



Diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego parcelario del proyecto Chambo-Guano, Fase II, para el Módulo 4 en la comunidad Chingazos, Cantón Guano

Agronomic and hydraulic design of the plot irrigation system of the Chambo-Guano project, Phase II, for Module 4 in the Chingazos community, Guano Canton

Projeto agrônômico e hidráulico do sistema de irrigação de parcelas do projeto Chambo-Guano, Fase II, para o Módulo 4 na comunidade de Chingazos, Cantão Guano

Jorge Guillermo Núñez-Raza ^I

jorge.nunez@tungurahua.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0000-7868-3444>

Rosa Pamela Taco-Hernández ^{II}

rosapamelatacohernandez@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1669-4348>

Correspondencia: jorge.nunez@tungurahua.gob.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 28 de marzo de 2025 * **Aceptado:** 18 de abril de 2025 * **Publicado:** 23 de mayo de 2025

- I. Ingeniero Agropecuario, graduado en la Universidad de las Fuerzas Armadas, Magister en Riegos mención Riego Parcelario por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Experiencia en Tecnificación Colectiva de Riego y Coordinador del Convenio Internacional de Riego Tecnificado Entre la KfW (Banco de Desarrollo Alemán) y el Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua (HGPT), Ecuador.
- II. Ingeniera Civil, Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Gestión de la Construcción, Especialista en Vías (c), Experiencia en Estudio Ejecución y Fiscalización de Obras Civiles Riobamba, Ecuador.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue elaborar el diseño agronómico e hidráulico de riego parcelario en el módulo 4 en Chingazo Alto. El proyecto tiene 86 familias con 101 lotes y se encuentra ubicado en Latitud: 1°37'7" S y Longitud: 78°34'39" O, presenta 38.44 ha brutas con 35.54 ha netas. La propuesta fue elaborar: el diseño agronómico, diseño hidráulico y presupuesto. Los cultivos en la localidad fueron: maíz, fresa, alfalfa, limón, mora y tuna. La topografía y la actualización catastral fueron importantes para desarrollar los planteamientos hidráulicos, la necesidad hídrica fue 3.02 mm día⁻¹, los suelos fueron arenosos franco que permitieron tener una lámina bruta de 22.10 mm y una velocidad de infiltración promedio de 87.25 mm h⁻¹. El emisor propuesto fue un miniaspensor a una distancia de 6 x 6 m, con boquilla de 2.38 mm de diámetro y un caudal de 0.07 L s⁻¹, el tiempo de operación fue de 3 horas cada 7 días. La red parcelaria se diseñó con el software IRRICAD V.20, con la ecuación de Darcy-Weisbach para pérdidas de carga, además, la presión en hidrante se controló a 30 m.c.a. con velocidades del agua entre 0.6 y 3.0 m s⁻¹, además, los caudales promedios en parcela estuvieron entre los 1.5, 4, 6, 9, 13 y 28 L s⁻¹, cabe mencionar que, el tipo de riego que se diseñó fue fijo con tubería PVC de clase 0.63, 0.8 y 1.25 MPa. Se concluye que la zona de estudio es apta para un proyecto de riego con la propuesta de implementar limón para generar recursos con la tecnificación, es así como, el presupuesto total fue de US\$ 198535.20 con inversiones por familia de US\$ 2308.54 y por hectárea de US\$ 5586.24.

Palabras clave: Riego tecnificado; diseño agronómico; hidráulico; presupuesto.

Abstract

The objective of this work was to develop the agronomic and hydraulic design for plot irrigation in module 4 in Chingazo Alto. The project has 86 families with 101 lots and is located at Latitude: 1°37'7" S and Longitude: 78°34'39" W, presents 38.44 gross ha with 35.54 net ha. The proposal was to prepare: the agronomic design, hydraulic design and budget. The crops in the locality were: corn, strawberry, alfalfa, lemon, blackberry and prickly pear. Topography and cadastral update were important to develop the hydraulic approaches, the water requirement was 3.02 mm day⁻¹, the soils were sandy loam that allowed to have a gross depth of 22.10 mm and an average infiltration rate of 87.25 mm h⁻¹. The proposed emitter was a mini-sprinkler at a distance of 6 x 6 m, with a 2.38 mm diameter nozzle and a flow rate of 0.07 L s⁻¹, the operating time was 3 hours

every 7 days. The plot network was designed with IRRICAD V.20 software, with the Darcy-Weisbach equation for head losses, in addition, the hydrant pressure was controlled at 30 m.c.a. with water speeds between 0.6 and 3.0 m s⁻¹, in addition, the average flow rates on the plot were between 1.5, 4, 6, 9, 13 and 28 L s⁻¹, it is worth mentioning that the type of irrigation that was designed was fixed with PVC pipe of class 0.63, 0.8 and 1.25 MPa. It is concluded that the study area is suitable for an irrigation project with the proposal to implement lemon cultivation to generate revenue through modernization. The total budget was US\$198,535.20, with investments per family of US\$2,308.54 and per hectare of US\$5,586.24.

Keywords: Modernized irrigation; agronomic design; hydraulics; budget.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver o projeto agronômico e hidráulico para irrigação de parcelas no módulo 4 em Chingazo Alto. O projeto conta com 86 famílias com 101 lotes e está localizado na Latitude: 1°37'7" S e Longitude: 78°34'39" W, possui 38,44 hectares brutos com 35,54 hectares líquidos. A proposta era elaborar: projeto agronômico, projeto hidráulico e orçamento. As culturas cultivadas na área eram: milho, morangos, alfafa, limões, amoras e atum. A topografia e a atualização cadastral foram importantes para o desenvolvimento das abordagens hidráulicas; a necessidade hídrica foi de 3,02 mm dia⁻¹, os solos eram franco-arenosos o que permitiu uma profundidade bruta de 22,10 mm e uma taxa média de infiltração de 87,25 mm h⁻¹. O emissor proposto foi um mini-aspersor a uma distância de 6 x 6 m, com bico de 2,38 mm de diâmetro e vazão de 0,07 L s⁻¹, o tempo de operação foi de 3 horas a cada 7 dias. A rede de plotagem foi projetada usando o software IRRICAD V.20, usando a equação de Darcy-Weisbach para perdas de carga. A pressão do hidrante foi controlada em 30 m.c.a. com velocidades de água entre 0,6 e 3,0 m s⁻¹, além disso, as vazões médias na parcela ficaram entre 1,5, 4, 6, 9, 13 e 28 L s⁻¹, vale ressaltar que o tipo de irrigação que foi projetado foi fixado com tubo de PVC de classe 0,63, 0,8 e 1,25 MPa. Conclui-se que a área de estudo é adequada para um projeto de irrigação com a proposta de implementação do limão para geração de recursos com a tecnologia. Assim, o orçamento total foi de US\$ 198.535,20 com investimentos por família de US\$ 2.308,54 e por hectare de US\$ 5.586,24.

