

APÉNDICES

Apéndice A.

Formulación evapotranspiración de referencia.

Tabla A1.

Ecuaciones para el cálculo de evapotranspiración de referencia.

<i>Variable</i>	<i>Unidad</i>	<i>Relación matemática</i>	<i>Eq.</i>
Presión atmosférica (P)	kPa	$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0.0065Z}{293} \right)^{5.26}$	(A1)
Constante Psicrométrica (γ)	kPa °C ⁻¹	$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} P$	(A2)
Distancia relativa inversa (d_r)		$d_r = 1 + 0.033 \times \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right)$	(A3)
Declinación solar (δ)		$\delta = 0.409 \times \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right)$	(A4)
Ángulo de radiación (ω_s)		$\omega_s = \arccos(-\tan(\varphi) \tan(\delta))$	(A5)
Radiación extraterrestre (R_a)	MJ/m ² d	$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s]$	(A6)
<i>G_{sc} es una constante solar = 0.082 [MJm⁻²día⁻¹]</i>			
Duración máxima de la insolación (N)	MJ/m ² d	$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$	(A7)
Radiación solar (R_s)	MJ/m ² d	$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$	(A8)
<i>Para los lugares en los que no se han realizado calibraciones, la constante as=0.25 y la constante bs=0.50</i>			
Radiación solar en un día despejado (R_{so})	MJ/m ² d	$R_{so} = (0.75 + 210^{-5} \times z) R_a$	(A9)
Radiación neta solar de onda corta (R_{ns})	MJ/m ² d	$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$	(A10)

Radiación neta solar de onda larga (R_{nl})	MJ/m^2h	$R_{nl} = \sigma T (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right)$	(A11)
---	-----------	---	-------

MJ/m^2d Para periodos diarios:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{max,k}^4 + T_{min,k}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right) \quad (A12)$$

Radiación neta (R_n)	MJ/m^2d	$R_n = R_{ns} - R_{nl}$	(A13)
--------------------------	-----------	-------------------------	-------

Flujo de calor en el suelo (G)	MJ/m^2d	$G_{mes,i} = 0.14(T_{mes,i} + T_{mes,i-1})$	(A14)
--------------------------------	-----------	---	-------

Pendiente de la curva de presión de vapor (Δ)	$kPa/^\circ C$	$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108^{\left(\frac{17.27 \times T}{T+237.3} \right)} \right]}{(T + 237.3)^2}$	(A15)
--	----------------	---	-------

Presión de vapor de saturación (e_s)	kPa	$e_s = e^0 = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27 \times T}{T + 237.3} \right]$	(A16)
--	-------	---	-------

Presión de vapor real (e_a)	kPa	$e_a = e_s = 0.6108^{\left(\frac{17.27 \times PR}{PR+237.3} \right)}$	
---------------------------------	-------	--	--

Para periodos diarios:

$$e_a = \frac{e^0(T_{min}) \frac{HR_{max}}{100} + e^0(T_{max}) \frac{HR_{min}}{100}}{2} \quad (A17)$$

Con HR_{media} disponible:

$$e_a = \frac{HR_{media}}{100} e^0(T_{media}) \quad (A18)$$

Adaptado de FAO (2006). Nota: Calor específico a presión constante (cp); Cociente del peso molecular del vapor de agua/aire seco (ε); número del día del año entre 1 y 365 (J); Latitud (φ); Constante solar (G_{sc}); Fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados ($a_s + b_s$); Duración real de la insolación (n), Duración máxima posible de la insolación (N), Elevación de la estación sobre el nivel del mar (z); Albedo (α); Constante de Stefan-Boltzmann (σ); Temperatura máxima en grados Kelvin ($T_{max,k}$); Temperatura mínima en grados Kelvin ($T_{min,k}$); Temperatura del aire (T); Temperatura del punto de rocío (PR); Presión atmosférica (P); Calor latente de vaporización (λ).

Apéndice B.

Definiciones de parámetros de diseño agronómico.

Tabla B1.

Propiedades para el diseño agronómico.

Propiedad	Definición
Densidad aparente (da) ^{1,2}	Es la relación entre la masa del suelo en estado seco y el volumen total que este ocupa, incluyendo tanto la fracción sólida como los espacios porosos. Este parámetro constituye un indicador de la compactación del suelo y de su porosidad, de modo que valores altos de densidad aparente reflejan menor volumen de poros y, por tanto, menor circulación de agua y aire.
Capacidad de campo (CC) ^{2,3,4}	Es el contenido máximo de agua que un suelo puede retener después de haber drenado el exceso de agua gravitacional, generalmente entre 48 y 72 horas posteriores a la saturación. En este estado, los poros grandes contienen aire y agua, mientras que los poros pequeños permanecen llenos de agua, constituyendo una condición óptima para el desarrollo de las plantas.
Punto de marchitez permanente (PMP) ^{2,3}	Es el contenido de humedad del suelo a partir del cual las plantas ya no pueden extraer agua suficiente para satisfacer sus necesidades, lo que provoca su marchitamiento irreversible. Aunque el suelo aún retiene cierta cantidad de agua, esta se encuentra fuertemente adherida a las partículas del suelo y no está disponible para las raíces.
Agua utilizable (AU) ^{1,2,3}	Es la cantidad de agua del suelo que se encuentra disponible para ser aprovechada por las plantas, comprendida entre la capacidad de campo (límite superior) y el punto de marchitez permanente (límite inferior). Este intervalo representa el agua que las raíces pueden extraer sin dificultad para satisfacer sus necesidades hídricas, siendo un parámetro fundamental para evaluar la disponibilidad de agua en el suelo y la respuesta de los cultivos.
Conductividad del agua de riego (Cea) ^{1,2,3}	Es una medida indirecta de la concentración total de sales disueltas en el agua de riego, basada en su capacidad para conducir la electricidad. A mayor contenido de sales, mayor será la conductividad eléctrica. Este parámetro es fundamental para evaluar la calidad del agua de riego, ya que influye en la disponibilidad de nutrientes y en el desarrollo de los cultivos, especialmente al considerar el aporte adicional de sales provenientes de fertilizantes

Eficiencia de lavado (f) ¹	Es un coeficiente que representa la eficacia con la que el agua de riego logra desplazar las sales fuera de la zona radicular del suelo, y depende principalmente de la textura de este.
Eficiencia de aplicación de riego (Ea) ^{1,3}	Es la relación entre la cantidad de agua que queda almacenada en la zona radicular del cultivo, disponible para su aprovechamiento, y el volumen total de agua aplicada durante el riego. Se expresa como un porcentaje e indica el grado de aprovechamiento efectivo del agua por parte de las plantas. Esta eficiencia está influenciada por el método de riego, las condiciones climáticas y las pérdidas por evaporación y percolación profunda

Adoptado de: 1(Monge Redondo, 2018); 2(Carrazón Alocén, 2007); 3(Fernandez Gomez, 2010); 4(Naranjo Barrios, 2025)

Apéndice C.

Formulación diseño agronómico.

Tabla C1.

Ecuaciones para el cálculo del diseño agronómico.

<i>Variable</i>	<i>Unidad</i>	<i>Relación matemática</i>	<i>Eq.</i>
Probabilidad de ocurrencias (P _r)		$\frac{2 \times m - 1}{2 \times N}$	(C1)
<i>m es el número de orden</i>			
<i>N es el número de años de la serie de datos</i>			
Precipitación efectiva (P _e)	mm	<i>Para una precipitación mensual (P_m) menor de 250 mm:</i>	(C2)
$P_e = (125 - 0.2 \times P_m) \frac{P_m}{125}$			
<i>Para una precipitación mensual mayor o igual a 250 mm:</i>			
$P_e = (0.1 \times P_m + 125)$			(C3)
Agua utilizable (AU)	mm	$AU = 10 \times (CC - PMP) \times d_a \times P_r$	(C4)
Dosis neta de riego (D _n)	mm	$D_n = DPM \times \frac{AU}{100}$	(C5)
Necesidades netas máximas	mm	$N_n = ET_c - P_{85\%}$	(C6)
Máximo intervalo entre riegos (I _M)	día	$I_M = \frac{D_n}{N_n}$	(C7)

