica herbicida específico para gramíneas como se ve en el anexo 7, para ello, se monta una bomba de motor en un carro y se aplica el químico a lo largo de las parcelas mediante una manguera, además las malezas de hoja ancha se controlaron manualmente, además en el cultivo de adormidera, el herbicida se aplicó utilizando una asperjadora.

Esta práctica resulta positiva pues potencia el desarrollo del cultivo, eliminando todo aquellos que compite con este para adquirir los elementos necesarios para su desarrollo vegetativo; además, (Gómez P., 1995) afirma que otros factores que determinan la invasión de malezas en el cultivo son el tipo de suelo, las características del clima en la zona y las prácticas de cultivo utilizadas; por ende, los herbicidas se formulan como soluciones, emulsiones, polvos mojables, granulados y polvos, que se pueden aplicar en forma localizada en una parte de la planta o en aspersión sobre la superficie del suelo o el cultivo.

b) Podas

Se realizaron podas en los cultivos de almendro y pistacho con el fin de promover su crecimiento y desarrollo óptimos al dar forma a la estructura del árbol, facilitando la entrada de luz solar y aire, lo que resulta en una producción de frutos de mejor calidad; además, controla el tamaño y densidad de la copa, facilitando la gestión y recolección; así mismo, la poda también rejuvenece el árbol, eliminando ramas viejas y estimulando el crecimiento de

nuevas, lo que prolonga su vida útil y fomenta la producción de frutos; por último, mejora la calidad y cantidad de la cosecha al optimizar la distribución de la energía y la formación de yemas florales. En resumen, esta práctica es vital para el manejo agronómico de estos cultivos, garantizando su salud, productividad y longevidad.

Esta práctica es recomendable pues potencia el desarrollo vegetativo de los cultivos y según afirma (Aránega, 2020) además de ser un elemento regulador entre vigor y capacidad de producción también es un elemento de garantía en sanidad vegetal, una buena poda corta o media que elimine maderas viejas y renueve los árboles es, junto a una buena nutrición, la garantía y la solución de que tengamos arboles sanos y vigorosos menos afectados por plagas y enfermedades.

c) Fertilización

El proceso de fertilización consiste en mantener o aumentar los niveles de materia orgánica y nutrientes en el suelo para corregir posibles deficiencias o excesos causados por factores como el tipo de suelo, el clima y la gestión agrícola. Este proceso se realiza para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos y maximizar la productividad del terreno. Además de mejorar la calidad de las cosechas, esta práctica fortalece la resistencia de las plantas ante condiciones adversas como plagas, enfermedades y sequías (Osorio, 2012).

Posterior a lo antes mencionado se inicia con el proceso de fertilización en base a la cantidad de nutrientes que requieran los suelos de los cultivos, esto para adecuar el suelo para que el cultivo se desarrolle de forma óptima durante su crecimiento, posteriormente se procedió a realizar la fertilización de la siguiente forma:

Para el cultivo de ajo y durante la preparación del terreno se utiliza 12-12-17 a 496 kg/ha, dicha fertilización se efectúa de forma manual, distribuyendo el fertilizante con la mayor uniformidad posible; en el caso de la fertilización en la cebada para la fertilización durante

la preparación del suelo se administra el fertilizante: NAC 27-0-0 (nitrato amónico cálcico) a 406 kg/ha; posterior a la fertilización, en la preparación se aplica fertirriego en el resto del ciclo del cultivo de la siguiente forma: en el caso del ajo se aplica 19-6-6 a 308 kg/ha (fraccionado durante todo el ciclo) +7-12-40 a 210 kg/ha (fraccionado desde el inicio de la bulbificación), así mismo, en la cebada se le aplica, NAC 27-0-0 a 407 kg/ha (inicio del ahijamiento).

La fertilización resultó efectiva pues se realizó tomando en cuenta las curvas de crecimiento y absorción de nutrientes en función de la edad de cultivo; además se tomaron en cuenta factores de importancia según (Lipinski, 2015) quien afirma que, antes de implementar un programa de fertilización para el cultivo del ajo, es crucial optimizar varios factores de manejo, entre estos, la fecha de plantación, la cual emerge como un aspecto fundamental que influye en el éxito del cultivo; además, el nivel de humedad del suelo juega un papel significativo en el rendimiento de la cosecha, destacándose como otro elemento clave a considerar durante la planificación y ejecución del programa de fertilización; por ende, a lo antes mencionado se determinó que los resultados fueron positivos durante la fertilización.