Palavras-chave: Irrigação técnica; desenho agronômico; hidráulico; orçamento.

Introducción

El presente proyecto se enfoca a solucionar la problemática de falta de diseños de riego tecnificado para el módulo 4 del sector Chingazo Alto, en este sentido, se plantea desarrollar un diseño agronómico e hidráulico como herramientas de gestión para los directivos de la Junta de Riego para acceder a un presupuesto que les permita implementar el proyecto. Además, este estudio presenta las siguientes variables: a) Diseño agronómico, b) Diseño hidráulico y c) Presupuesto. Cabe mencionar que, este estudio se desarrolló en la provincia de Chimborazo, cantón Guano, sector Chingazo Alto.

En lo concerniente al módulo 4, el mismo se localiza en Latitud: 1°37'7" S; Longitud: 78°34' 9" O tiene 86 familias (GAD Guano, 2019, p.10), con una temperatura anual media de 13°C y recibe poca precipitación (< 500 mm año-1); además, en ella se producen cultivos tolerantes a la sequía como maíz (*Zea mays* L.), tuna (*Opuntia ficus-indica*), alfalfa (*Medicago sativa*), mora (*Rubus glaucus*), limón (*Citrus lemon*) y fresa (*Fragaria vesca*), pero con niveles productivos bajos (GAD Guano, 2019, p.15).

Por otro lado, es evidente que la carencia de diseños de sistemas de riego genera una falta de acceso al recurso económico y una ineficiente gestión del agua; lo que conlleva a la localidad a tener: agricultura supeditada al secano, baja productividad de los cultivos, compra de agua por tanqueros, alto grado de migración, campos y terrenos abandonados e improductivos, bajos ingresos económicos de las familias y aumento de la pobreza en la zona.

En la actualidad, el proyecto que se desarrolla en Los Chingazos tiene un canal principal de hormigón revestido de 7.4 km, el mismo que culmina en los reservorios de almacenamiento de agua; esto permite a la comunidad tener más cerca el recurso hídrico y poder irrigar las 491.28 ha distribuidas en 12 módulos. (MAG, 2020, p.12); sin embargo, es necesario diseñar e instalar las redes que conduzcan el agua a cada beneficiario.

En tal sentido, el siguiente paso es proponer un diseño de riego tecnificado parcelario para cada usuario con la finalidad de mejorar la eficiencia de aplicación del 30% (riego inundación) a un 85% (riego por aspersión) (Calvache, 2012, p.75). Por otro lado, resulta necesario trabajar en estos diseños porque es el primer paso para separar una brecha de inequidad socioeconómica. Según Hidalgo (2018, p.215), en el canal de riego Tabacundo la mayoría de los sistemas de producción campesinos e indígenas fueron privados del acceso al riego por la poca capacidad de ejercer poder en la distribución del recurso o su incapacidad de gestión.

Se realizó la actualización catastral con la utilización de la base de datos del GAD Municipal de Guano y las visitas en territorio.

Se definió la superficie de cada cultivo, mediante la utilización de la fotografía aérea, la misma que se obtuvo con la ayuda de un dron a una distancia de muestra del suelo menor a 10 cm.

Los datos se sistematizaron en un documento bajo el formato SIG y se obtuvieron las tablas correspondientes a cultivo, superficie y porcentaje.

Láminas netas

Capacidad de campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Para el cálculo de los parámetros de láminas netas, la profundidad del suelo para el análisis fue de 30 cm. Aquí fue necesario determinar la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Para estas variables la metodología de intervención fue la siguiente (Calvache, 2012, p.58)

Se identificó una superficie de 1 x 1 m, posterior a esto con un azadón se eliminó toda la vegetación y los primeros cm del suelo (formando un cubo).

Se construyó un bordo de tierra apisonada de unos 10 cm de altura, rodeando dicho cuadrado.

Se colocó agua en el cuadrado de forma de asegurar la saturación del perfil.

Se cubrió el cuadrado con un plástico (aproximadamente 2 x 2 m) para prevenir las pérdidas por evaporación y los aportes por precipitación.

Luego de 48 h, se retiró el plástico y se sacaron muestras a 30 cm. Las muestras (200 g) se extrajeron con un barreno (Gráfico N° 2).

La toma de muestras se realizó en tres zonas: alta, media y baja (Tabla N°1) (Gráfico N°3) y se procedió a calcular con un analizador de humedad MA50X2ICA-WH, durante tres días consecutivos.

Tabla N° 1. Zonas de estudio y puntos de toma de muestras

Zonas	Cota inicial (msnm)	Cota final (msnm)
Alta	2.706	2.681
Media	2.681	2.656
Baja	2.656	2.631

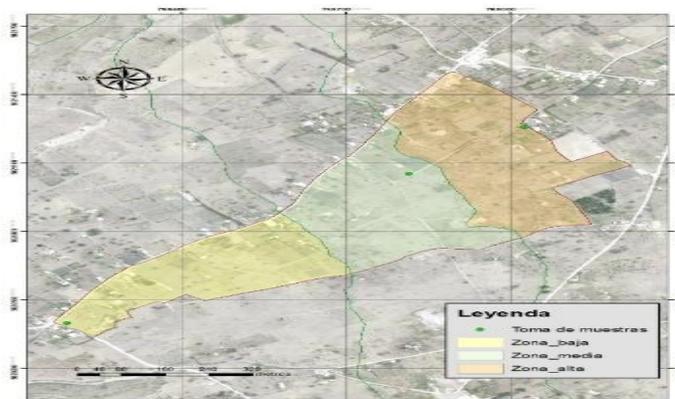
Fuente: Autores

Gráfico N° 2. Metodología de (CC) y (PMP)



Fuente: Autores

Gráfico N° 3. Zonas de estudio y puntos de toma de muestras



Fuente: Autores

Densidad aparente

La metodología de trabajo fue la siguiente (Pizarro, 1996, p.122) (Gráfico 3):

Se eligieron los puntos de toma en la zona alta, media y baja.

Con un azadón se eliminó toda la vegetación y los primeros cm del suelo de una zona de aproximadamente 50 x 50 cm. La superficie de este cuadrado se la niveló hasta que quedó horizontal (nivel de carpintero).

Después de limpiar y nivelar la superficie, con una pala de corte se marcó un cuadrado de aproximadamente 20 x 20 cm. Posterior a esto se comenzó a extraer el suelo de su interior con una pala de jardinero hasta alcanzar los 30 cm, colocándolo en una bolsa de plástico.

Se forró el pozo con plástico y se llenó con agua hasta que el nivel enrasó el mismo, esto con la ayuda de una jarra graduada.

La tierra extraída de la excavación se pesó en la totalidad y una pequeña cantidad se la envió al laboratorio para el pesado y secado correspondiente, para tener el resultado de peso seco.