Dosis neta ajustada (D_n aj)	mm	$D_{n\ aj} = I_M \times N_n$	(C8)
Dosis bruta de riego (D_b)	mm	$D_b = 100 \times \frac{D_{n\ aj}}{E_a}$	(C9)
Necesidades de lavado (NL)	%	$NL = \left(\frac{CE_a}{(5 \cdot CE_{ex\ max} - CE_a) \cdot f} \right) \cdot 100$	(C10)
Dosis bruta de riego (D_b)	mm	$D_b = \frac{D_n}{E_a \cdot (1 - NL)}$	(C11)
Tiempo de aplicación mínima (t_{amin})	h	$t_{a\ min} = \frac{100 \times D_b}{I_b \times f_p}$	(C12)
Pluviometría del aspersor ($Pluv_{asp}$)	mm/h	$Pluv_{asp} = \frac{Q_{asp}}{S^2}$	(C13)
Tiempo de aplicación (t_a)	h	$t_a = \frac{100 \times D_b}{Pluv_{asp}}$	(C14)
Necesidades brutas (N_b)	mm	$N_b = 100 \times \frac{N_n}{E_a}$	(C15)
Caudal mínimo del sistema (Q_m)	l/s	$Q_m = \frac{N_b \times S}{3600 \times t_a}$	(C16)

Adoptado de: (Carrazón Alocén, 2007; Monge Redondo, 2018) Nota: Precipitación mensual (P_m); Capacidad de campo (CC); Punto de marchitez permanente (PMP); Densidad aparente (d_a); Profundidad efectiva de raíces (Pr); Déficit permisible de manejo (DPM); Conductividad eléctrica del agua de riego (CE_a); Conductividad eléctrica máxima del extracto de saturación del suelo ($CE_{ex\ max}$); Eficiencia de lavado (f); Eficiencia de aplicación (E_a); Infiltración básica (I_b); Factor de reducción por la pendiente (f_p).

Apéndice D.

Formulaciones diseño hidráulico.

Tabla D1.

Ecuaciones para el cálculo del diseño hidráulico método Hazen – Williams.

<i>Variable</i>	<i>Unidad</i>	<i>Relación matemática</i>	<i>Eq.</i>
Carga hidráulica disponible inicial	[m]	$H = Cota_{Máxima} - Cota_{Mínima}$	(D1)
Perdida hidráulica unitaria (gradiente de pérdida de carga)	[m]	$J = \frac{H}{L}$	(D2)
Diámetro teórico de tubería (Hazen-Williams)	[m]	$D = \left(\frac{Q}{0.2785 \times C \times J^{0.54}} \right)^{\frac{1}{2.63}}$	(D3)

Perdida hidráulica con diámetro comercial	[m]	$J = \left(\frac{Q}{0.2785 \times C \times D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$	(D4)
Balance de pérdidas de carga en tramos	[m]	$H = J_1 L_1 + J_2 L_2$ $H = J_1 L_1 + J_2 (L - L_1)$	(D5)
Longitud del tramo con diámetro 1	[m]	$L_1 = \frac{H - J_2 L}{J_1 - J_2}$	(D6)
Longitud del tramo con diámetro 2	[m]	$L_2 = L - L_1$	(D7)
Pérdidas de carga localizadas	[m]	$h_s = k \frac{V_1^2}{2g}$	(D8)

Adoptado de: (Carrazón Alocén, 2007; Monge Redondo, 2018).

Tabla D2.

Ecuaciones para el cálculo del diseño hidráulico método Darcy-Weisbach.

Variable	Unidad	Relación matemática	Eq.
Número de Reynolds		$Re = \frac{\rho DV}{\mu}$	(D9)
Perdidas de cargas hidráulica total		Para $Re \leq 2000$ se dice que existe un régimen laminar en el flujo de agua, y la ecuación para el cálculo de f es $f = \frac{64}{Re}$ Para $Re > 2000$, el flujo del agua se dice que está en los regímenes crítico o turbulento, y la expresión de f es: $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left(\frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} + \frac{\varepsilon}{3.7D} \right)$	(D10)
Pérdidas por fricción		$h_T = h_f + h_s$	(D12)
		$h_T = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + k \frac{V_1^2}{2g}$	(D13)
Perdidas de carga localizadas		$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$	(D14)

Adoptado de: (Carrazón Alocén, 2007; Monge Redondo, 2018).

Tabla D3.

Ecuaciones de ajuste de pérdidas de carga en tuberías con salidas múltiples.

<i>Variable</i>	<i>Unidad</i>	<i>Relación matemática</i>	<i>Eq.</i>
Coefficiente reductor de Christiansen		$CR = \frac{1}{e+1} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{e-1}}{6n}$	(D15)
Donde, <i>e</i> es un factor que dependerá del material de la tubería. <i>n</i> representa el número de aspersores conectados al ramal de riego.			
Factor de Christiansen		$Fr = \frac{r+n \cdot CR-1}{r+n-1}$	(D16)
Donde, <i>r</i> es la relación entre la longitud del primer aspersor <i>l</i>₀ al inicio del ramal y la distancia entre aspersores dentro del ramal <i>l</i>; (<i>r</i> = <i>l</i>₀ / <i>l</i>) <i>n</i> es el número de aspersores conectados en el ramal			

Adoptado de: (Monge Redondo, 2018)

Tabla D4.

Comparación de pérdidas por fricción entre Hazen-Williams y Darcy-Weisbach.

Tramo	f (Colebrook)	h_f Hazen-W. (mca)	h_f Darcy-W. (mca)	Diferencia
Ramal	0.0338	0.378	0.441	0.063
Secundaria	0.0303	0.388	0.401	0.013
Principal	0.0303	1.396	1.629	0.233
Motriz	0.0334	0.438	0.386	0.052
Impulsión	0.0309	1.467	1.349	0.118

Tabla D5.

Coefficientes de pérdida localizada (K) y accesorios por tramo.

Tramo	Accesorios (cantidad × K)	ΣK
Ramal	3 T (1.8) + válvula de bola (0.05) + reducción (0.20) + manómetro (0.20) + caudalímetro (1.00)	3.25
Secundaria	2 T (0.60) + codo 90° (0.75) + electroválvula (10.0) + contador (5.0) + válvula de control de presión (2.5)	19.45
Principal	Entrada tanque (0.50) + válvula de bola (0.05) + 2 codos (0.75) + T bifurcador (0.60) + filtro de malla (3)	5.65
Motriz	Canastilla (0.8) + 2 codo 90° (1.5) + reducción (0.20) + unión universal	2.5
Impulsión	salida (1.00) + entrada (0.5) + válvula de cheque (2.50) + 3 codos 90° (2.25)	6.25

Adoptado de: (Linares Ojeda, 2012)

Apéndice E.
Criterios químicos de selección para las parcelas.

Tabla E1.
Metodología del "semáforo".

Semáforo	Al cmol /kg	Na cmol /kg	M.O. %	P mg/k g	Ca cmol /kg	Mg cmol /kg	K cmol /kg	Fe mg/k g	Mn mg/k g	Zn mg/k g	B mg/k g	pH
Rojo	>1	>1	<2.9	<15	<3.0	<1.5	<0.2	<20	<10	<2	<0.3	0-5.5 7.4-14
Amarillo	-	-	3.0-5.7	15-25	3-5	1.5-2.5	0.2-0.3	20-50	10-15	2-3	0.3-0.4	5.6-6.0
Verde	<1	<1	5.8-7.0	25-40	5-10	2.5-3.0	0.3-0.4	50-100	15-20	3-4	0.4-0.6	6.1-7.3

Adaptado de: Galindo Pacheco et al., (2024).

Apéndice F.
Resultados densidad aparente y conductividad hidráulica.

Tabla F1.
Densidad aparente del suelo por profundidad.

Profundidad (cm)	Réplica 1 (g/cm³)	Réplica 2 (g/cm³)	Réplica 3 (g/cm³)	Promedio (g/cm³)
0-20	0.742	0.658	0.735	0.712
20-40	0.957	0.734	0.922	0.871
40-60	1.611	1.504	1.460	1.525

Tabla F2.
Conductividad hidráulica por profundidad.

Profundidad (cm)	Textura	K(h=2cm) promedio (cm/d)	Ksat estimado (cm/d)
0-20	Franco (Loam)	25.49	27.40
20-40	Franco-arenoso (Sandy Loam)	30.49	34.31
40-60	Franco-arenoso (Sandy Loam)	19.89	22.38

Apéndice G.

Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

Tabla G1.

Capacidad de campo y punto de marchitez permanente a tres profundidades.

Profundidad (cm)	CC a 33 kPa (% p/v)	PMP a 1500 kPa (% p/v)	AU gravimétrica (% p/v)
0-20	58.07	52.03	6.04
20-40	42.49	37.16	5.33
40-60	39.82	36.20	3.62

Apéndice H.

Balance hídrico mensual.

Tabla H1.

Capacidad Balance hídrico mensual; precipitación, ETo, ETc y necesidades netas.

