

SISTEMA DE RIEGO EN CULTIVOS HORTÍCOLAS EN SUELO ROJO DE CORRIENTES.

Diseño agronómico e hidráulico

Introducción

El diseño y la instalación del sistema de riego presentado en esta publicación, fue realizado en la huerta comercial con enfoque agroecológico del productor Wilmar Díaz Perera, ubicada en el Paraje de Caabi Poí, municipio de Gdor. Virasoro (latitud 27°50'47.13"S; longitud 56°11'16.14"O) a consecuencia de las condiciones climáticas ocurridas en los años 2020, 2021 y verano del 2022; a mediados de año se comenzó a buscar alternativas para mitigar el efecto ocurrido por la falta de agua. Una de las estrategias implementadas fue la construcción de una cisterna para la captación de agua para la producción hortícola (Dos Santos y Uguet. 2022) y otra fue la implementación del diseño e instalación de un sistema de riego por goteo para poder abastecer de agua a toda la huerta y de esta manera complementar el déficit hídrico producido por la sequía (Dos Santos, 2023)

Diseño agronómico

En primer lugar, se muestreó suelo para obtener en laboratorio el porcentaje de agua a capacidad de campo (en adelante denominado CC), punto de marchitez permanente (en adelante denomina PMP) y densidad de suelo (Dap) y a campo por medio de una calicata se midió la profundidad efectiva de raíces (Beltrán, 2017). Con estos valores, se determinó que la capacidad de almacenaje de agua del suelo (en adelante denominado CAS) es de 71,05 mm. El bulbo de mojado producido en un suelo rojo laterítico posee un diámetro de 0,20 m a lo que nos lleva a determinar que con 4 cintas de riego a un distanciamiento de 0,20 m entre goteros logramos regar solamente el 57% de la superficie de un cantero que posee 1,10 m de ancho por cada metro de longitud de cantero (Figura 2). Este valor de 57% se le denomina porcentaje de área regada (en adelante denominado PAR). Que multiplicado a la CAS se obtiene la capacidad de almacenamiento efectiva. En este caso sería de 40,41 mm.

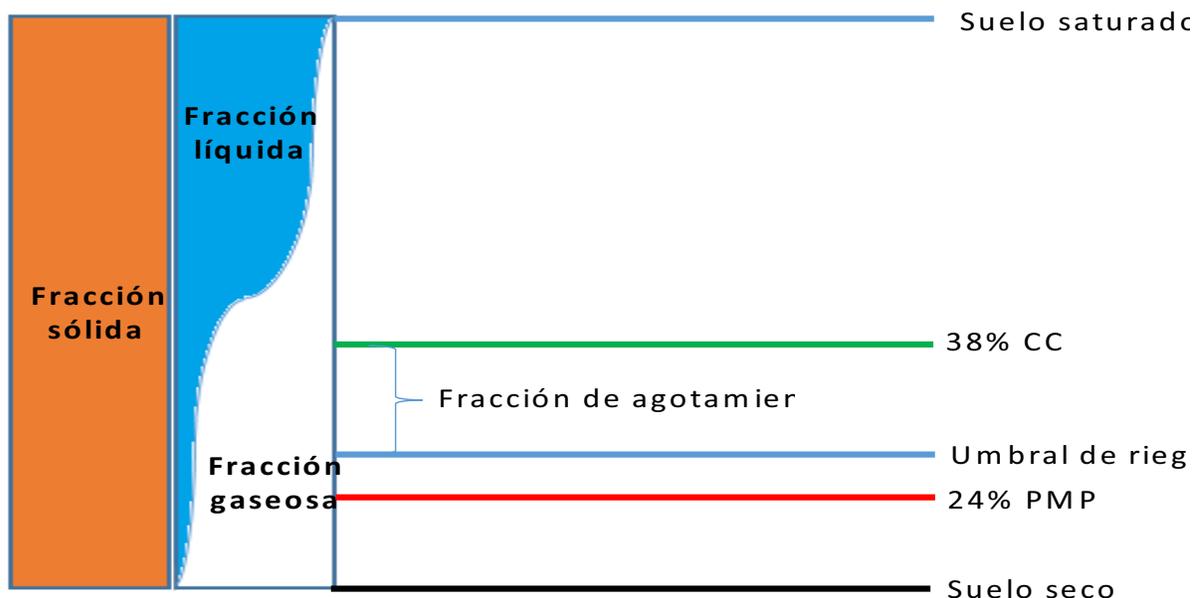


Figura1. Movimiento del agua en el suelo.