Gráfico N° 3. Metodología densidad aparente



Fuente: Autores

Agua disponible (AD)

Para calcular el agua disponible en el suelo, según Fuentes (1999, p.56), expone la siguiente ecuación [1]:

$$AD = \% \text{ de CC} - \% \text{ de PMP} \quad [1]$$

Dónde:

AD= Agua Disponible

% de CC = Contenido de Humedad (%) a Capacidad de Campo

% de PMP = Contenido de Humedad (%) a Punto de Marchitez Permanente

Lámina de agua aprovechable (LA)

La lámina de agua aprovechable, según Calvache (2012, p.123), se calculó con la ecuación [2]:

$$LA = (\% \text{ de CC} - \% \text{ de PMP}) \times da \times r \quad [2]$$

Dónde:

LA = Lámina de Agua Aprovechable.

% de CC = Contenido de Humedad (%) a capacidad de campo.

% de PMP = Contenido de Humedad (%) a punto de marchitez permanente.

da = Densidad aparente (g mL⁻¹)

r = Profundidad de enraizamiento (cm) (depende de la etapa fenológica de los cultivos).

Lámina neta (LN)

Para la lámina neta, según Baca (2021, p.25), se trabajó con la ecuación [3]:

$$LN = LA \times fa \text{ [3]}$$

Dónde:

LN = Lámina neta.

LA = Lámina de agua aprovechable.

fa = factor de secamiento.

Lámina Bruta (LB)

La lámina bruta, según Baca (2021, p.25), se calculó con la ecuación [4]:

$$LB = LN/Ef \text{ [4]}$$

Dónde:

LB = Lámina bruta.

LN = Lámina neta.

Ef = Eficiencia del método de riego.

Infiltración

El método que se trabajó en el estudio fue el de “Infiltrómetro de doble cilindro” (Gráfico N° 4).

Para el desarrollo de la prueba se trabajó con los siguientes pasos:

Las pruebas de infiltración se realizaron en las tres zonas (alta, media y baja).

Se colocó el cilindro de doble anillo en el lugar elegido y se introdujo en el suelo mediante golpes con combo hasta que penetró 15 cm.

Se niveló con un “nivel de carpintero” para tener en una posición vertical.

Se llenó de agua el espacio comprendido entre ambos cilindros hasta una altura de 5 – 10 cm.

Se colocó un plástico dentro del cilindro interior y se llenó de agua hasta una la altura de 15 – 20 cm, se retiró con cuidado el plástico y se marcó el nivel del agua en el cilindro.

Se anotó en el formato de registro la hora en el que marcó el nivel inicial del agua.

Las primeras lecturas se las realizó con intervalos de tiempo de 1 min, después cada 3 – 5 – 10 – 15 – 30 y 60 min.

Cuando el agua bajó hasta una altura de unos 3 cm, se rellenó el cilindro central hasta el nivel inicial.

Durante toda la prueba, el agua entre en los dos cilindros mantuvo su nivel para evitar el movimiento lateral.

Gráfico N° 4. Proceso para la obtención de datos de infiltración



Fuente: Autores

Para el cálculo de la velocidad de infiltración e infiltración acumulada, se trabajó con el modelo Kostiakov (1932, p.12), modificado por Lewis (ecuación [5]):

$$I = K * t^n \quad [5]$$

Dónde:

I = velocidad de infiltración (cm h-1).

K = parámetro que representa la velocidad de infiltración cuando el tiempo es 1 min.

t = tiempo acumulado de infiltración (min).

n = parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo.

Necesidades totales

Cédula de cultivos

La cédula de cultivos se definió a través de la fotografía aérea, la misma se sistematizó en un archivo GIS y se procesó en una hoja de cálculo para obtener los cuadros finales con superficie y porcentaje.

Precipitación

Para el cálculo de precipitación se obtuvo los datos de dos estaciones meteorológicas (Tabla N° 2).

Tabla N° 2. Estaciones meteorológicas

Estación	Código	Distancia a la zona de estudio (m)	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
Riobamba-Aeropuerto	M057	7695	1°39'09" S	78°39'07" O
Pungales	M243	3500	1°35'09" S	78°34'07" O

Fuente: Autores

Para calcular de la precipitación se trabajó con la siguiente metodología:

Los datos se tabularon en formato Excel.

Los datos obtenidos de la estación M057 fue un historial de 19 años y para la estación M243 fue de 17 años.

El cálculo se realizó con la utilización del software CROPWAT 8.0 a una probabilidad del 60% de ocurrencia.

Se interpolaron los datos de las dos estaciones con la ayuda del software GIS con la herramienta IDW (Distancia Inversa Ponderada).

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Para desarrollar esta variable se trabajó de la siguiente manera:

Se obtuvo los datos de las estaciones meteorológicas, que fueron: temperatura (máxima y mínima), humedad relativa (promedio), horas de sol (promedio), velocidad del viento (promedio). Se tabularon los datos en formato Excel.

Los datos que se trabajaron para el estudio fueron de 26 años para la estación M057 y de 25 años para la estación M243.

Para el cálculo de la ET_o se trabajó con el método Penman-Monteith (Software FAO-CROPWAT 8.0). Los datos de ET_o de las 2 estaciones se interpolaron mediante la utilización de la herramienta GIS mediante el método IDW.

Coefficiente de cultivo (K_c)

Se utilizó el método de Hargraves (1983, p.6), que tiene relación con el ciclo de cultivo y los meses de siembra y cosecha (ecuación [6]):

$$K_c = 0.01335 + 0.04099 \text{ } \odot - 0.00040 \text{ } \odot^2 \quad [6]$$

⊙ = Está en relación con el ciclo de cultivo, los días desde la siembra hasta la cosecha dividido para 365.

Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Para el cálculo de esta variable se trabajó con la ecuación expuesta [7] (Allen, 2006, p.15):

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad [7]$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración de cultivo.

ET_o = Evapotranspiración de referencia.

K_c = Coeficiente de cultivo.

Necesidad neta (N_n)

La necesidad neta, según Baca (2021, p.12), se calculó con la ecuación [8]:

$$N_n = ET_c - P \quad [8]$$

Dónde:

N_n = Necesidad neta.

ET_c = Evapotranspiración del cultivo.

P = Precipitación.

Necesidad total (N_t)

Las necesidades o demandas totales, según Baca (2021, p.12), se calcularon con la ecuación [9].

$$N_t = N_n / E_f \quad [9]$$

Dónde:

N_t = Necesidad total.

N_n = Necesidad neta.

E_f = Eficiencia del método de riego.

Método de riego y emisor

Para seleccionar el método y emisor en la localidad se contemplaron los siguientes parámetros: Características físicas del suelo, relieve y clima de la zona (zona agroecológica), tipo de cultivo, velocidad del viento, presiones de operación y ángulo de alcance.

Diseño hidráulico parcelario

La metodología del diseño hidráulico parcelario se detalla a continuación:

La selección del método de riego y emisor fue con base en el cultivo a implementarse y la socialización en territorio.