Mes	Pmedia (mm/mes)	P85% (mm/mes)	Pe (mm/mes)	Pe (mm/día)	ETo máx (mm/día)	ETc (mm/día)	Nn (mm/día)
Enero	351.24	255.76	150.58	4.86	3.98	4.28	-0.58
Febrero	359.00	261.41	151.14	5.40	4.11	4.42	-0.98
Marzo	273.24	198.70	135.62	4.37	4.04	4.34	-0.03
Abril	150.65	109.70	90.44	3.01	3.78	4.07	+1.05
Mayo	119.99	87.37	75.16	2.42	3.64	3.91	+1.49
Junio	131.63	95.85	81.15	2.70	3.71	3.99	+1.28
Julio	169.51	123.43	99.05	3.20	3.53	3.80	+0.60
Agosto	265.76	193.52	133.60	4.31	3.80	4.09	-0.22
Septiembre	299.20	217.86	141.92	4.73	3.50	3.76	-0.97
Octubre	252.79	184.07	129.86	4.19	3.39	3.64	-0.55
Noviembre	200.72	146.16	111.98	3.73	3.16	3.40	-0.33
Diciembre	232.13	169.03	123.31	3.98	3.53	3.80	-0.18

Apéndice I.

Resumen de parámetros del diseño agronómico.

Tabla I1.

Resultados del diseño agronómico.

Parámetro	Valor	Unidad
Agua utilizable (AU)	13.50	mm
Dosis neta de riego (Dn)	4.05	mm
Necesidades netas máximas (Nn máx)	1.49	mm/día
Máximo intervalo entre riegos (IM)	2.72	días
Intervalo de riego adoptado (I)	2	días
Dosis neta ajustada (Dn aj)	2.97	mm
Dosis bruta sin lavado (Db)	3.96	mm
Necesidades de lavado (NL)	2.67	%
Dosis bruta con lavado (Db)	4.07	mm
Tiempo de aplicación mínimo (t amín)	0.58 (35min)	h
Necesidades brutas (Nb)	1.98	mm/día

Apéndice J.

Levantamiento topográfico de la línea de conducción.

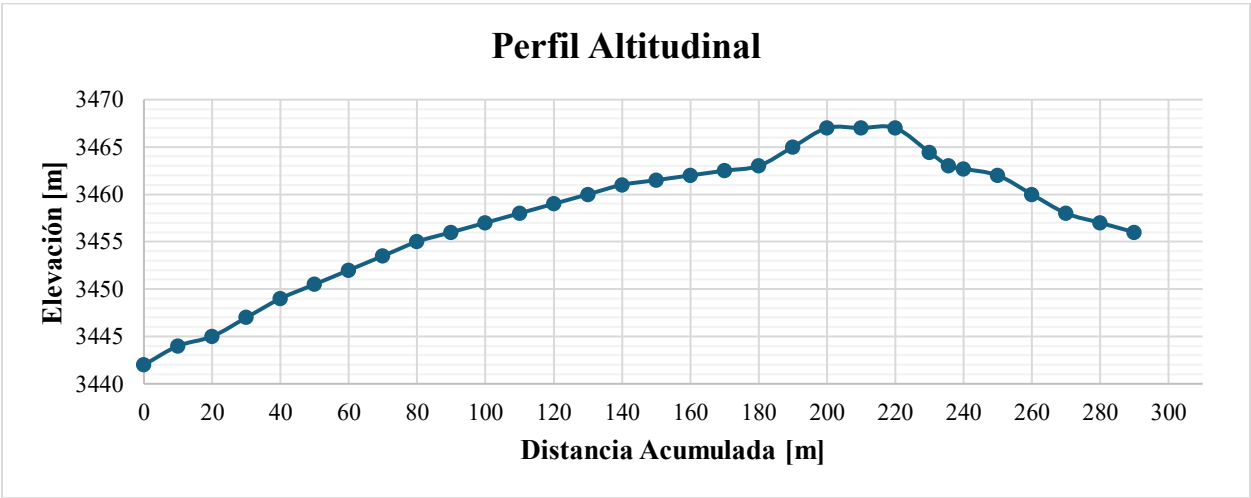
Tabla J1.

Coordenadas, distancias y altitudes de los puntos de la línea de conducción.

NOMBRE	NORTE	ESTE	ALTURA [m]	DISTANCIA [m]
C1 CAPTACIÓN	7.103824	-72.947335	3442	0
C2	7.10378	-72.947295	3444	10
C3	7.103694	-72.947299	3445	20
C4	7.103622	-72.94731	3447	30
C5	7.103518	-72.947325	3449	40
C6	7.103444	-72.947331	3451	50
C7	7.103356	-72.947345	3452	60
C8	7.103269	-72.947358	3454	70
C9	7.103188	-72.947372	3455	80
C10	7.103077	-72.947379	3456	90
C11	7.10301	-72.947394	3457	100
C12	7.10292	-72.947406	3458	110
C13	7.102833	-72.94741	3459	120
C14	7.102749	-72.947432	3460	130

C15	7.102667	-72.947443	3461	140
C16	7.102571	-72.947462	3462	150
C17	7.102486	-72.947471	3462	160
C18	7.102399	-72.947477	3463	170
C19	7.102322	-72.94749	3463	180
C20	7.102231	-72.947512	3465	190
C21	7.102157	-72.947519	3467	200
C22 - T1 TANQUE NUEVO	7.102073	-72.947539	3467	210
T2	7.102125	-72.947619	3467	220
T3	7.102154	-72.947698	3464	230
TT TANQUE ACTUAL	7.102171	-72.947738	3463	235.6
T4	7.102192	-72.947775	3463	240
T5	7.102286	-72.947811	3462	250
T6	7.102352	-72.94785	3460	260
T7	7.102437	-72.947898	3458	270
T8	7.10252	-72.947921	3457	280
T9 - A1	7.102576	-72.947922	3450	290

Grafica J1.
Perfil altitudinal de la conducción hidráulica.



Apéndice K.

Análisis físico-químico del suelo de las parcelas de estudio.

Tabla K1.

Propiedades físicas y químicas del suelo a diferentes profundidades en la parcela 1.

	COMPARATIVA DE PÁRAMETROS DE LA ZONA DE ESTUDIO		PARCELA 1		
			0 - 20	20 - 40	40 - 60
DETERMINACIÓN ANALÍTICA	Concepto	Unidad	Valor	Valor	Valor
	Porcentaje de arena	g/100 g	45.45	57.31	63.84
	Porcentaje de arcilla	g/100 g	26	16.87	15.89
	Porcentaje de limo	g/100 g	28.55	25.82	20.27
	Clase textual	No aplica	F	F-A	F-A
	Determinación de pH (1:2,5)	Unidades de pH	5.12	4.88	5.19
	Determinación de conductividad eléctrica	dS/m	0.27	0.26	0.14
	Determinación de carbono orgánico	g/100 g	9.52	9.78	2.22
	Materia orgánica (MO)	g/100 g	15.22	15.91	3.81
	Determinación de Fósforo (P) disponible	mg/kg	45.36	17.3	10.066
	Azufre (S) disponible	mg/kg	10.31	19.13	16.28
	Capacidad interc catiónico efect (CICE)	cmol(+)/kg	6.75	5.38	2.25
	Boro (B) disponible	mg/kg	0.25	0.19	0.18
	Acidez (AI+H)	cmol(+)/kg	3.15	3.82	1.48
	Aluminio (AI) intercambiable	cmol(+)/kg	2.59	3.28	1.24
	Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	2.51	0.98	0.45
	Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	0.7	0.31	0.14
	Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	0.61	0.28	0.13
	Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	<0.14	<0.14	<0.14
	Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	506.23	413.88	150.91
	Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	1.5	<1.00	<1.00
	Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	6.19	2.14	1.11
	Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	3.68	1.63	<1.00
	(*)Saturación de Calcio	%	37	18	20
	(*)Saturación de Magnesio	%	10	6	6
	(*)Saturación de Potasio	%	9	5	6
	(*)Saturación de Sodio	%	1	1	2
	(*)Saturación de Aluminio	%	38	61	55

Adoptado de: Laboratorio de AGROSAVIA

Tabla K2.*Propiedades físicas y químicas del suelo a diferentes profundidades en la parcela 2.*