La fracción de agotamiento (en adelante denominado FR), es el porcentaje de humedad que se va “a reponer con el riego”, se encuentra dentro del agua útil para las plantas y también se lo denomina umbral de riego (en adelante UR) como se muestra en la Figura 1. El valor de la FR dentro del UR permite determinar la “lámina de reposición de agua (LR)” que se debe restablecer al suelo

para no generar limitaciones al cultivo por estrés hídrico. En este diseño agronómico se estableció una FR del 51,36% el cual determina una LR de 20,84 mm en un intervalo de riego de 2 días. El intervalo de riego (en adelante llamado IR) indica cada cuanto tiempo debemos reponer LR al suelo y se determina mediante la relación entre la LR y la demanda hídrica bruta (en adelante llamada DHB). El cálculo para obtener la IR es el siguiente:

$$IR \text{ (días)} = \frac{LR \text{ (mm)}}{DHB \left(\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right)}$$

Donde:

$$DHB \text{ (mm/día)} = \frac{\text{Evapotranspiración potencial del cultivo de referencia} \left(\frac{\text{mm}}{\text{día}}\right)}{\text{Eficiencia del sistema} (\%)}$$

Para determinar el valor de la DHB, se utilizó la Evapotranspiración potencial de referencia (en adelante ET_0 , mm/día) promedio diario calculada utilizando la metodología Penman-Monthieth (FAO, 2006) para el mes de enero del 2022 que fue de 9,38 mm/día (Dos Santos, 2023) y estimando una eficiencia de aplicación del 90%.

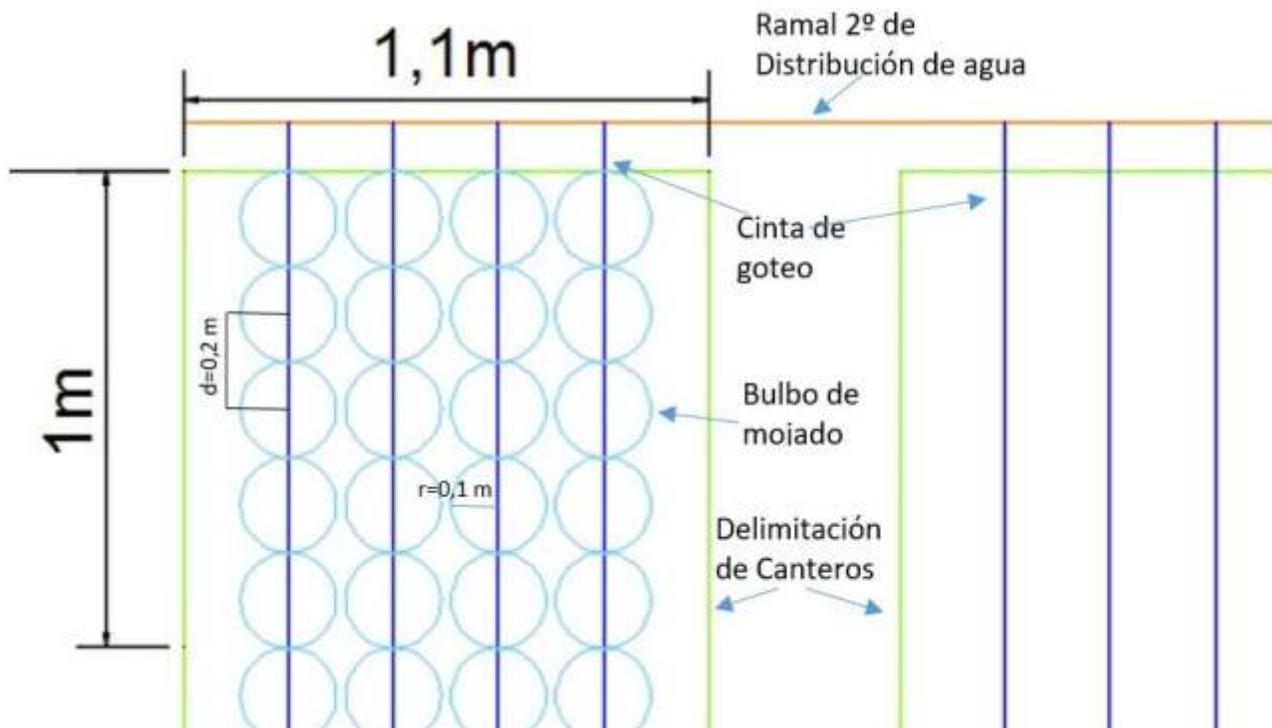


Figura2. Distribución de cintas y goteros en el cantero.