El emisor a diseñar posee un rango de presiones de operación expuesto por el fabricante, al momento del diseño se garantizaron estas presiones.

Se necesitó como base la topografía y la actualización catastral para el diseño.

El diseño que se realizó fue bajo la metodología lote por lote con el software IRRICAD (Nelson Irrigation).

Los parámetros hidráulicos que se consideraron a nivel parcelario fueron:

Caudales de consumo (10% de variación).

Velocidades máximas y mínimas de la línea principal (0.5 - 2.5 m s⁻¹).

Presiones de operación (20% de variación) y pérdidas de carga (Darcy Weisbach).

Los diámetros y espesor de tuberías se consideraron de acuerdo con los caudales, velocidades y presiones.

Presupuesto

El presupuesto se calculó con base en las cantidades de obra y los análisis de precios unitarios, además, se diferenciaron los costos directos, indirectos (gastos generales fijos, variables, utilidad) y los impuestos.

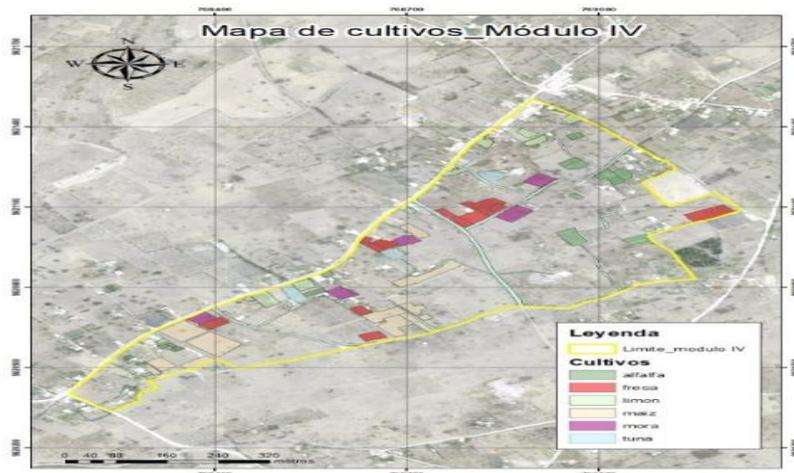
Resultados y Discusión

Diseño Agronómico

Patrón de cultivos

El Patrón de cultivos en el módulo 4 se definió por: maíz con 2.10 ha, fresa con 1.22 ha, alfalfa con 0.89 ha, limón con 0.74 ha, mora con 0.70 ha y tuna con 0.38 ha (Gráfico N° 7).

Gráfico N° 7. Patrón de cultivos del módulo 4



Fuente: Autores

Láminas netas

Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Los resultados para las tres zonas de estudio en el módulo 4, están en función de la textura del suelo. Según Vega (2020, p.14) indica que los suelos con textura arenosa franca tienen un valor de Capacidad de Campo entre 9.81 a 9.93%, estos valores son coherentes al comparar los del presente

estudio. Por otro lado, los suelos arenosos tienen un porcentaje de Capacidad de Campo entre 6-14% con una media de 9% (Cadena, 2017, p.22). De acuerdo con las zonas de estudio en el módulo 4 la Capacidad de Campo está en el rango de 9.14 y 11.10% (Tabla N° 5).

Densidad aparente

Los valores de densidad aparente para el módulo 4 están en relación con la textura de suelo, cuyos valores oscilan entre 1.38 y 1.45 g mL⁻¹ (Tabla 4). Según Calvache (2012, p.125), indica que, los suelos de textura liviana (arenosos) tienen una densidad aparente entre 1.4 a 1.6 g mL⁻¹. Así mismo, Baca (2021, p.15), menciona que suelos arenosos tienen una densidad aparente entre 1.4 a 1.65 g mL⁻¹. Por lo tanto, para los dos autores los resultados están dentro de los parámetros.

Tabla N° 4. Densidad aparente del módulo 4

Variable	Zonas		
	Alta	Media	Baja
Peso fresco total muestra (g)	11260	9670	11215
Peso fresco submuestra (g)	1869	1977	1324
Peso seco submuestra (g)	1819	1834	1241
Volumen de agua en el pozo (mL)	7675	6500	7250
Peso seco total muestra (g)	10958.77	8970.55	10511.94
Densidad aparente (g mL ⁻¹)	1.43	1.38	1.45

Fuente: Autores

Agua disponible

El agua disponible para las tres zonas está en el rango de 4.60 y 5.55% (Tabla 5), estos resultados se corroboran según Vega (2020, p.17), quien menciona que suelos arenosos tienen rangos de humedad gravimétrica entre el 4 y 7%. Además, para suelos arenosos la humedad disponible está entre 4 y 6% (Cadena, 2017, p.18).

Tabla N° 5. Densidad aparente del módulo 4

Zona	Textura	CC (%)	PMP (%)	Agua Disponible (%)
Alta	Arenosa Franca	9.19	4.60	4.60
Media	Arenosa Franca	9.14	4.57	4.57
Baja	Arenosa Franca	11.10	5.55	5.55

Fuente: Autores

Lámina de agua aprovechable (LAA)

Una de las variables a considerar en el cálculo de la lámina de agua aprovechable es el enraizamiento de los cultivos (r), para el estudio del módulo 4 se trabajó con un promedio aproximado de 60 cm (Tabla N° 6).

Tabla N° 6. Enraizamiento de los cultivos del módulo 4

Cultivo	Enraizamiento (cm)
Maíz	30
Fresa	25
Alfalfa	100
Limón	120
Mora	50
Tuna	40
Promedio	60.83

Fuente: Autores

Los resultados de la lámina de agua aprovechable para las tres zonas de estudio muestran valores que se sujetan entre los 37 y 48 mm aproximadamente (Tabla N° 8), según Baca (2021, p.18), indica que suelos de textura liviana (arenosos) alcanzan láminas de agua aprovechable de 38 mm a una profundidad radicular de 300 mm.

Lámina neta (LN)

La lámina neta presenta los resultados acordes a un factor de secado del 50% (Tabla N° 8), según Tarjuelo (2017, p.98), indica que para especies frutales el factor de secado es del 0.50, mientras que Fuentes (1999, p.143), menciona que, en cultivos de mora y cítricos se expone un factor de secado entre 0.4 y 0.6.

Lámina bruta (LB)

La eficiencia del método de riego forma parte para el cálculo de esta variable, es así como, al tener cultivos que se pueden irrigar bajo los métodos de aspersión y goteo, se tomó el dato del 85% (Tabla 7). La propuesta de eficiencia del método es conservadora, porque según Pizarro (1996, p.178), el riego por aspersión alcanza un 85% de eficiencia y el riego por goteo un 95%. Además, según Calvache (2012, p.162), indica que riego el riego por aspersión sin la presencia de vientos alcanza una eficiencia del 85% y en goteo un 95%.