➤ **Manejo fitosanitario**

Consiste en estrategias integrales que incluyen métodos preventivos, como la selección de variedades resistentes, rotación de cultivos y uso de prácticas culturales adecuadas, así como métodos de control biológico, químico y físico cuando sea necesario; por lo tanto, este proceso busca mantener la salud de los cultivos y minimizar los daños causados por agentes bióticos, asegurando así la producción agrícola de manera sostenible y segura; por ende, se realizó control para la prevención de nematodos en los cultivos

Dicha labor es efectiva y resulta positiva pues, según (Aránega, 2020) es importante prevenir con tratamientos fúngicos frente a hongos; así mismo, frente a nuevas enfermedades, hay que tomar otras medidas y aplicar un protocolo de actuación para cada caso.

➤ Operación de los sistemas de riego

Con la infraestructura ya instalada se procedió a realizar una prueba del funcionamiento del sistema lo que mostró las fallas presentes en dicho sistema, al identificar las fallas se procedió a recolectar las herramientas y materiales necesarias para realizar los ajustes en el sistema, y así, garantizar la conducción eficiente del agua.

Se operan los sistemas de riego a control remoto con el mando desde un ordenador portátil o un teléfono móvil, a través de la aplicación AgronicWeb, desde donde se envían las ordenes al programador de riego instalado en la casete, el cual, a través de la activación de los solenoides, transforma una señal eléctrica en una orden hidráulica que se trasmite por microtubo de 8mm a la válvula hidráulica dando acceso al agua y así regar en el sector requerido según el tratamiento, en el mantenimiento del sistema se utilizó ácido nítrico al 72% para limpiar tanto los ramales como la tubería general, se limpió el filtro de anillas minuciosamente, y, al final de la línea del ramal se le realiza una apertura para realizar una limpieza en el mismo.

Se aplicó riegos por las mañanas y esto se hacía en función de las lecturas del sensor de humedad, si el suelo se encontraba muy cargado se bajaba los tiempos de riego, todos estos manejos se hacen con la herramienta RETOAGUA; en caso de presentarse daños, retiramos las piezas y se reparaban o las cambiamos por una nueva, además se realizaba una revisión del sistema varias veces por semana y gracias a eso garantizábamos un buen funcionamiento.

Cuando se terminó de instalar toda la estructura se procedió a realizar pruebas de riego para ver cómo funcionaba el sistema, donde se estuvo midiendo la presión con un manómetro en distintos ramales de todas las parcelas, para verificar que no hubiera pérdida de presión; posteriormente se realizaron pruebas y, en dichas pruebas efectuadas, se pudo observar que había unas pequeñas pérdidas de presión y al tener en cuenta esto se dio lugar a revisar todos los ramales y se comprobó que había fuga en algunos pegues de los ramales con la tubería terciaria y en algunos goteros por lo que se procedió a cambiar los ramales que estaban

deficientes, ya una vez que se corrigieron todas las fugas de todo el sistema y la presión fue estable, se dio por culminada la instalación.

Para la calibración y manejo del modelo RETOAGUA (Herramienta de ayuda en la programación del riego en cultivos herbáceos y leñosos), los ensayos consisten en tomar los valores de caudal y presión; por ende, en la evaluación se colocan pluviómetros a un marco de 2 metros cuadrados durante un tiempo x, luego se toman las muestras recolectadas en los pluviómetros y se vierten en una probeta por cada muestra para tomar la medida del caudal.

Para tomar valores de presión, utilizamos un manómetro y, con él se toman valores de presión en tres sectores, una del inicio del ramal, otra de la parte media del ramal y una más en la parte final del ramal, por ende, se realizó una comparación de valores; en realidad, al hecho, en una evaluación tenemos que medir presión en 4 ramales (el situado al inicio, 1/3, 2/3 y el del final de la terciaria) a su vez dentro de cada ramal hay que tomar medidas al inicio y al final del ramal.