	COMPARATIVA DE PÁRAMETROS DE LA ZONA DE ESTUDIO		PARCELA 2		
	Concepto	Unidad	0 - 20 Valor	20 - 40 Valor	40 - 60 Valor
DETERMINACIÓN ANALÍTICA	Porcentaje de arena	g/100 g	58.61	68.99	69.7
	Porcentaje de arcilla	g/100 g	14.35	8.6	13.96
	Porcentaje de limo	g/100 g	27.04	22.41	16.34
	Clase textual	No aplica	F-A	F-A	F-A
	Determinación de pH (1:2,5)	Unidades de pH	4.9	4.76	5.03
	Determinación de conductividad eléctrica	dS/m	0.2	0.2	0.12
	Determinación de carbono orgánico	g/100 g	15.13	10.77	2.91
	Materia orgánica (MO)	g/100 g	22.21	16.95	4.97
	Determinación de Fósforo (P) disponible	mg/kg	39.6	9.11	9.63
	Azufre (S) disponible	mg/kg	7.84	10.64	19.3
	Capacidad interc catiónico efect (CICE)	cmol(+)/kg	9.48	7.25	2.97
	Boro (B) disponible	mg/kg	0.21	0.07	0.12
	Acidez (AI+H)	cmol(+)/kg	6.94	6.32	2.36
	Aluminio (Al) intercambiable	cmol(+)/kg	6.01	5.57	2.12
	Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	1.64	0.46	0.32
	Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	0.62	0.21	0.12
	Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	0.63	0.28	0.12
	Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	<0.14	<0.14	<0.14
	Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	978.7	624.98	215.41
	Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	2.5	<1.00	<1.00
	Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	5.54	<1.00	1.76
	Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	8.95	1.74	<1.00
	(*)Saturación de Calcio	%	17	6	11
	(*)Saturación de Magnesio	%	7	3	4
	(*)Saturación de Potasio	%	7	4	4
	(*)Saturación de Sodio	%	1	1	2
	(*)Saturación de Aluminio	%	63	77	71

Adoptado de: Laboratorio de AGROSAVIA

Apéndice L.

Resultados de la curva de retención de humedad del suelo.

Tabla L1.

Curva de retención de humedad del suelo obtenida mediante cámaras de succión.

DET. ANALÍTICA	UNIDAD	P1-1 (0 - 20)	P1-2 (20 -40)	P1-3 (40 - 60)
0.1	[%p/v]	60.84	45.69	41.55
0.3	[%p/v]	57.93	41.87	39.57
1	[%p/v]	55.51	39.75	38.39
3	[%p/v]	53.85	38.48	37.33
15	[%p/v]	52.03	37.16	36.2

Adoptado de: Laboratorio de AGROSAVIA

Apéndice M.

Resultados de los análisis físico-químicos y de metales pesados del agua de riego.

Tabla M1.

Parámetros físico-químicos del agua de riego.

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	VALOR
Relación de adsorción de sodio (RAS)		0.47
Dureza	mg/l de CaCO_3	8.47
pH		7.3
Modificado0,12Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	0.03
Sólidos totales disueltos (TDS)	mg/l	16.33
Boro (B)	mg/l	0.02
Calcio (Ca^{2+})	meq/l	0.12
Magnesio (Mg^{2+})	meq/l	0.05
Potasio (K^{+})	meq/l	0.01
Sodio (Na^{+})	meq/l	0.14
Carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$)	meq/l	0
Bicarbonatos (HCO_3^{-})	meq/l	0.35
Cloruros (Cl^{-})	meq/l	0.3
Sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$)	meq/l	0.13
Fosfatos ($\text{PO}_4^{=}$)	mg/l	<0.2
Hierro (Fe)	mg/l	<0.5

Adoptado de: Laboratorio de AGROSAVIA

Tabla M2.*Concentración de metales pesados en el agua de riego.*

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	VALOR
Cadmio (Cd)	$\mu\text{g L}^{-1}$	<0.1
Arsénico (As)	$\mu\text{g L}^{-1}$	<0.2
Mercurio (Hg)	$\mu\text{g L}^{-1}$	<0.3
Plomo (Pb)	$\mu\text{g L}^{-1}$	<0.4
Cromo (Cr)	$\mu\text{g L}^{-1}$	2.49

Adoptado de: Laboratorio de AGROSAVIA

Apéndice N.

Cotizaciones de materiales y equipos.

Tabla N1.

Cotizaciones de materiales, equipos y accesorios del sistema de riego inteligente

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL	TIENDA / CIUDAD	LINK
1	BOMBA DE ARIETE	1	\$ 1,200,000	\$ 1,200,000	MERCADO LIBRE	https://n9.cl/sppig9
2	BOMBA DE ARIETE 1" 3 CAMPANAS	1	\$ 1,300,000	\$ 1,300,000	MERCADO LIBRE	https://n9.cl/gx2tsd
3	CAUDALIMETRO 1/2"	3	\$ 73,561	\$ 220,683	MERCADO LIBRE	https://n9.cl/1x0u2
4	CAUDALIMETRO 1/2"	3	\$ 73,444	\$ 220,332	YAXA	https://n9.cl/mxwm8d
5	CODOS 1 1/2" 90° PVC PRESIÓN	2	\$ 10,647	\$ 21,294	DISTRIBUCIONES PVC	https://n9.cl/147ypf
6	CODOS 1 1/2" 90° PVC PRESIÓN	2	\$ 5,063	\$ 10,126	FERRETERIA AL DÍA	https://n9.cl/qsof3
7	CODOS 1" 90° PVC PRESIÓN	3	\$ 1,900	\$ 5,700	EASY	https://n9.cl/s8j3s8
8	CODOS 1" 90° PVC PRESIÓN	3	\$ 1,413	\$ 4,239	FERRETERIA AL DÍA	https://n9.cl/dh8s4
9	CODOS 1/2" 90° PVC PRESIÓN	3	\$ 450	\$ 1,350	HEDECENTER	https://n9.cl/hxzy8
10	CODOS 1/2" 90° PVC PRESIÓN	3	\$ 500	\$ 1,500	EASY	https://n9.cl/8lwl7
11	CONTADOR 1" CERTIFICADO	1	\$ 321,000	\$ 321,000	AGROCOLOMBIA / BÓGOTA	https://n9.cl/hfuck
12	CONTADOR 1" CERTIFICADO	1	\$ 525,000	\$ 525,000	HEDECENTER	https://n9.cl/i9258
13	DISPLAY LCD 16×2 CON BACKLIGHT AZUL	1	\$ 12,900	\$ 12,900	ELECTRONILAB	https://n9.cl/s3jd8

14	DISPLAY LCD 16×2 CON BACKLIGHT AZUL	1	\$ 18,900	\$ 18,900	ELECTRONILAB	https://n9.cl/m40n8f
15	ELECTROVÁLVULAS 1/2"	1	\$ 39,500	\$ 39,500	ELECTRONILAB	https://n9.cl/gklze
16	ELECTROVÁLVULAS 1/2"	1	\$ 46,000	\$ 46,000	MACTRONICA	https://n9.cl/3ve04m
17	LLAVE BOLA 1"	2	\$ 16,700	\$ 33,400	CORONA	https://n9.cl/53o3j
18	LLAVE BOLA 1"	2	\$ 16,900	\$ 33,800	HOMECESTER	https://n9.cl/6fdu2
19	LLAVE BOLA 1/2"	3	\$ 8,700	\$ 26,100	EASY	https://n9.cl/bxqjb
20	LLAVE BOLA 1/2"	3	\$ 7,700	\$ 23,100	HOMECESTER	https://n9.cl/ed0yr
21	MANGUERA AGRICOLA RIEGO 1" CALIBRE 60 X 100 [M]	1	\$ 190,000	\$ 190,000	MERCADOLIBRE	https://n9.cl/xnckk
22	MANGUERA AGRICOLA RIEGO 1" CALIBRE 60 X 100 [M]	1	\$ 217,900	\$ 217,900	MERCADOLIBRE	https://n9.cl/xnckk
	MANGUERA RIEGO 1/2" CALIBRE 60 90 [M]	3	\$ 260,900	\$ 782,700	HOMECESTER	https://n9.cl/51cw2f
	MANÓMETRO DE GLICERINA 0-200 PSI CONEXIÓN 1/4 NPT RAIN	3	\$ 39,000	\$ 117,000	AGROCOLOMBIA / BÓGOTA	https://n9.cl/mr88b
25	MANÓMETRO GLICERINA 0 -200 PSI 2.5" CONEXIÓN 1/4" BRONCE	3	\$ 77,900	\$ 233,700	HOMECESTER	https://n9.cl/4xyix8