Tabla N° 7. Eficiencia del método de riego del módulo 4

Cultivo	Método de riego	Eficiencia método (%)
Maíz	Aspersión	80.00
Fresa	Goteo	90.00
Alfalfa	Aspersión	80.00
Limón	Goteo	90.00
Mora	Goteo	90.00
Tuna	Goteo	90.00
Promedio		86.67
Aproximado		85.00

Fuente: Autores

Los resultados de lámina bruta están en el promedio de 22.10 mm al 85% de eficiencia del método de riego (Tabla N° 8).

Tabla N° 8. Lámina bruta del módulo 4

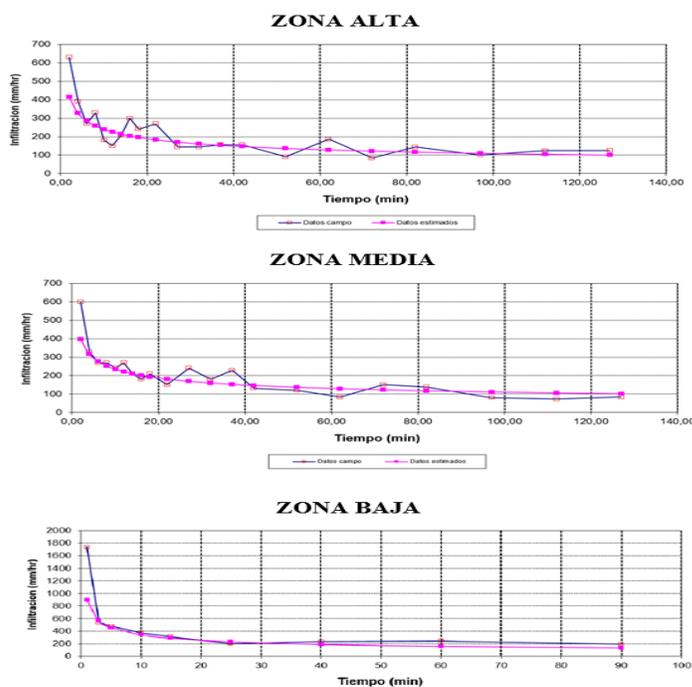
Zona	Densidad aparente (g mL ⁻¹)	enraizamiento (cm)	Factor de secado (f)	Lámina de Agua Aprovechable (mm)	Lámina Neta (mm)	Eficiencia de riego (%)	Lámina Bruta (mm)
Alta	1.43	60	0.45	39.37	17.71	0.85	20.84
Media	1.38	60	0.45	37.84	17.03	0.85	20.03
Baja	1.45	60	0.45	48.28	21.73	0.85	25.56
Media	1.42	60	0.45	41.75	18.79	0.85	22.10

Fuente: Autores

Infiltración

Las velocidades de infiltración para las zonas alta, media y baja del módulo 4 son 85.20, 87.68 y 88.87 mm h⁻¹ (87.25 mm promedio), respectivamente. Se observa que las mismas superan los 50 mm h⁻¹, esto se debe a la textura de los suelos que son arenosas francas, según Fuentes (1999, p.120), indica que suelos de textura liviana las velocidades básicas de infiltración son mayores a los 50 mm h⁻¹, tal como lo corrobora Calvache (2012, p.167), quien indica que en suelos arenosos la velocidad de infiltración es mayor al dato anterior (Gráfico N° 8).

Gráfico N° 8. Curva de velocidad de infiltración del módulo 4



Fuente: Autores

Necesidades totales

Cédula de cultivos

La cédula se expresa por la predominancia de los cultivos en la localidad, para el caso particular del módulo 4, el maíz, la fresa y la alfalfa son los de mayor prevalencia, sin embargo, los frutales como el limón, la mora y la tuna están presentes como alternativas económicas en la zona. Cabe indicar que, el área potencialmente a regar puede incrementarse con las 23.60 ha de suelo en descanso más las 4.04 ha de barbecho o residuos de cosecha. El barbecho hace referencia a los residuos de cosecha, principalmente de cultivos transitorios. Para finalizar, en un mínimo porcentaje se presentan las hortalizas, pero su destino es para autoconsumo (Tabla N° 8).

Tabla N° 8. Cédula de cultivos del módulo 4

Descripción	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Maíz	2.10	5.91
Fresa	1.22	3.43
Alfalfa	2.00	5.63
Limón	1.50	4.22
Mora	0.70	1.97

Tuna	0.38	1.07
Suelo en descanso	23.60	66.40
Barbecho	4.04	11.37
Total	35.54	100.00

Fuente: Autores

Por otro lado, se determinaron los meses de siembra de acuerdo al ciclo de cada cultivo, es así como, para los cultivos perennes (fresa, alfalfa, limón, mora y tuna) se da para todo el año, el único cultivo de ciclo corto en el módulo 4 es el maíz, cuyo mes de siembra es en octubre y la cosecha se la realiza a fines de marzo. Para el caso del maíz se tiene un número de cosechas anuales de 1.86, este número de cosechas en el año es el resultado de un mes de descanso, es decir, no se utiliza el cultivo a mes seguido para tener 2 en el año.

Precipitación

Los datos de precipitación real para las dos estaciones y la interpolación están en un rango de 420 y 540 mm, para efectos de diseño la precipitación efectiva al 60% no supera los 500 mm anuales (Tabla N° 9), es así como, según Varela et al., (2020, p.17), indican que las zonas secas en el Ecuador tienen una precipitación inferior a los 500 mm por año. Por tal razón, a esta zona de estudio se considera una zona seca.

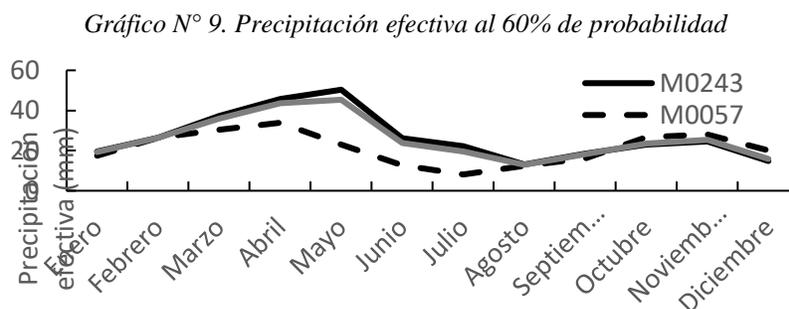
Tabla N° 9. Precipitación real y efectiva (60%) estación Pungales (M0243), Riobamba Aeropuerto (M0057) e Interpolación IDW