Es recomendable realizar las buenas prácticas de manejo de los cultivos; por ende, se llevaron a cabo labores de control de malezas en los cultivos como se observa en el anexo 6, en el cultivo de ajo, se aplicó herbicida específico para gramíneas como se ve en el anexo 7, para ello, se montó una bomba de motor en un carro y se aplicó el químico a lo largo de las parcelas mediante una manguera, además las malezas de hoja ancha se controlaron manualmente, además en el cultivo de adormidera, el herbicida se aplicó utilizando una asperjadora.

En base a lo que afirma (William, 2017) el manejo y mantenimiento de los sistemas de riego empleados se ejecutó correctamente pues este afirma que un régimen frecuente en el mantenimiento del equipo de riego permite optimizar y rehabilitar a su máximo potencial un sistema de riego y reajustar los parámetros de riego y fertirrigación; además, asegura que el uso tecnificado de agua a nivel agropecuario es el pilar fundamental del riego parcelario que utilizado adecuadamente nos traerá beneficios económicos al producir eficientemente nuestros cultivos.

➤ **Evaluación de los sistemas de riego**

La evaluación en este sistema se realiza colocando pluviómetros a un marco de 2 metros cuadrados durante un tiempo x , luego se tomaron las muestras recolectadas en los pluviómetros y vertimos el agua en una probeta diferente por muestra, para tomar la medida del caudal; para tomar los valores de presión, utilizamos un manómetro con el que se tomaron valores de presión en tres sectores, una del inicio del ramal, otra de la parte media del ramal y una más en la parte final del ramal, por ende, se realizó una comparación de valores. En realidad, al hecho, en una evaluación tenemos que medir presión en 4 ramales (el situado al inicio, 1/3, 2/3 y el del final de la terciaria) a su vez dentro de cada ramal hay que tomar medidas al inicio y al final de cada uno.

Dicha práctica es positiva según (Rodrigo A. Pachón Bejarano¹, 2014) quienes afirman que en la evaluación de los sistemas de riego, se consideraron los siguientes parámetros: el caudal de las unidades de riego, el Coeficiente de Uniformidad (CU) y la Eficiencia de Uso (EU)

➤ **Sistema de monitoreo control y automatización**

a) Instalación de sensores de humedad

El primer paso en el proceso de instalación de los sensores, consiste en perforar el suelo para instalar el sensor de humedad, en este caso, se utilizó una barrena mecánica para excavar el agujero hasta alcanzar una profundidad de aproximadamente 60 cm; posteriormente, se preparó un barro con la consistencia adecuada para que no fuera demasiado líquido, esto permitiría que, al insertar el sensor en el agujero, el barro proporcionara la firmeza necesaria para que se acople adecuadamente; una vez colocado el sensor y, aplicado el barro como se aprecia en el anexo 9; posteriormente, se realizó un movimiento circular con el sensor para expulsar cualquier burbuja de aire, asegurando así que no afectara a la lectura durante la toma de datos.

Posterior a lo antes mencionado, se instaló el datalogger como se aprecia en el anexo 8, al cual se conectan las sondas ubicadas a una distancia de dos metros entre sí; además el dispositivo tiene la función de recibir, almacenar y transmitir la información recopilada.

Con el sistema ya instalado y con los respectivos ajustes efectuado se procedió a ponerlo en marcha para realizar las aplicaciones de riego correspondientes a las necesidades del cultivo; por lo tanto, dicha instalación se realizó correctamente según lo manifiesta (buitech, 2020) pues afirma que la instalación de este tipo de sondas se realiza de tal manera que altera mínimamente el perfil del suelo y por consiguiente las raíces; por ende, el resultado final es una sonda en contacto perfecto con el suelo, lista para realizar mediciones.

El empleo de estos sensores resulta de mucho beneficio pues, un mayor conocimiento de esta dinámica permite un mejor aprovechamiento de los escasos recursos hídricos, mediante el seguimiento continuo de la evolución del agua en el suelo a distintas profundidades; por ende, implica poder tomar decisiones con más de un criterio.