26	MÓDULO BLUETOOTH HC-05/HC-06	1	\$ 18,500	\$ 18,500	SERVOTRONIK	https://n9.cl/6zkub
27	MÓDULO BLUETOOTH HC-05/HC-06	1	\$ 27,900	\$ 27,900	ELECTRONILAB	https://n9.cl/q9j11
28	MÓDULO RELÉ 1 CANAL SALIDA OPTOACOPLADA 5V 30A	1	\$ 19,900	\$ 19,900	ELECTRONILAB	https://n9.cl/bgz921
29	MÓDULO RELÉ 1 CANAL SALIDA OPTOACOPLADA 5V 30A	1	\$ 12,900	\$ 12,900	ELECTRONILAB	https://n9.cl/xl5rd
30	SENSOR DE HUMEDAD EN SUELO YL-69	2	\$ 7,693	\$ 15,386	ELECTRONICOS CALDAS	https://n9.cl/hoja_datos
31	SENSOR DE HUMEDAD EN SUELO YL-69	2	\$ 21,042	\$ 42,084	MERCADOLIBRE	https://n9.cl/hoja_datos
32	TANQUE PLÁSTICO NEGRO 2000 LTS ACUAVIVA	1	\$ 659,000	\$ 659,000	EL PALUSTRE	https://n9.cl/lzu4g
33	TANQUE PLÁSTICO NEGRO 2000 LTS ACUAVIVA	1	\$ 1,109,900	\$ 1,109,900	EASY	https://n9.cl/w50276
34	TEE 1" PRESIÓN PVC	3	\$ 3,900	\$ 11,700	HECECENTER	https://n9.cl/79x51
35	TEE 1" PRESIÓN PVC	3	\$ 4,129	\$ 12,387	DISTRIBUCIONES PVC	https://n9.cl/1nud9j
36	TEE 1/2" GALVANIZADO	9	\$ 6,700	\$ 60,300	HECECENTER	https://n9.cl/3w6t5n
37	TEE 1/2" GALVANIZADO	9	\$ 8,500	\$ 76,500	MERCADO LIBRE	https://n9.cl/3w6t5n
38	TUBO AGUA GALVANIZADO DE 1 1/2" X 6 MTS	6	\$ 157,500	\$ 945,000	FERRETITO	https://n9.cl/m8ehs
39	TUBO GALVANIZADO PARA AGUA NIC505-001 DE 1 1/2" X 6 MTS	6	\$ 193,420	\$ 1,160,520	COVAL	https://n9.cl/g36jb
40	VALVULA CHEQUE HORIZONTAL 1/2	1	\$ 22,318	\$ 22,318	FALABELLA	https://n9.cl/u47uk

41	VALVULA CHEQUE HORIZONTAL 1/2	1	\$ 21,900	\$ 21,900	HOMECENTER	
42	VALVULA DE CONTROL DE PRESIÓN 1"	1	\$ 470,900	\$ 470,900	HOMECENTER	https://n9.cl/u47uk
43	MALLA DE FILTRO YEE 1"	1	\$ 32,385	\$ 32,385	VITA COMPANY S.A.S.	https://n9.cl/fcs62
44	MALLA DE FILTRO YEE 1"	1	\$ 16.800	\$ 16.800	AGROCOLOMBIA	https://n9.cl/t882k3

Tabla N2.

Presupuesto estimado de inversión del sistema de riego.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)					
PROYECTO	DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE CEBOLLA DE RAMA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN				
AÑO	2026				
CAPITULO	SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN				
ITEM	INSTALACIÓN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN				
UNIDAD	SISTEMA				
1. EQUIPOS Y/O HERRAMIENTAS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO
1.1	HERRAMIENTA MENOR	% M.O	\$ 14,007	1	\$ 14,007
	Sub - Total Equipo				\$ 14,007
2. MATERIALES DE OBRA					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	VALOR_P
2.1	BOMBA DE ARIETE 1"	[und]	\$ 1,200,000	1	\$ 1,200,000

2.2	CAUDALÍMETRO 1/2"	[und]	\$ 73,444	1	\$ 73,444
2.3	CODOS 1" 90° PVC_PRESIÓN	[und]	\$ 1,413	3	\$ 4,239
2.4	CODOS 1 1/2" 90° PVC_PRESIÓN	[und]	\$ 5,063	2	\$ 10,126
2.5	CODOS 1/2" 90° PVC_PRESIÓN	[und]	\$ 450	3	\$ 1,350
2.6	CONTADOR 1" CERTIFICADO	[und]	\$ 321,000	1	\$ 321,000
2.7	DISPLAY LCD 16×2 CON BACKLIGHT AZUL	[und]	\$ 12,900	1	\$ 12,900
2.8	ELECTROVÁLVULAS 1/2"	[und]	\$ 39,500	1	\$ 39,500
2.9	LLAVE BOLA 1"	[und]	\$ 16,700	2	\$ 33,400
2.10	LLAVE BOLA 1/2"	[und]	\$ 7,700	3	\$ 23,100
2.11	MANGUERA RIEGO 1" CALIBRE 60 100 [M]	[rollo]	\$ 260,900	1	\$ 260,900
2.12	MANGUERA RIEGO 1/2" CALIBRE 60 90 [M]	[rollo]	\$ 190,000	3	\$ 570,000
2.13	MANÓMETRO DE GLICERINA 0– 200 PSI CONEXIÓN 1/4 NPT RAIN	[und]	\$ 39,000	1	\$ 39,000
2.14	MÓDULO BLUETOOTH HC-05/HC- 06	[und]	\$ 18,500	1	\$ 18,500
2.15	MÓDULO RELÉ 1 CANAL SALIDA OPTOACOPADA 5V 30A	[und]	\$ 12,900	1	\$ 12,900
2.16	SENSOR DE HUMEDAD EN SUELO YL-69	[und]	\$ 7,693	2	\$ 15,386
2.17	TANQUE PLÁSTICO NEGRO 2000 LTS ACUAVIVA	[und]	\$ 659,000	1	\$ 659,000
2.18	TEE 1" PRESIÓN_PVC	[und]	\$ 3,900	3	\$ 11,700
2.19	TEE 1/2" GALVANIZADO	[und]	\$ 6,700	9	\$ 60,300
2.20	TUBO AGUA GALVANIZADO DE 1 1/2" × 6 MTS	[und]	\$ 157,500	6	\$ 945,000
2.21	VÁLVULA CHEQUE HORIZONTAL 1/2"	[und]	\$ 21,900	1	\$ 21,900
2.22	VÁLVULA DE CONTROL DE PRESIÓN 1"	[und]	\$ 470,900	1	\$ 470,900

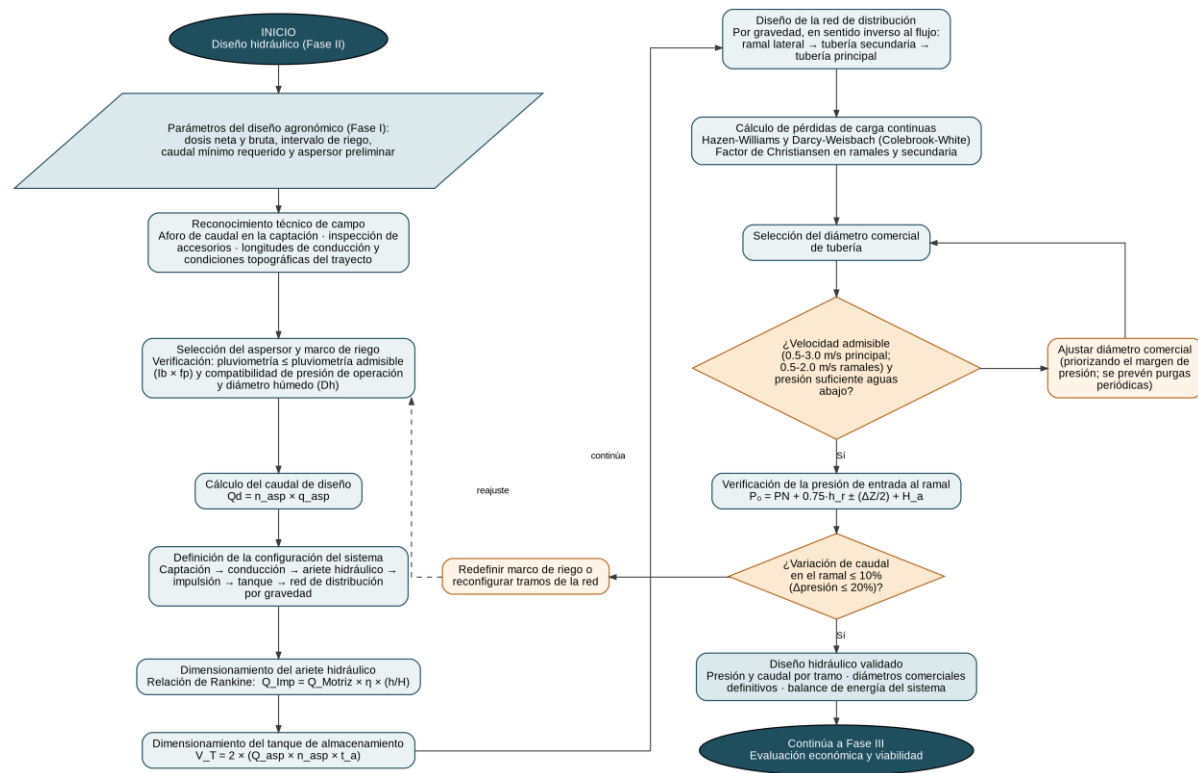
2.23	MALLA DE FILTRO YEE 1"	[und]	\$ 16,800	1	\$	16,800
Sub - Total Materiales de obra					\$	4,821,345
3. TRANSPORTE						
ITEM	MATERIAL	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	VALOR_P	
3.1	TRANSPORTE DE MATERIALES BUCARAMANGA – BERLÍN	54	1	\$ 300,000	\$	300,000
Sub - Total Transporte					\$	300,000
4. MANO DE OBRA						
ITEM	TRABAJADOR	JORNAL	PRESTACIONE S SOCIALES	RENDIMIENTO	VALOR_P	
4.1	JORNALERO	\$ 58,364	\$ 35,018	3	\$	280,145
Sub - Total Mano de obra					\$	280,145
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$	5,415,497