Mes	Estación M0243		Estación M0057		Interpolación IDW	
	Precipitación real (mm)	Precipitación efectiva-60% (mm)	Precipitación real (mm)	Precipitación efectiva-60% (mm)	Precipitación real (mm)	Precipitación efectiva-60% (mm)
Enero	32.70	19.62	29.20	17.52	32.10	19.26
Febrero	44.10	26.46	44.10	26.46	44.13	26.48
Marzo	62.00	37.20	50.70	30.42	60.03	36.02
Abril	76.30	45.78	56.50	33.90	72.63	43.58
Mayo	83.90	50.34	38.50	23.10	75.58	45.35
Junio	43.50	26.10	21.30	12.78	39.83	23.90
Julio	36.80	22.08	13.50	8.10	32.48	19.49
Agosto	21.80	13.08	20.70	12.42	21.57	12.94
Septiembre	30.90	18.54	27.00	16.20	30.18	18.11
Octubre	38.20	22.92	44.40	26.64	39.33	23.60
Noviembre	41.10	24.66	46.80	28.08	42.13	25.28

Diciembre	24.80	14.88	33.30	19.98	26.28	15.77
Total	536.10	321.66	426.00	255.60	516.27	309.78

Fuente: Autores

Para complementar la tabla, se puede observar que los meses de menor precipitación son los de junio, julio y agosto, mientras que, los meses de mayor precipitación son abril y mayo (Gráfico 9). Según el MAG (2020, p.45), los meses de presencia de lluvias en el cantón Guano son abril y mayo con valores mínimos que no superan los 50 mm por mes.



Fuente: Autores

Evapotranspiración (ETo)

El valor anual de la interpolación fue de 1325.96 mm (Tabla N° 10), este valor está dentro del rango de la localidad, en este sentido, según el MAG (2020, p.08), para el proyecto Los Chingazos, los valores de evapotranspiración fueron de 1429.3 para la estación Riobamba “La Granja” y 1566.1 mm en la estación “San Gerardo” (tanques clase A).

Tabla N° 10. Evapotranspiración (ETo) de la estación Pungales (M0243), Riobamba-Aeropuerto (M0057) e Interpolación con método IDW

Mes	Estación		Interpolación IDW (mm)
	M0243 (mm)	M0057 (mm)	
Enero	129.84	138.35	131.38
Febrero	89.70	117.95	94.81
Marzo	114.06	126.85	116.36
Abril	100.50	119.26	103.88
Mayo	102.17	114.44	104.38
Junio	94.36	108.22	96.86
Julio	91.82	115.71	96.14
Agosto	104.79	127.30	108.93

Septiembre	110.01	124.63	112.70
Octubre	116.07	133.02	119.18
Noviembre	123.15	133.62	125.07
Diciembre	111.73	136.42	116.27
Total	1288.20	1495.77	1325.96

Fuente: Autores

Coefficiente de cultivo (Kc)

Los valores de Kc en el cultivo de maíz cambian en relación con los cultivos perennes, de acuerdo al método de Hargraves el Kc inicial en maíz es de 0.59 (Tabla 11), sin embargo, según Tarjuelo (2017), indica que un Kc de inicio para maíz es de 0.15. Por otro lado, según el método expuesto los cultivos perennes mantienen un mismo Kc, mientras que, según Calvache (2012, p.178), los valores son cambiantes de acuerdo con los cultivos, por ejemplo, la fresa tiene valores entre 0.25 hasta 1.02 en las fases fenológicas de mayor demanda.

Tabla N° 11. Coeficiente de cultivo (Kc) del módulo 4

Cultivo	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Maíz	0.59	0.94	1.06	0.98	0.66	0.11	0.00	0.59	0.94	1.06	0.98	0.66
Fresa	0.11	0.32	0.57	0.79	0.93	1.02	1.06	1.05	0.96	0.84	0.66	0.40
Alfalfa	0.11	0.32	0.57	0.79	0.93	1.02	1.06	1.05	0.96	0.84	0.66	0.40
Limón	0.11	0.32	0.57	0.79	0.93	1.02	1.06	1.05	0.96	0.84	0.66	0.40
Mora	0.11	0.32	0.57	0.79	0.93	1.02	1.06	1.05	0.96	0.84	0.66	0.40
Tuna	0.11	0.32	0.57	0.79	0.93	1.02	1.06	1.05	0.96	0.84	0.66	0.40

Fuente: Autores

Evapotranspiración de cultivo (ETc)

La evapotranspiración de cultivo está en relación con el coeficiente de cultivo (Kc) expuesto en el cuadro anterior y a la evapotranspiración de referencia (ETo), se puede observar que de acuerdo a las etapas fenológicas el maíz presenta mayores pérdidas en el mes de enero con 4.14 mm. Los cultivos perennes tienen una misma evapotranspiración a lo largo del ciclo, el valor más crítico se da para el mes de marzo con 3.83 mm (Tabla N° 12).

Tabla N° 12. Evapotranspiración del cultivo (ETc) del módulo 4

ETc (Evapotranspiración de cultivo)												
Cultivo	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
	-----mm-----											
Maíz	2.29	3.94	3.99	4.14	2.23	0.42	0.00	2.00	3.05	3.30	3.43	2.48
Fresa	0.43	1.32	2.13	3.34	3.15	3.83	3.68	3.52	3.11	2.60	2.32	1.50
Alfalfa	0.43	1.32	2.13	3.34	3.15	3.83	3.68	3.52	3.11	2.60	2.32	1.50
Limón	0.43	1.32	2.13	3.34	3.15	3.83	3.68	3.52	3.11	2.60	2.32	1.50
Mora	0.43	1.32	2.13	3.34	3.15	3.83	3.68	3.52	3.11	2.60	2.32	1.50
Tuna	0.43	1.32	2.13	3.34	3.15	3.83	3.68	3.52	3.11	2.60	2.32	1.50

Fuente: Autores

Necesidad neta (Nn)

Para la necesidad neta se trabajó con el requerimiento diario, en donde, el mes de mayor necesidad es enero con 3.52 mm día-1 para el maíz y 2.72 mm día-1 para el caso de los cultivos perennes, el mes de octubre es el de menor necesidad. La media ponderada fue de 2.57 mm día-1 para el mes de enero, lo que se traduce en un caudal ficticio continuo de 0.30 L s-1ha-1 (Tabla N° 13).