➤ **Herramienta RETOAGUA**

Se ingresa a la herramienta RETOAGUA donde aparecen las diferentes estaciones climáticas de la red SIAR, las cuales se utilizan para tomar los datos climáticos para el cálculo del balance de agua en el suelo y de riego; así mismo las parcelas donde se manifiestan los cultivos; además, se colocan datos del suelo donde se encuentra la parcela, estos campos a llenar comprenden lo que es la textura, la profundidad útil y el porcentaje de porosidad del suelo; por lo tanto, es importante porque nos dará la estrategia de riego a seguir, aquí aparecen unas dotaciones de riego aproximadas, estas dotaciones están calculadas a las condiciones medias a un año medio normal en este caso y para un marco determinado, donde se pueden seleccionar distintas estrategias de riego deficitario.

La herramienta RETOAGUA generará los estados fenológicos del cultivo, se puede modificar la fecha de inicio del ciclo, con lo cual la herramienta nos calcula 4 etapas de

desarrollo fenológico; posteriormente, una vez generados los estados fenológicos se va a definir los estados o características del sistema de riego. En el programa aparecen unos valores por defecto adaptados a cada una de las estrategias de riesgo, pero esto puede adaptarse al manejo propio de la parcela, donde indicaremos valores como intervalo máximo y mínimo de riegos, es decir cuantos días como mínimo o máximo debería de dar un riego, esto puede modificarse y adaptarse.

En esta herramienta se ven valores como dosis máxima y mínima de riego y la eficiencia del sistema de riego, esta eficiencia incluye las pérdidas por evaporación del sistema y la falta de uniformidad; además, en un riego localizado bien manejado la eficiencia puede ser presentar valores de alrededor de 90% incluso superiores; además, hay espacios que permiten expresar la distancia entre goteros, número de ramales por línea y el caudal por gotero, nos indicaría los litros que descargamos por hora y árbol y además la pluviometría del sistema.

Además, podemos tomar estos valores e irlos ajustando al manejo real de la parcela, realizando modificaciones con la herramienta; por lo tanto, en conformidad a este programa con todos los datos recopilados y el aporte que este mismo brinda a los productores y al ambiente se verificaron durante cada fase del cultivo al mostrarse resultados efectivos con un uso eficiente del agua, por ende, gracias a esto se logró completar los objetivos del trabajo.

VI. CONCLUSIONES

El CREA cuenta con una adecuada planificación de las áreas productivas; que, acondicionadas para la investigación y producción, garantizan la implementación de los procesos agrícolas orientados a la optimización de los recursos disponibles para la producción y generación de servicios, procurando causar el menor impacto en el ambiente.

En el campo de prácticas del CREA se implementan los procesos agrícolas de forma adecuada, debido a que cuentan con la infraestructura, equipo, recursos y sistemas necesarios para realizar las prácticas de campo; además, cuenta con personal calificado para la ejecución de los trabajos de campo y los de carácter científico, con lo cual garantiza la optimización de los recursos y contribuye a la sostenibilidad de la agricultura.

Se verifica que los procesos agrícolas desarrollados en el campo de prácticas de la UCLM son adecuados; ya que, los rendimientos de los sistemas del CREA son 2% superior al promedio nacional, poseen 87.70% coeficiente de uniformidad y una eficiencia de aplicación del 86.19%, garantizando una distribución equitativa del agua alrededor del sistema radicular de las plantas, de igual manera reduce las pérdidas por evaporación, escorrentía y percolación.

VII. RECOMENDACIONES

Fortalecer las capacidades de los productores y los estudiantes de la UNAG en el manejo de los sistemas de riego, para que puedan aprovechar el sistema a su máximo potencial; además, la adopción de tecnologías modernas, como sensores de humedad del suelo y sistemas de control automatizado, puede facilitar la toma de decisiones en tiempo real y mejorar la precisión del riego.

Fomentar el uso óptimo de los recursos hídricos en los productores, mediante la implementación de las herramientas utilizadas durante el desarrollo de los procesos agrícolas en la UCLM; así, promover una gestión sostenible del agua en la agricultura, mediante un uso eficiente de este recurso vital y la producción óptima de los cultivos.