Ahora bien, queda por determinar el tiempo de riego (en adelante TR_i), es decir, el tiempo que lleva el sistema en reponer la LR. Para esto realizamos el siguiente cálculo:

$$TR_i \text{ (horas/día)} = \frac{\text{Lámina de reposición} \left(\frac{\text{mm}}{\text{días}}\right)}{\text{Precipitación del sistema} \left(\frac{\text{mm}}{\text{hora}}\right)}$$

La precipitación del sistema se determina contando la cantidad de goteros que tenemos en un 1 m^2 de cantero, multiplicado por el caudal que eroga cada gotero en litros por hora. Para este ejemplo en particular, como se muestra en la Figura 1, en 1 m^2 colocando 4 cintas de goteo, las cuales tienen una distancia entre goteros de 0,2 m se obtiene un total de 20 goteros/ m^2 con un caudal de 1,05 l/h. De esta manera, se determina que el TRi es de 0,99 hs. Lo cual para ser operativo el sistema se adopta el valor de 1 hs exactamente.

Para finalizar el diseño agronómico, se establece los turnos de riego (en adelante TR), para ello se regará durante 5 horas al día que multiplicado por el IR nos establece que se manejará 10 TR. Para poder cumplir con los TR calculados, se agruparon a los canteros según su tamaño. Todos ellos poseen el mismo ancho (1,10 m), difiriendo en el largo de varios de ellos. En la Tabla 1 y en la Figura 3 se puede apreciar el agrupamiento que se realizó en los canteros según el largo de cada uno, que además permite poder distribuirlos en los turnos de riego.

De esta manera quedan establecido los primeros parámetros del diseño agronómico del sistema de riego, siendo los siguientes:

- LR: 20,84 mm.
- IR: 2 días.
- TR: 10.
- TRi: 1 hora.

Tabla1. Grupo de canteros según su tamaño.

Canteros	Grupo	N°	Ancho (m)	Largo (m)	Largo total (m)
Canteros huerta	(A)	34	1,1	18,3	622,2
Canteros huerta	(B)	6	1,1	14,4	86,4
Canteros huerta	(C)	4	1,1	16,1	64,4
Canteros huerta	(D)	11	1,1	16,8	184,8
Subtotal		55			957,8
Cantidad total de cinta de riego/cantero					4
Cantidad total de cinta de riego (m)					3831,2

Los agrupamientos de canteros permiten la organización del diseño de riego, trazando la necesidad de insumos por ejemplo la cantidad de cinta a comprar y el destino de estas en dicho agrupamiento. Además, facilitan la determinación de las cantidades de conectores iniciales, conectores, Tee y llaves de paso entre otros para cada turno (ver anexo I y II).