Apéndice Ñ.

Flujograma del diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión.

Figura Ñ1.

Diagrama de flujo del procedimiento de diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión.



Apéndice O.

Características del sistema de riego inteligente con sensores.

En este apéndice se listan los posibles implementos requeridos para la propuesta de automatización del riego planteada en la sección “Previsiones del riego inteligente” (Sección 7.9), con base en el tipo de arquitectura (sensor de humedad, controlador electrónico y electroválvula) documentado en sistemas similares de la literatura, entre ellos el desarrollado por Rivas Domínguez et al. (2022), Ferrarezi et al. (2015) y Raheja et al. (2025). Las especificaciones de cada componente corresponden a los parámetros ya definidos en la Sección 7.9 para el contexto del páramo de Berlín (sensores capacitivos, electroválvula DC-latching y alimentación fotovoltaica), y no a los componentes específicos empleados por dichos autores, cuyas arquitecturas difieren entre sí.

Tabla O1.

Posibles implementos para la propuesta de automatización del riego.

Componente	Especificación de referencia	Función
Sensor de humedad del suelo	Sensor capacitivo de humedad volumétrica, instalado a 15 y 30 cm de profundidad en la zona radicular	Mide el contenido de agua del suelo para determinar el momento de riego según el criterio de agotamiento permisible
Controlador electrónico	Microcontrolador de bajo consumo (ejemplo, tipo Arduino u homólogo)	Procesa las lecturas de los sensores y determina la activación
Módulo de accionamiento	Driver o relé compatible con carga DC de la electroválvula	Habilita la apertura o el cierre de la electroválvula a partir de la señal del controlador
Electroválvula	Electroválvula tipo DC-latching, 9-12 V DC	Controla el paso de agua hacia la red de distribución sin consumo continuo de energía
Fuente de alimentación	Panel solar fotovoltaico de 10-20 W	Suministra energía de forma autónoma
Almacenamiento de energía	Batería sellada de 12 V DC	Almacena la energía generada por el panel solar para garantizar la operación continua del sistema

Protección de componentes	Gabinete o caja de protección para intemperie (IP65 o superior)	Protege los componentes electrónicos de la humedad y las bajas temperaturas propias del páramo
---------------------------	---	--

Adoptado de: Elaboración propia, con base en Rivas Domínguez et al. (2022), Ferrarezi et al. (2015) y Raheja et al. (2025).

Tabla O2.

Componentes principales del sistema de riego inteligente con sensores implementados en estudios similares.

Componente	Modelo / tipo	Función en el sistema
Unidad de control (parcela San Miguel)	Arduino Uno Rev3	Procesa las lecturas de los sensores y controla los actuadores del prototipo
Unidad de control (parcela Chalatenango)	Arduino Mega 2560	Cumple la misma función que la unidad anterior, con mayor número de entradas y salidas disponibles
Sensor de humedad de suelo	YL-69 (electrodos resistivos)	Mide el contenido de agua del suelo mediante la variación de resistencia entre sus electrodos
Sensor de temperatura y humedad ambiental	DHT22	Registra la temperatura y la humedad relativa del aire mediante señal digital
Módulo de reloj en tiempo real	DS3231 RTC	Suministra fecha y hora para programar y restringir el horario de riego
Módulo relé	Relé de 2 canales, 5 VDC	Habilita o interrumpe la alimentación eléctrica hacia la electroválvula
Electroválvula	Electroválvula solenoide 1", normalmente cerrada (NC)	Abre o cierra el paso de agua hacia la zona cultivada
Pantalla de visualización	LCD 16×2 (controlador HD44780)	Despliega en sitio los valores de los sensores y los mensajes de estado del sistema
Módulo de comunicación inalámbrica	Bluetooth HC-06	Transmite los datos de los sensores hacia la aplicación móvil del usuario
Interfaz de usuario	Aplicación móvil desarrollada en AppInventor	Permite al usuario monitorear de forma remota las variables y el estado del riego

Adoptado de: Rivas Domínguez et al. (2022).

Tabla O3.

Especificaciones técnicas de los sensores y actuadores del sistema implementados en estudios similares.

Elemento	Parámetro	Especificación
Sensor de humedad de suelo YL-69	Material del electrodo	Estaño
	Vida útil del electrodo sumergido	3 a 6 meses
Sensor de temperatura y humedad DHT22	Alimentación	3.3 V a 6 V
	Consumo de corriente	2.5 mA
	Rango de temperatura	-40 °C a 125 °C
	Rango de humedad relativa	0 % a 100 % HR
	Resolución	0.1 °C / 0.1 % HR
Módulo RTC DS3231	Alimentación	3.3 V a 5 V DC
	Exactitud del reloj	2 ppm
	Autonomía de la batería de respaldo	10 años
Módulo relé	Voltaje máximo conmutado (AC)	240 V a 7 A, o 125 V a 10 A
	Voltaje máximo conmutado (DC)	30 V a 10 A
	Voltaje de activación de la bobina	5 VDC
	Vida útil estimada	100 000 accionamientos
Electroválvula	Material	PVC
	Conexión	1 pulgada, hembra
	Presión de trabajo	0.7 a 10 bar
Pantalla LCD 16×2	Controlador	HD44780
	Alimentación	5 V DC
	Corriente máxima	25 mA
Módulo Bluetooth HC-06	Voltaje de operación	5 V
	Alcance	10 m
	Velocidad de transmisión	1200 bps a 1.3 Mbps

Adoptado de: Rivas Domínguez et al. (2022).

Tabla O4.

Criterio de activación del riego según el porcentaje de humedad del suelo

Humedad del suelo	Condición registrada	Acción del sistema
≤ 44.6 %	El suelo requiere agua	Activa la electroválvula (riego encendido)
45 % – 50 %	Humedad sin necesidad de riego inmediato	Mantiene la electroválvula cerrada
≥ 50.3 %	Humedad máxima	Mantiene la electroválvula cerrada

Nota: el margen de condición depende de las variables CC y PMP, se recomienda trabajar sobre el valor del punto de marchitez permanente para no generar estrés al cultivo.

Apéndice P.

Plano de diseño del sistema de riego por aspersión

Figura P1.

Trazado de tuberías y ubicación de los aspersores del sistema de riego.