Establecer en la UNAG un programa sistemático para el manejo de los sistemas de riego, mediante la implementación de la herramienta de ayuda al regante RETOAGUA; donde, se puede garantizar un manejo óptimo de los sistemas de riego, maximizando la eficiencia en el uso del agua y contribuyendo a la sostenibilidad de la agricultura.

VIII. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

- Agrícola, R.I. s. f. 2020. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (en línea). Revista Ingeniería Agrícola 10. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586264983001>
- Brechelt, D. A. (agosto de 2004). Manejo Ecológico del Suelo. Obtenido de https://bizibaratzea.eus/storage/liburutegia/dokumentuak/manejo_ecologico_del_suelo.pdf
- buitech. (13 de marzo de 2020). Instalación de sondas de humedad en PSB Producción Vegetal y Frutas de la Sierra Espuña. Obtenido de Instalación de sondas de humedad en PSB Producción Vegetal y Frutas de la Sierra Espuña: https://buitech.es/sondas_humedad_psb_produccion_vegetal/
- (Chacón and Gutman 2022) Chacón, K; Gutman, D. 2022. Siembra Directa: Principios Generales de la Agricultura de Conservación (online). Accessed 15 May 2024. Available at <https://repositorio.iica.int/handle/11324/21252>.
- CREA – (Centro Regional de Estudios del Agua). 2020. (en línea, sitio web). Consultado 18 ene. 2024. Disponible en <https://crea.uclm.es/crea/>
- De Montes, Y; José, A; Martínez López, A; Domínguez Padilla, A. (s. f.). Universidad De castilla-La Mancha Escuela Técnica Superior De Ingenieros Agrónomos. s.l., s.e.
- Faci Gonzales J.M, PJE. 2005. Tema_5_Evaluacion_RiegSuoperf (en línea). Consultado 13 feb. 2024. Disponible en (4909) Sistemas y Tecnología del Riego: Tema 5 Evaluación Riego Superficie | Campus Virtual (uclm.es).

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. The AquaCrop model – Enhancing crop water productivity (en línea). s.l., FAO. DOI: The AquaCrop model – Enhancing crop water productivity (fao.org)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023. Libro de actividades – El agua es vida. El agua nutre. s.l., FAO. DOI: <https://www.fao.org/3/cc6287es/cc6287es.pdf>
- Gavilán, P; Ruiz, N; Bohórquez, JM; Lozano, D. (2015). Regar mejor: mejora de la eficiencia y ahorro de agua sin comprometer la producción en fresa (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/283091846>.
- Gutman, C. y. (2022). IICA. Obtenido de Siembra Directa: Principios Generales de la Agricultura de Conservación: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/21252>
- Keller, J., & Karmeli, D. (1974). Trickle Irrigation Design Parameters. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 17(4), 678- 684.
- Javier Salomó, J. M. (1 de febrero de 2019). Riego por goteo subterráneo. Obtenido de Riego por goteo subterráneo: <https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/e8009ee9-4e87-4da8-a155-ab161d3130a8/content>
- Kolmans, E. & Vásquez, D. 1999. Manual de agricultura ecológica. Nueva Ed. SIMAS-CICUTEC. Managua, Nicaragua. p. 19
- Lipinski, V. M. (2015). Manejo del riego y la fertilización en cultivos. Obtenido de Manejo del riego y la fertilización en cultivos: [https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/3111/INTA_CRMendoza-SanJuan_EEALaConsulta_Lipinski_VM_Manejo_riego_fertilizaci%
c3%b3n_cultivos_ajo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/3111/INTA_CRMendoza-SanJuan_EEALaConsulta_Lipinski_VM_Manejo_riego_fertilizaci%c3%b3n_cultivos_ajo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- López-Brea Rector de, U. 2021. Institucional: Bienvenida del Rector (en línea, sitio web). Consultado 18 ene. 2024. Disponible en <https://www.uclm.es/es/misiones/lauclm/institucional/bienvenidarector>
- Martínez-López J.A. s. f. 1. Tierras_290_SUPROMED (Producción sostenible en entornos con limitaciones de agua en el agroecosistema mediterráneo). 2020. DOI: Tierras agricultura gratis 290 (interempresas.net)
- Martínez-López, JA; López-Urrea, R; Martínez-Romero, Á; Pardo, JJ; Montero, J; Domínguez, A. 2022. Sustainable Production of Barley in a Water-Scarce Mediterranean Agroecosystem. *Agronomy* 12(6). DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061358>
- Martínez-López, JA; Montoya, F; Martínez-López, H; Martínez-Romero, A; Pardo, JJ; López – Urrea, R; Domínguez, A. (s. f.). 2023. Regulated deficit irrigation scheduling tool for the sustainability of woody crops in semi-arid regions (en línea). s.l., s.e. Disponible en www.aeryd.es
- Mendoza, B. J., & Muñoz, B. J. (enero de 2013). Diseño e instalación de un sistema de riego por microaspersión. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/336876918.pdf>
- Narváez, M. 2021. Metodología participativa: Definición, características y técnicas (en línea, sitio web). Consultado 28 ene. 2024. Disponible en <https://www.questionpro.com/blog/es/metodologia-participativa/>
- ONU (United Nations). 2021. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture Systems at breaking point (SOLAW 2021). s.l., FAO. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- PIZARRO. (1990). "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA, Obtenido de "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA, <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fe1a66e0-35c4-4fe5-af31-68fed62030e4/content>