Tabla N° 13. Necesidad Neta (Nn) del módulo 4

Necesidad Neta (Nn)													
Cultivo	Superficie	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
	ha	-----mm día-1-----											
Maíz	2,10	- 1,52	- 3,10	- 3,48	- 3,52	- 1,29	0,74	0,00	0,00	- 2,25	- 2,67	- 3,01	- 1,88
Fresa	1,22	0,33	- 0,47	- 1,62	- 2,72	- 2,20	- 2,67	- 2,23	- 2,06	- 2,32	- 1,97	- 1,90	- 0,89
Alfalfa	2,00	0,33	- 0,47	- 1,62	- 2,72	- 2,20	- 2,67	- 2,23	- 2,06	- 2,32	- 1,97	- 1,90	- 0,89
Limón	1,50	0,33	- 0,47	- 1,62	- 2,72	- 2,20	- 2,67	- 2,23	- 2,06	- 2,32	- 1,97	- 1,90	- 0,89
Mora	0,70	0,33	- 0,47	- 1,62	- 2,72	- 2,20	- 2,67	- 2,23	- 2,06	- 2,32	- 1,97	- 1,90	- 0,89
Tuna	0,38	0,33	- 0,47	- 1,62	- 2,72	- 2,20	- 2,67	- 2,23	- 2,06	- 2,32	- 1,97	- 1,90	- 0,89
Total	7.90												
Media ponderada (mm día-1)		0.01	0.95	1.82	2.57	1.63	1.40	1.31	1.19	1.96	1.84	1.88	0.91
Caudal ficticio continuo (L s-1ha-1)		0.00	0.11	0.21	0.30	0.19	0.16	0.15	0.14	0.23	0.21	0.22	0.11

Fuente: Autores

Necesidad total (Nt)

Para el cálculo de la necesidad total se hizo un ajuste con la eficiencia del método de riego (85%). La ponderación de la media en relación con la superficie dio como resultado un caudal ficticio continuo de 0.35 L s-1ha-1 o una necesidad total de 3.02 mm día-1. El valor de 0.35 L s-1ha-1 quiere decir que, se requiere de este caudal durante 24 h en 1 ha para satisfacer la necesidad hídrica.

Método de riego y emisor

El punto de partida para determinar el método de riego fue la zona agroecológica de intervención, posterior a esto se definió el emisor y su respectivo cálculo agronómico.

Zona agroecológica

Para la selección del método de riego, se realizó una propuesta de acuerdo a la zona agroecológica del módulo 4 (Gráfico 10), en donde se definió qué cultivo se puede implementar de acuerdo a las características de suelo, relieve y clima. Existen dos zonas agroecológicas en el módulo 4, la primera que son las tierras apropiadas para cultivos permanentes y la segunda tierras con severas limitaciones, cultivables con métodos intensivos de manejo (MAG,2020, p.18).

Gráfico N° 10. Zonas agroecológicas del módulo 4



Fuente: Autores

De acuerdo con estas consideraciones, los cultivos permanentes y manejables con sistemas de producción intensivos son los cítricos, en este sentido, el módulo 4 existe el antecedente de que el limón Meyer se adapta a la zona y es el sustento económico de 14 familias, por tal razón, se propone este cultivo para un diseño global del proyecto.

Emisor

El emisor propuesto es un miniwobbler boquilla # 6 color dorado de la empresa Senninger Irrigation (Gráfico 11), la idea de este emisor es realizar riegos subfoliares, en donde, los agricultores van a tener la oportunidad de irrigar cultivos en asociación, por ejemplo, frutales (limón) con alfalfa o frutales (limón) más hortalizas. Por otro lado, el rango de operación del emisor está entre 1.03 a 1.72 bar, los diámetros de alcance a 0.46 m están entre 10.1 y 11.3 m, según Calvache (2012, p.162), las presiones mínimas de operación para aspersores son de 3.0 bar, es así como, el miniwobbler es un método de riego con caudales menores que la aspersión, por lo que se le considera miniaspersión. Además, el ángulo medio de alcance hace que los riegos se realicen de forma subfoliar.

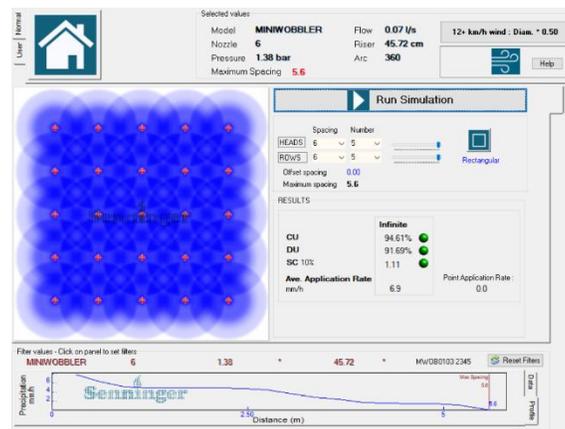
Gráfico N° 11. Miniwobbler-boquilla #6



Fuente: Empresa Senninger

Por otro lado, los espaciamientos recomendados con una velocidad del viento de 6 m.s-1 es de 6 m entre filas y 6 m entre aspersores. A este distanciamiento se alcanza un coeficiente de uniformidad de 94.61% (Gráfico 12). Cabe indicar que, según Pizarro (1996, p.210), un coeficiente de uniformidad aceptable bajo el método por aspersión es de 85%. La simulación del emisor indica que, a una presión de 1.38 bar el mini aspersor tiene un caudal de 0.07 L s-1 dato que es determinante al momento de realizar los cálculos hidráulicos.

Gráfico N° 12. Simulación del miniwobblers a 6 x 6 m



Fuente: Empresa Senninger

Para finalizar, los cálculos agronómicos definen un tiempo de operación de 3 horas cada 7 días. El tipo de material de diseño es tubería PVC con diámetros de 200, 160, 110, 90, 75, 63, 50, 40, 32 mm para tubería múltiple con timbrajes entre 63 a 80 MPa y 25 mm para tubería lateral con timbraje de 1.25 MPa, Además, los parantes serán de tubería de 20 mm con timbraje de 1.25 MPa. Cabe mencionar que, el material propuesto estará enterrado por la condición de riegos fijos.

Diseño hidráulico parcelario

El producto inicial previo a los diseños fue el levantamiento topográfico del área del proyecto, es así como, el total del proyecto Chingazos (Chingazo Alto y Bajo) con los 12 módulos fue de 491.28 ha; el módulo 4 perteneciente a Chingazo Alto la superficie fue de 38.44 ha brutas y 35.54 ha netas de riego. El catastro en el módulo 4, se compone de 101 lotes con 86 familias con una tenencia de 0.46 ha familia-1.

El diseño hidráulico de red parcelaria está en función del emisor, con una presión de trabajo en hidrante de 30 m.c.a. La velocidad media del agua está entre 0.6 y 3 m s⁻¹. Según, Carrazón (2007, p.186), el rango de velocidad en tubería de PVC es de 0.5 a 3 m s⁻¹. Los caudales promedios en parcela están entre los 1.5, 4, 6, 9, 13 y 28 L s⁻¹, esto debido a los diámetros de los hidrantes que son de 1, 1½, 2, 3, 4 y 6”, respectivamente. La distribución de la red de tuberías en la parcela está en función de la topografía, infraestructura existente y de los linderos.

Por otro lado, para elaborar el número de bloques o divisiones en los predios para irrigar, se trabajó con un análisis de tenencia de tierra, en donde, la mayoría de terrenos están entre 0.1 a 0.5 ha, con un promedio por lote de 0.38 ha (Tabla N° 14). En base a este resultado, se propuso trabajar con

hidrantes de 1, 1½ y 2” los mismos que permiten operar en un solo turno 20, 55 y 85 mini aspersores y a su vez, admiten el riego para 722, 1985 y 3068 m² (Tabla N° 15).