ACCESORIOS EN PARCELA		
ACCESORIO	CANT/PARCELA	ESQUEMA
MEDIDOR VOLUMÉTRICO	1 UBICADO EN LA TUBERÍA SECUNDARIA DEL SISTEMA	
MEDIDOR DE CAUDAL / CAUDALIMETRO	3 UBICADOS EN RAMALES 1/RAMAL	
MANÓMETRO	3 UBICADOS EN RAMALES 1/RAMAL	
TEE	12 UBICADOS: 3 EN CADA RAMAL 2 EN LA SECUNDARIA 1 EN LA PRINCIPAL	
CODO	1 EN LA SECUNDARIA (VER NOTA)	
ELECTROVÁLVULA	1 UBICADO EN SECUNDARIA	
SENSOR DE HUMEDAD (SE RECOMIENDA IMPLEMENTAR DOS SENSORES DE HUMEDAD A 15 Y 30 CM)	1 EN LA ZONA DE PARCELAS (SE RECOMIENDA IMPLEMENTAR DOS)	
LLAVE DE BOLA	3 UBICADOS EN RAMALES 1/RAMAL	
ASPERSOR TIPO 1 - MINI WOBBLER VERTICAL	9 UBICADOS EN RAMALES 3/RAMAL	
VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN	LA TUBERÍA SECUNDARIA DEL SISTEMA	

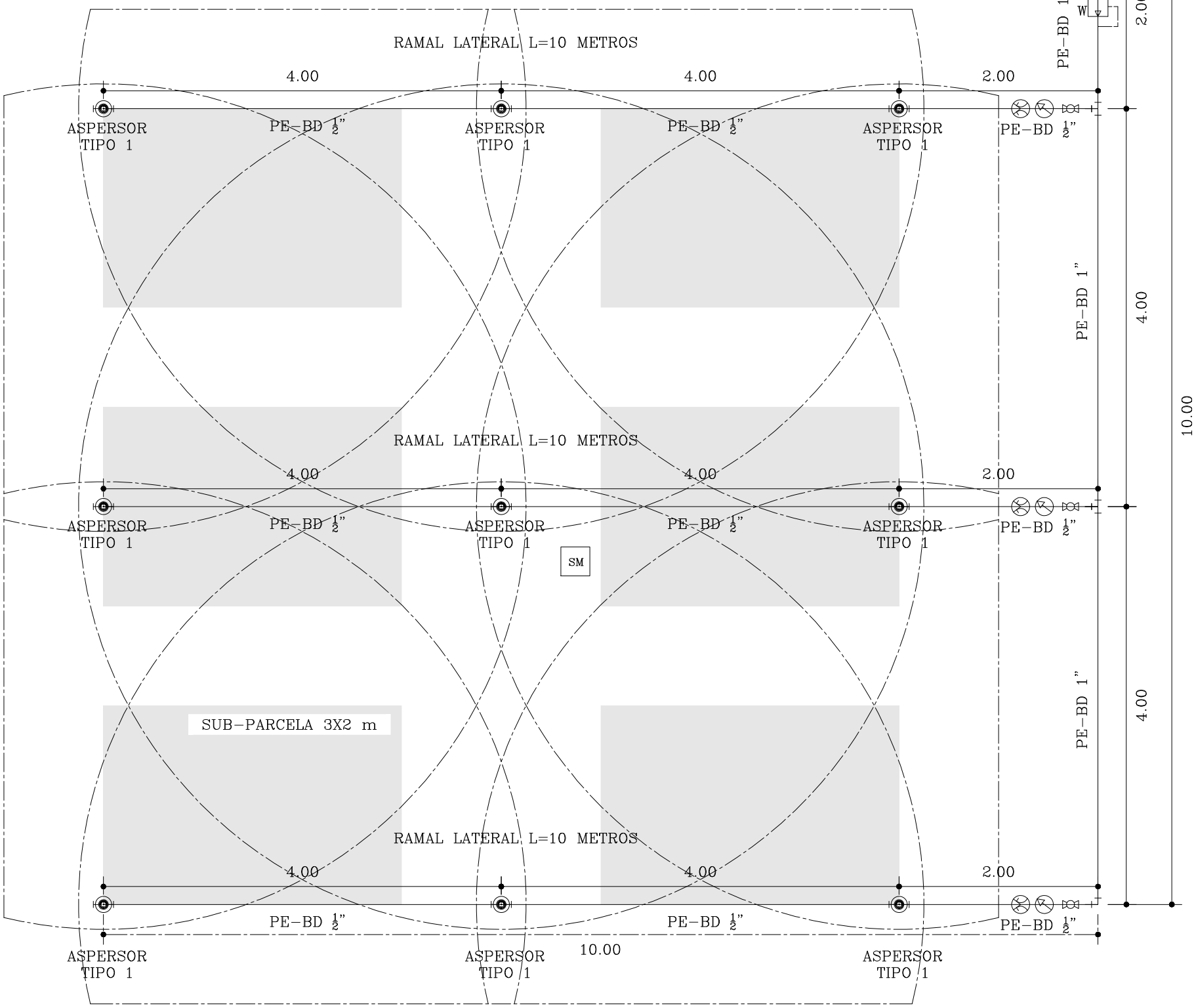
ASPERSOR TIPO 1 - MINI WOBBLER VERTICAL
FABRICANTE: SENNINGER (A HUNTER INDUSTRIES COMPANY) MODELO: MINI-WOBBLER VERTICAL BOQUILLA: #4 - CELESTE CAUDAL: 114 L/H CONEXIÓN: 1/2" NPT MACHO
RADIO HOMEDO DE 4.25 METROS A 1.38 BAR Y 0.46 METROS DE ALTURA
NOTA: SE RECOMIENDA IMPLEMENTAR UN MODELO CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES

RESUMEN DISEÑO HIDRÁULICO - TRAZADO				
TRAMO	MATERIAL	L (m)	Q (L/s)	v (m/s)
RAMAL LATERAL (3 ASPERSORES)	PE-BD. 1"	10.00	0.10	0.75
TUBERÍA SECUNDARIA	PE-BD. 1"	10.00	0.29	0.56
TUBERÍA PRINCIPAL	PE-BD. 1"	80.00	0.29	0.56
IMPULSIÓN (ARIETE - TANQUE)	PE-BD PN-6. 1/2"	235.00	0.03	0.21
MOTRIZ (CAPTACIÓN - ARIETE)	ACERO GALV. 1 1/2"	25.00	0.70	0.62

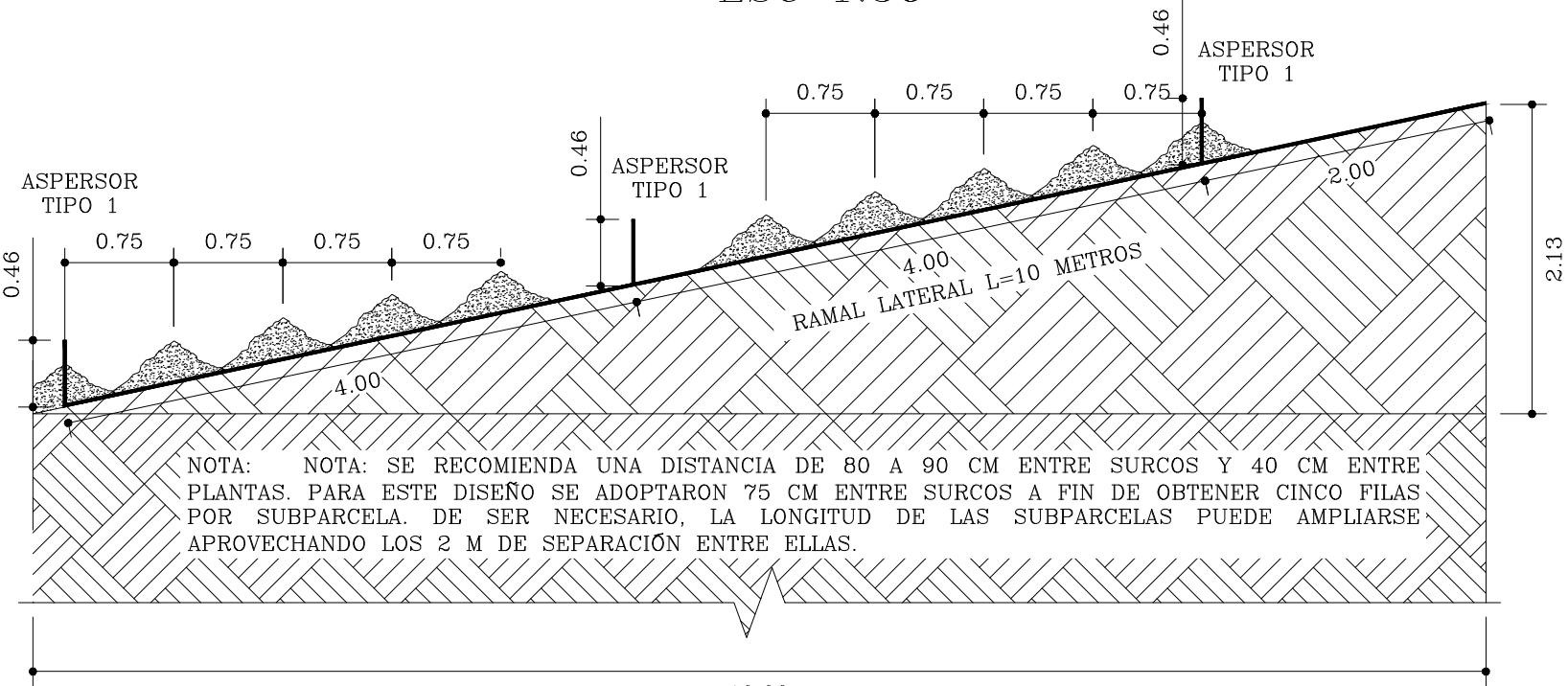
PROPIEDADES AGRONÓMICAS E HIDRÁULICAS DEL SISTEMA		
PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
SEPARACIÓN TOMADA	4.00	[m]
NÚMERO DE ASPERSORES	9.00	[und]
PLUVIOMETRÍA MÁXIMA	7.71	[mm/h]
PLUVIOMETRÍA DEL ASPERSOR	7.13	[mm/h]
TIEMPO DE APLICACIÓN	34.30	[min]
CAUDAL DEL SISTEMA	1026.00	[L/h]
VOLUMEN NECESARIO (ASPERSOR)	586.40	[L]
VOLUMEN NECESARIO ASPERSIÓN + GOTEO	1172.80	[L]