SIAR – (Servicio Integral de Asesoramiento al Regante) de Castilla-La Mancha. (en línea, sitio web). 2024. Consultado 18 ene. 2024. Disponible en <https://crea.uclm.es/siar/>

UCLM - (Universidad de Castilla-La Mancha) Campus: Campus de Albacete (en línea, sitio web) 2021. Consultado 1 feb. 2024. Disponible en <https://www.uclm.es/Misiones/LaUCLM/Campus/CampusAB>

UCLM - (Universidad de Castilla-La Mancha) 2022. La Escuela: Instalaciones (en línea, sitio web). Consultado 1 feb. 2024. Disponible en <https://www.uclm.es/Albacete/agronomos-montes/LaEscuela/Instalaciones>

UCLM (Universidad de Castilla-La Mancha). 2024. (en línea, sitio web). Consultado 18 ene. 2024. Disponible en <https://crea.uclm.es/SIARPR/>

Valdivieso López. (s. f.). 2017. Trabajo Fin de Máster agua de riego para los cultivos del área de influencia del sistema carrizal-chone Intensificación: ordenación, restauración y gestión de cuencas. s.l., s.e. DOI: Valdivieso - Optimización de la asignación del agua de riego para los cultivos del área de influ...pdf (upv.es)

Vásquez, E. K. (Noviembre de 1999). Manual de. Obtenido de Una introducción a los principios básicos y su aplicación:
https://admin.dipujaen.es/galerias/galeriaDescargas/municipios/Orcera/ANEXO_13_PRI NCIPIOS_BxSICOS.pdf

William, V. (2017). MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. Obtenido de MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO: https://www.researchgate.net/profile/William-ValverdePerez/publication/351095991_MANUAL_DE_OPERACION_Y_MANTENIMIENTO_PARA_EL_SISTEMA_DE_RIEGO_TECNIFICADO_EL_ROSAL/links/608644568ea909241e262a0c/MANUAL-DE-OPERACION-Y-MANTENIMIENTO-PARA-EL-SISTEMA-DE-RIEGO

ANEXOS



Anexo 1. Distanciamiento entre ramales



Anexo 2. Instalación de ramales



Anexo 3. Sistema de microaspersión instalado



Anexo 4. Manejo de los tratamientos en el ajo



Anexo 5. Funcionamiento del sistema de microaspersión



Anexo 6. Control de malezas



Anexo 7. Asperjando el cultivo contra gramíneas



Anexo 8. Datalogger instalado



Anexo 9. Instalación de sensor de humedad



Anexo 10. Sistema de riego por goteo subterráneo



Anexo 11. Croquis de las oficinas del campo de prácticas de la UCLM



Anexo 12. Croquis de las parcelas de cebada, ajo y maíz



Anexo 13. Croquis de las parcelas de almendro, pistacho y adormidera