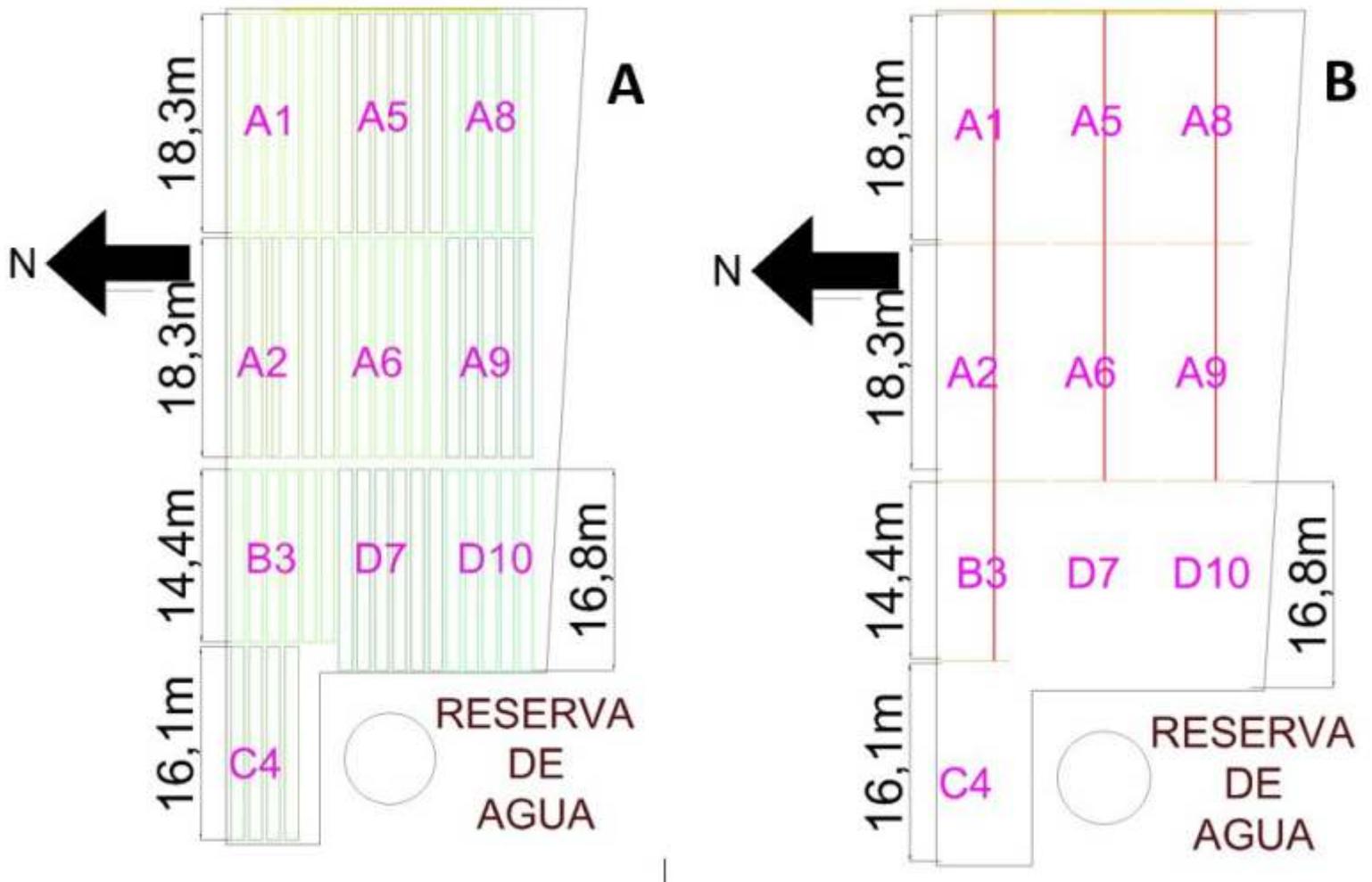
En la Figura 3, se puede ver los agrupamientos de canteros (letras) y el TR que corresponde a cada agrupamiento (número). También se puede apreciar en la misma Figura la ubicación de la reserva de agua que se construyó en el mes de noviembre del 2022 (Dos Santos y Uguet. 2022). Dicha cisterna construida tiene una capacidad de almacenaje de 45 m^3 , suficiente para mantener el sistema en funcionamiento por durante 3,5 días en el mes de enero quien es el mes de mayor demanda hídrica.

Tabla 2. Necesidad de agua en los turnos diarios por grupo de canteros.

TR	Grupo	N°	Largo (m)	Total (m ²)	Q (m ³ /h)	Necesidad de agua m ³ /diaria
1	(A)	6	18,3	120,78	2,54	11,09
2	(A)	6	18,3	120,78	2,54	
3	(B)	6	14,4	95,04	2,00	
4	(C)	3	16,1	53,13	1,12	
		1	16,1	17,71	0,37	
5	(A)	6	18,3	120,78	2,54	11,03
6	(A)	6	18,3	120,78	2,54	
7	(D)	6	16,8	110,88	2,33	
8	(A)	3	18,3	60,39	1,27	
		2	18,3	40,26	0,85	
9	(A)	3	18,3	60,39	1,27	
		2	18,3	40,26	0,85	
10	(D)	3	16,8	55,44	1,16	
		2	16,8	36,96	0,78	
Total		55		1053,58	22,13	