CUADRO DE COORDENADAS (UTM84-18N)			
PUNTO	NORTE	ESTE	ALTURA [M]
ZONA DE CAPTACIÓN (REPRESA EXISTENTE)	785728.67	726715.81	3442
TANQUE NUEVO	785534.88	726694.13	3467
TANQUE EXISTENTE	785545.62	726672.09	3463
BIFURCACIÓN	785592.34	726646.75	3450
P1	785723.82	726720.25	3444
P2	785714.3	726719.85	3445
P3	785706.34	726718.67	3447
P4	785694.82	726717.07	3449
P5	785686.64	726716.44	3451
P6	785676.89	726714.94	3452
P7	785667.26	726713.54	3454
P8	785658.3	726712.04	3455
P9	785646.02	726711.32	3456
P10	785638.6	726709.69	3457
P11	785628.64	726708.41	3458
P12	785619.01	726708.01	3459
P13	785609.71	726705.62	3460
P14	785600.63	726704.45	3461
P15	785590	726702.39	3462
P16	785580.6	726701.44	3462
P17	785570.97	726700.82	3463
P18	785562.45	726699.42	3463
P19	785552.37	726697.04	3465
P20	785544.18	726696.3	3467
P21	785540.59	726685.26	3467
P22	785543.76	726676.52	3464
P23	785547.93	726667.99	3463
P24	785558.31	726663.97	3463
P25	785565.59	726659.63	3462
P26	785574.97	726654.28	3460
P27	785584.14	726651.7	3458
P28	785590.33	726651.56	3457

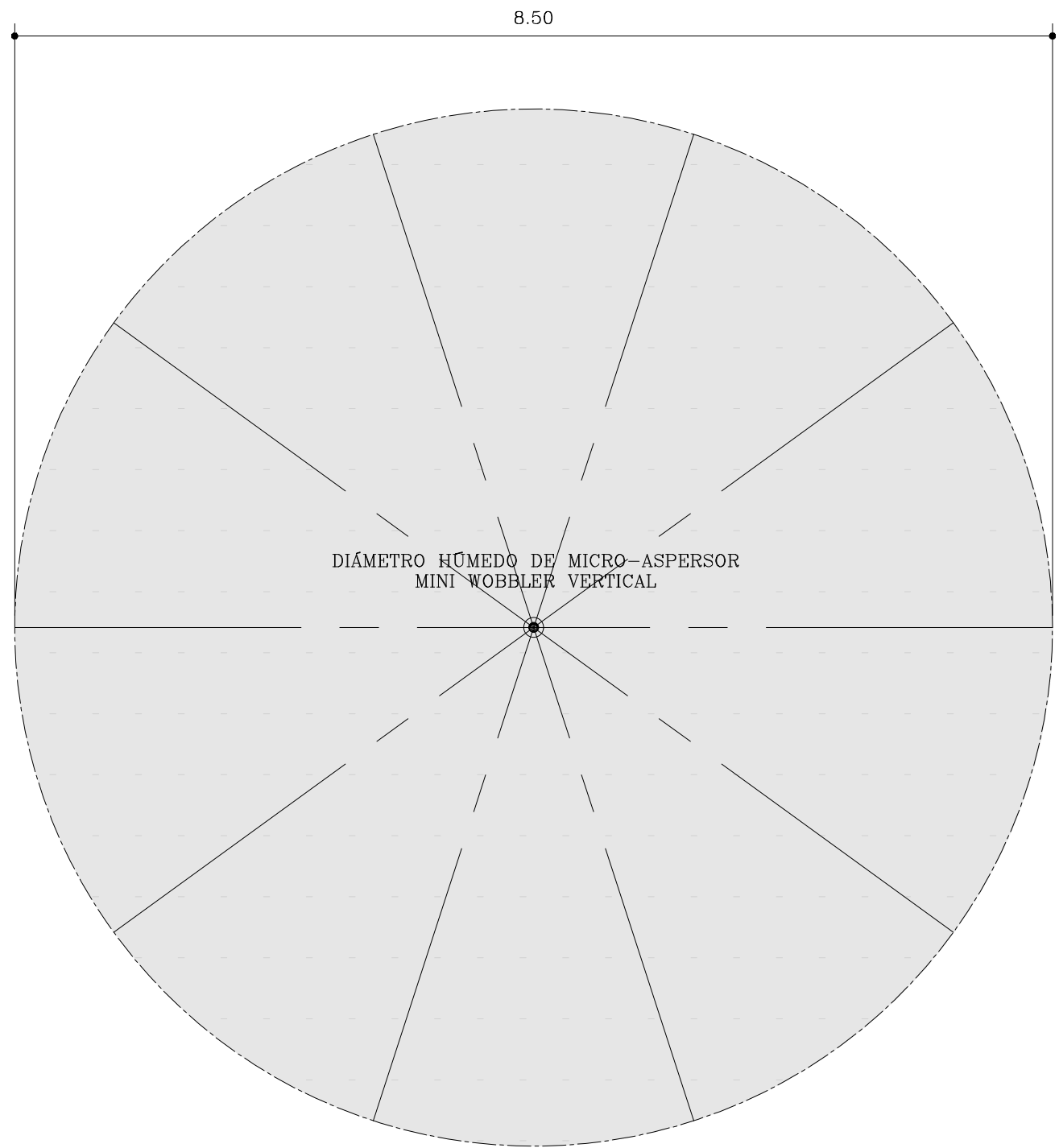
NOTA IMPORTANTE
NOTA: LAS CANTIDADES Y LOS ACCESORIOS INDICADOS EN LOS PLANOS CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LA ZONA DE PARCELAS. LA UBICACIÓN DEFINITIVA DE LOS ACCESORIOS, UNIONES Y LA POSIBLE INSTALACIÓN DE FILTROS EN LOS TRAMOS CAPTACIÓN-BOMBA DE ARIETE, BOMBA DE ARIETE-TANQUE ELEVADO Y TANQUE ELEVADO-PARCELAS DEBERÁ DEFINIRSE DE ACUERDO CON EL TRAZADO REAL EN CAMPO, CONSIDERANDO LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y LOS POSIBLES OBSTÁCULOS PRESENTES DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA.
SE RECOMIENDA REALIZAR EL REPLANTEO TOPOGRÁFICO DE LOS PUNTOS PRINCIPALES DEL PROYECTO PARA DETERMINAR CON PRECISIÓN LA LONGITUD REAL DE LA TUBERÍA Y CUANTIFICAR LOS ACCESORIOS REQUERIDOS PARA LA CORRECTA INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.



PARCELA RIEGO POR ASPERSIÓN
ESC 1:50



REPRESENTACIÓN EN PERFIL - RAMAL LATERAL
ESC 1:50



REPRESENTACIÓN DIÁMETRO HÚMEDO
ESC 1:50



CONTIENE

- 1) TRAZADO DE TUBERÍA
- 2) PARCELA RIEGO POR ASPERSIÓN
- 3) REPRESENTACIÓN EN PERFIL - RAMAL LATERAL
- 4) REPRESENTACIÓN DIÁMETRO HÚMEDO
- 5) TABLA DE ESPECIFICACIONES
- 6) RESUMEN DISEÑO HIDRÁULICO Y AGRONÓMICO
- 7) CUADRO DE COORDENADAS

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE CEBOLLA DE RAMA EN EL PÁRAMO DE BERLÍN

PORTADA - PRESENTACIÓN

JULIAN ANDRES DIAZ DUARTE
LEIDY KATERINE QUIROGA GONZALEZ

TRABAJO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR
PhD. EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA

CODIRECTOR
PhD. JOHN JAIRO MARQUEZ MOLINA

FECHA

09 DE JUNIO DE 2026

ESCALA

IND.