Tabla N° 14. Tenencia de tierra módulo 4

Superficie	Lotes	Lotes
ha	No.	%
0 – 0.10	15	15%
0.10 -0.25	32	32%
0.25 – 0.50	28	28%
0.50 – 1.00	19	19%
1.00 – 2.00	7	7%
Total	101	100%

Fuente: Autores

Tabla N° 15. Diámetro de hidrante, caudales, aspersores y superficie bajo riego

Hidrante	Caudal	Aspersores	Aspersor corregido	Superficie riego
Diámetro	L.s-1	No.	No.	(m ²)
1"	1.5	21.42	20	722.00
1½"	4	57.14	55	1985.00
2"	6	85.71	85	3068.00

Fuente: Autores

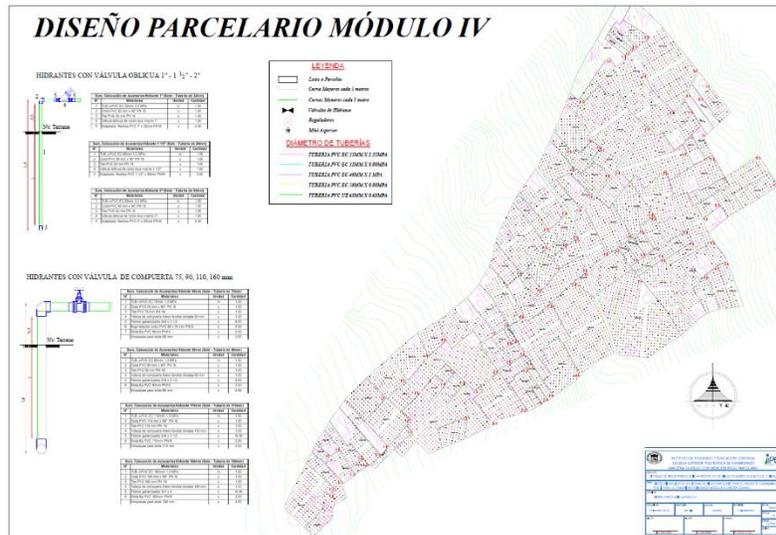
En definitiva, el bloque máximo para el módulo 4 es de 3000 m². Además, para cada lote se analizó el número de bloques y el diámetro del hidrante que este debe tener en su diseño (Tabla N° 16).

Tabla N° 16. Número de bloques de riego en relación con la superficie

Superficie	Lotes	Lotes	Hidrante	Bloques
ha	No.	%	Diámetro	No.
0 – 0.10	15	15%	1”	2
0.10 -0.25	32	32%	1½”	2
0.25 – 0.50	28	28%	1½”	3
0.50 – 1.00	19	19%	1½”	4-5
1.00 – 2.00	7	7%	2”	4-6
Total	101	100%		

Fuente: Autores

Gráfico N° 13. Diseño parcelario del módulo 4



Fuente: Autores

Presupuesto

El presupuesto total del componente parcelario fue de US\$ 198535.20 con inversiones por familia de US\$ 2308.54 y por hectárea de US\$ 5586.24.

Conclusiones

La topografía y la actualización catastral fueron importantes para los planteamientos hidráulicos, además, en el diseño agronómico se definió un requerimiento hídrico de 3.02 mm día⁻¹. Asimismo, en las zonas de muestreo: alta, media y baja los suelos tienen una textura arenosa franca, con una lámina bruta y una velocidad de infiltración promedio de 22.10 mm y 87.25 mm h⁻¹, respectivamente.

El emisor propuesto fue un miniaspersor a una distancia de 6 x 6 m, con boquilla de 2.38 mm de diámetro y un caudal de 0.07 L s⁻¹, cuyo tiempo de operación fue de 3 horas cada 7 días. La red parcelaria se diseñó con el software IRRICAD V.20, con la ecuación de Darcy-Weisbach, en donde, la presión en hidrante se controló a 30 m.c.a. con velocidades del agua entre 0.6 y 3 m s⁻¹, además, los caudales promedios en parcela estuvieron entre los 1.5, 4, 6, 9, 13 y 28 L s⁻¹, cabe mencionar que, el tipo de riego que se diseñó fue fijo con tubería PVC de clase 0.63, 0.8 y 1.25 MPa.

El presupuesto para las 35.54 ha netas de diseño parcelario fue de US\$ 198535.20 con inversiones por familia de US\$ 2308.54 y por hectárea de US\$ 5586.24.

Referencias

1. ALLEN, R. Evapotranspiración de cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma-Italia: Editorial FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2006, 84 p.
2. BACA, C. Diseño de riego. Cusco-Perú: Editorial Universidad San Antonio Abad, 2021, 20 p.
3. CADENA, V. Hablemos de riego. 2da Ed. Quito-Ecuador: Editorial CONGOPE (Consortio de Gobiernos Provinciales del Ecuador), 2017, 288 p.
4. CALVACHE, M. Riego Andino tecnificado. Quito-Ecuador: Editorial Universitaria de la Universidad Central del Ecuador, 2012, 296 p.
5. CARRAZÓN, J. Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Roma-Italia: Editorial FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2007, 218 p.
6. FUENTES, J. Técnicas de Riego: Sistemas de Riego en la Agricultura. 3ra Ed. México DF-México: Editorial Mundi-Prensa, 1999, 280 p.
7. GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTÓN GUANO - GAD GUANO. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Guano-Ecuador, 2019, 836 p.
8. HARGREAVES, H. Discussion of Application of Penman wind function. ASCE (American Society of Civil Engineers), 1993, 109(2):277–278.
9. HIDALGO, J. La floricultura, una manifestación agroindustrial del despojo del agua para el riego. El caso de la acequia Tabacundo en la sierra ecuatoriana. Wageningen-Países Bajos: Editorial University UR, 2018, 16 p.
10. KOSTIAKOV, A. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. International Society of Soil Science, 1932, 1:15–21.
11. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA - MAG. Diagnóstico integral del proyecto de riego Chambo-Guano-Los Chingazos, Fase II, zona 8, cantón Guano, provincia de Chimborazo. Riobamba, Ecuador, 2020, 25 p.

12. PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. 3ra Ed. Madrid-España: Editorial Mundi-Prensa, 1996, 511 p.
13. TARJUELO, J. El Riego por Aspersión y su Tecnología. Madrid-España: Editorial Mundi-Prensa, 2017, 320 p.
14. VARELA, A., & S. RON. Geografía y clima en el Ecuador. Quito-Ecuador: Editorial PUCE (Pontificia Universidad Católica del Ecuador), 2020, 130 p.
15. VEGA, E. Agua en el suelo. Relaciones entre sus fases para la gestión del riego. Portoviejo-Ecuador: Universidad Técnica de Manabí, 2020, 42 p.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).