La colocación de los canteros en los TR permite diseñar los ramales primarios y secundarios de distribución de agua dentro de la huerta y evitar o disminuir la utilización de codos o curvas los cuales aumentan las pérdidas de carga dentro del sistema. Para esto se distribuyó alrededor de 6 canteros por TR (A1, A2, B3, A5, A6, D7); sin embargo, debido a las aptitudes del lugar donde está ubicada la huerta el TR C4 posee 4 canteros y los TR A8, A9 y D10 poseen 5 canteros cada turno (Tabla 2). Cabe mencionar que los TR son operados mediante válvulas manuales que se ubican en las cabeceras de dicho turno. Un TR opera una o dos válvulas, evitando de esta manera perder agua en aquellos canteros que no posee cultivos. Ejemplo si los canteros 4, 5 y 6 no están cultivados temporalmente el TR estaría operado solamente por la válvula 1.

Figura 3. (A) Agrupamiento de canteros según el largo de ellos. (B) Distribución de ramales primarios (naranja) y secundarios (rojo) en los TR.



Cerco perimetral

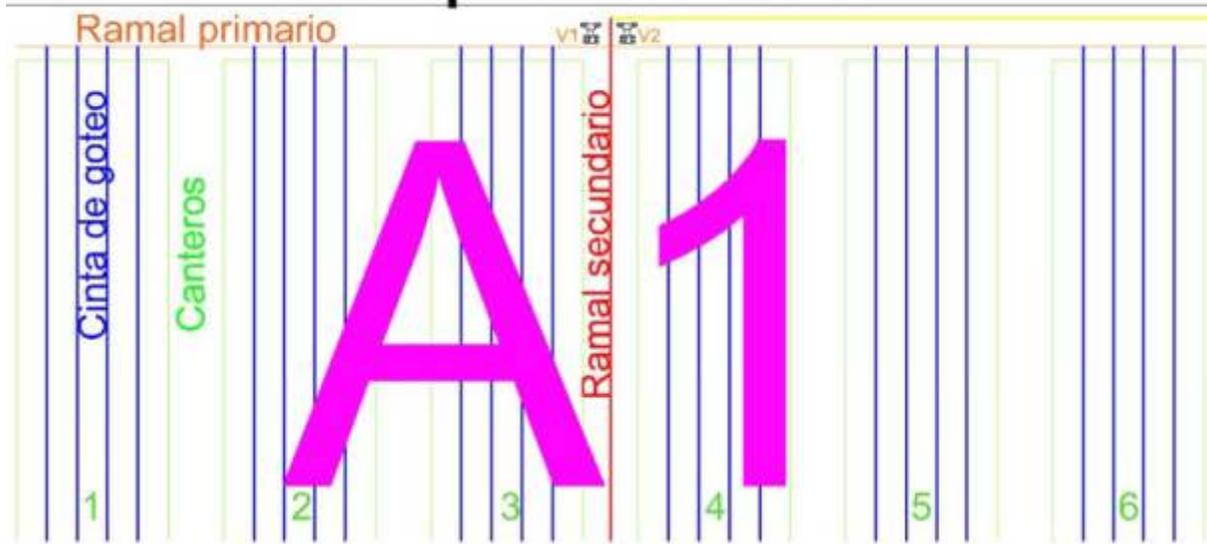


Figura 4. Distribución de canteros con ramales de distribución de agua en un turno de riego.

Diseño hidráulico

El diseño hidráulico de las tuberías, nos permiten saber cuál es el mejor diámetro para utilizar en los ramales evitando pérdidas de carga (presión y velocidad en las tuberías) y de esta manera no sobredimensionar el sistema el cual podría elevar considerablemente los costos de inversión o tal vez, no sub-dimensionar y tener grandes demoras en llegar al agua a los últimos emisores (goteros).

Tabla 3. Ejemplo de cálculo de tubería para el ramal 1º que se repite en los TRA1, A2, A5 y A6.

Grupo de canteros	(A)
Material PE	C=150
Caudal total del lateral (m^3/h)	1,27
Longitud (m)	4,3
Espaciamiento (m)	0,22
Resultados	
Diámetro (mm)	25,40
Pérdidas permitidas (%)	0,04
Velocidad (m/s)	0,70
Factor F de Christiansen	0,38
Número de salidas totales	12
Caudal/salida (m^3/h)	0,106
Área (m^2)	0,000507
m (Factor de plástico)	1,76
Cantidad de goteros (lt/hr)	91,5

En el diseño hidráulico se establecen tres aspectos, el mejor diámetro posible para las tuberías y las válvulas, el tiempo de avance en las tuberías primarias (más adelante se explicará por qué no se calcula el tiempo de avance en la tubería secundaria) y el tiempo de avance en las líneas de goteo para compararlo con el tiempo de riego necesario para ese TR en particular.

Teniendo en cuenta lo expresado en el párrafo anterior, se realizarán una serie de cálculos adicionales, como por ejemplo el valor "F" de Christiansen el cual determina la pérdida de carga, la carga H no se mantiene constante, sino que una parte de ella se emplea en vencer la resistencia que se opone al movimiento del líquido. A esta pérdida de H se le denomina pérdida de carga. Una tubería con salidas múltiples (Franquet Bernis, 2016). En base al teorema de Bernoulli, el movimiento de un fluido a través de una tubería va perdiendo velocidad (pérdida de carga) debido a la propia viscosidad del fluido, el material de la tubería y su diámetro. De acuerdo con el material de la tubería, cada uno posee un coeficiente de rugosidad "C" que genera la fricción entre las paredes de la tubería y el fluido. En el caso de polietileno (PE) $C=150$.

En este diseño en particular, por cuestiones de costos, para las distribuciones de agua dentro de la huerta se utilizaron manguera de PE con su coeficiente "C" respectivo. Observado la Tabla 2, se puede ver que hay TR que poseen la misma cantidad y largo de cantero. Es decir, se puede realizar un agrupamiento de grupo de canteros. Los TR A1, A2, A5 y A6 son un agrupamiento, y los TR A8 y A9 otros agrupamientos. Sin embargo, los TR B3, C4, D7 y D10 requieren cálculos individuales. Estos tipos de agrupamientos, permiten simplificar los cálculos al momento de realizar los dimensionamientos de tuberías.

En la Tabla 3 están los datos necesarios para realizar el dimensionamiento de las tuberías. El caudal del lateral se deriva en las válvulas que componen el TR. En la Tabla 2 se observa que el caudal necesario para el TR 1 es de $2.54 \text{ m}^3/\text{h}$, repartidos en las válvulas 1 y 2, cada una posee un caudal de $1.27 \text{ m}^3/\text{h}$. El largo del lateral está compuesto por la distancia entre el ramal 2º hasta el extremo del cantero, ejemplo cantero 1 en la Figura 4. También en la misma Figura se puede observar el número de salidas (4 cintas de goteo por cada cantero, multiplicado por la cantidad de canteros).

La Tabla 4, presenta un resumen del diseño de riego realizado, con los 10 TR calculados, los grupos de canteros por cada turno y las agrupaciones realizadas por cada intervalo de riego. Además, las válvulas que operarán en cada TR, la dimensión de las válvulas y el largo que tendrá el ramal 1º donde manejará dichas válvulas. Por último, en la Tabla 4 se encuentra el caudal que manipula la válvula y el tiempo que lleva en llenarse el ramal 1º y las cintas de goteo.

Tabla 4. Resumen del diseño de riego por goteo.

DISEÑO DE RIEGO									Tiempo de avance en minutos		
Grupo de cantero	TR	Cantidad de canteros	VALVULAS	DIAMETRO VALVULA (PULG)	LONGITUD RAMAL 1° (m)	LONGITUD DE CANTERO (m)	TIEMPO DE RIEGO POR TR (hs)	CAUDAL POR TR (m³/hs)	PRIMARIA	GOTEO	SUMA
(A)	1	3	1	1"	4,3	18,3	1,00	1,27	2,83	10,31	13,14
		3	2	1"	4,3	18,3		1,27	2,83	10,31	13,14
(A)	2	3	3	1"	4,3	18,3	1,00	1,27	2,83	10,31	13,14
		3	4	1"	4,3	18,3		1,27	2,83	10,31	13,14
(B)	3	3	5	1"	4,3	14,4	1,00	1,00	3,59	4,23	7,82
		3	6	1"	4,3	14,4		1,00	3,59	4,23	7,82
(C)	4	3	7	1"	5,6	16,1	1,00	1,49	4,38	7,68	12,06
		1		1"		16,1					
(A)	5	3	8	1"	4,3	18,3	1,00	1,27	2,83	10,31	13,14
		3	9	1"	4,3	18,3		1,27	2,83	10,31	13,14
(A)	6	3	10	1"	4,3	18,3	1,00	1,27	2,83	10,31	13,14
		3	11	1"	4,3	18,3		1,27	2,83	10,31	13,14
(D)	7	3	12	1"	4,3	16,8	1,00	1,16	3,08	6,06	9,14
		3	13	1"	4,3	16,8		1,16	3,08	6,06	9,14
(A)	8	3	14	1"	4,3	18,3	1,00	1,27	2,83	10,31	13,14
		2	15	1"	2,8	18,3		0,85	0,40	10,31	10,71
(A)	9	3	16	1"	4,3	18,3	1,00	1,27	2,83	10,31	13,14
		2	17	1"	2,8	18,3		0,85	0,40	10,31	10,71
(D)	10	3	18	1"	4,3	16,8	1,00	1,16	3,08	6,06	9,14
		2	19	1"	2,80	16,8		0,78	1,71	6,06	7,77

Instalación del sistema de riego

Luego de haber hecho los diseños agronómicos e hidráulicos del sistema de riego, se procedió a realizar una lista de los materiales necesarios y calcular cual sería el costo de la inversión para llevar adelante el proyecto. La lista de materiales se puede observar en el cuadro del anexo II junto a un detalle de los insumos comprados en el Anexo I. Además, en la Foto 1 se pueden ver los materiales que se compraron.

Foto1. (A) Total de materiales necesarios. (B) Detalle de insumos necesarios.



Consideraciones finales

La compra de todos los materiales necesarios para la implementación del proyecto de riego en la huerta del productor tuvo una inversión total de \$137.307,54 que se realizó en el período entre el 29 de septiembre y el 18 de octubre del año 2022. Con el riego instalado en el sistema hortícola y con el diseño debidamente calculado, el productor al momento de regar no le quedará más que abrir las válvulas correspondientes al TR y cantero al que pertenece. Luego de controlar el tiempo de riego, cerrar la válvula y pasar a la siguiente. De esta manera, mientras el productor está dedicando su tiempo a realizar otras labores culturales como por ejemplo trasplante, siembra, o el monitoreo de insectos en los cultivos entre otras, la aplicación de la LR se realiza en forma independiente.

Se está evaluando la utilización de diferentes materiales reciclables como mulchín sobre los canteros el cual podría contribuiría en la disminución de la LR, reduciendo así la evaporación del agua por parte del suelo y además también la aparición de hiervas no deseadas dentro de la huerta.

Referencias

- Beltrán, F. J. (2017). Determinación y evaluación de las propiedades hidráulicas del suelo y su aplicación al estudio del balance de agua en cultivos de regadío. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/89742>
- Santos Gonzalo y Uguet Jaime. (2022). Captación de agua para la producción hortícola. Mercedes: INTA.
- Dos Santos, G. (2023). Producción hortícola en suelo rojo de Corrientes. periodo 2022. Mercedes: INTA.
- FAO (2006). Evapotranspiración del cultivo. Cuaderno técnico N° 56.
- Franquet Bernis, J. M. (2016). Coeficiente reductor de Christiansen. Diseño de un riego por aspersión. Tortosa (Tarragona): Universidad Nacional de educación a distancia.

ANEXO I

Detalle de los insumos necesarios



Conector para polietileno negro unión a enchufe riego por goteo 25 mm. Polimex (1")



Conector inicial para cinta



Codo para polietileno negro 25 mm (1")



Tee para polietileno negro 25 mm (1")



Válvula esférica PE 25 mm (1")



Rollo de cinta de goteo a 20 cm



Rollo de caño K4 PE de 25 mm (1")



Filtro de anillas de 1"

ANEXO II

Lista de materiales necesarios

CANTIDAD	UNIDAD	MATERIAL
250	m	Cañopolietileno negro 25 mm (1)
21	un	Tee polietileno JP 25mm (1")
3	un	Codopolietileno JP 25mm (1")
19	un	Válvula esférica de bronce 25 mm (1")
38	un	Conector para polietileno negro unión a end 25 mm Polimex (1")
220	un	Conector inicial para cinta de riego por goteo
2	un	Filtro de anilla rosca de 1"
2	Rollo	Cinta de riego distancia a 20 cm (rollo de 3200 m)
4	Rollo	Cinta teflón de 1"