



# Elaboración de un programa informático de aplicación para diseño agronómico e hidráulico en el método de riego por goteo

## Development of an application software for agronomic and hydraulic design in the drip irrigation method

*Juan José Caparicona Marca*

**RESUMEN:** El siguiente trabajo de tesis, tuvo como objetivo del desarrollar un programa informático de aplicación para diseño agronómico e hidráulico en el método de riego por goteo, el cual se programó en el software de desarrollo Visual Studio. Para la elaboración del programa Agrologic se realizó los diagramas de flujo en Visio donde se representó de forma gráfica todo el procedimiento del diseño agronómico e hidráulico, para esto se siguió la metodología propuesta por Serrano G. (2018). Donde se considera la eficiencia de aplicación (Keller), en función al clima, textura del suelo y profundidad radicular y el requerimiento de lavado de sales en el procedimiento del diseño agronómico. El cálculo de la viscosidad cinemática del agua con la ecuación de Pouseuille y el método de Newthon Raphson para el cálculo del factor de fricción (f) en la ecuación de Colebrook White y el diámetro teórico en el diseño de laterales, terciarias y principal, en el procedimiento del diseño hidráulico. Los datos necesarios para el procedimiento del diseño agronómico e hidráulico fueron tomados de tesis de grado que fueron realizados en la estación experimental de Cota cota y de la medición de un sistema de riego por goteo instalado, Para la comparación de la metodología de lavado de sales y sin lavado de sales en el diseño agronómico, el caudal calculado para ambos métodos es de 3,52 m<sup>3</sup>/hr, el agua de riego tiene una conductividad eléctrica de 0,03009 dS/m, estos resultados se asemejan por la baja concentración de sales. En el procedimiento del diseño hidráulico la viscosidad cinemática conseguida con la ecuación de Pouseuille, y tablas a una temperatura de 20 °C es de 1,02 E<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s, y la comparación de la ecuación de Colebrook White y Swamee Jain para el del factor de fricción (f), obtuvieron los mismos resultados en el procedimiento del diseño de laterales, terciarias y principal donde no hubo mucha variación en los resultados. Se realizo una prueba de escritorio para seguir los resultados obtenidos con el programa Agrologic y así poder verificar los resultados obtenidos con el programa, los resultados fueron comprobados con la Classpad II, se realizó una comparación con los métodos de Chow, Agronayade, Veintimilla comparando los resultados obtenidos con Agrologic en el procedimiento del diseño agronómico donde se obtuvo un coeficiente de variación obtenido es de 3,19 %. En el diseño hidráulico se consideraron las ecuaciones de Blasius, Darcy Weisbach y Hazen Williams para el cálculo de la perdida de carga, se realizó una comparación entre el uso de estas ecuaciones, en la ecuación de Hazen Williams no se añadió variables para su procedimiento, el coeficiente de variación obtenida en el diseño de laterales, terciarias y principal es de 0,18 %. Para la evaluación del sistema de riego por goteo de la estación experimental de Cota se siguió la metodología de Karmelli y Keller, en un invernadero de la estación Experimental de la Facultad de Agronomía, obteniendo un resultado de uniformidad de emisión de (UE) de 74,6 % y un coeficiente de uniformidad (CU) de 88,45 %.

**PALABRAS CLAVE:** Software para riego por goteo, diseño agronómico, diseño hidráulico, requerimiento de lavado de sales, eficiencia de aplicación, pendiente del terreno, Christiansen, diámetro teórico, Colebrook, método de Newton Raphson.

**ABSTRACT:** The following thesis work was aimed at developing an application software for agronomic and hydraulic design in the drip irrigation method, which was programmed in the Visual Studio development software. For the development of the Agrologic program, flow diagrams were made in Visio where the entire agronomic and hydraulic design procedure was represented graphically, for this the methodology proposed by Serrano G. (2018) was followed. Where the application efficiency (Keller) is considered, depending on the climate, soil texture and root depth and the requirement of salt washing in the agronomic design procedure. The calculation of the kinematic viscosity of water with the Pouseuille equation and the Newthon Raphson method for the calculation of the friction factor (f) in the Colebrook White equation and the theoretical diameter in the design of laterals, tertiary and principal, in the hydraulic design procedure. The data necessary for the agronomic and hydraulic design procedure were taken from the degree theses that were carried out in the experimental station of Cota Cota and from the measurement of an installed drip irrigation system, for the comparison of the salt washing methodology and without salt washing in the agronomic design, the calculated flow rate for both methods is 3.52 m<sup>3</sup>/hr, the irrigation water has an electrical conductivity of 0.03009 dS/m, these results are similar due to the low concentration of you go out. In the hydraulic design procedure, the kinematic viscosity achieved with the Pouseuille equation and tables at a temperature of 20 °C is 1.02 E<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s, and the comparison of the Colebrook White and Swamee Jain equation for the friction factor (f), the same results were obtained in the lateral, tertiary and main design procedure where there was not much variation in the results. A desk test was carried out to follow the results obtained with the Agrologic program and thus be able to verify the results obtained with the program, the results were verified with the Classpad II, a comparison was made with the methods of Chow, Agronayade, Veintimilla comparing the Results obtained with Agrologic in the agronomic design procedure where a coefficient of variation obtained is 3.19%. In the hydraulic design, the equations of Blasius, Darcy Weisbach and Hazen Williams were considered for the calculation of the pressure loss, a comparison was made between the use of these equations, in the Hazen Williams equation no variables were added for its procedure, the coefficient of variation obtained in the design of lateral, tertiary and main is 0.18%. For the evaluation of the drip irrigation system of the Cota Cota experimental station, the Karmelli and Keller methodology was followed, in a greenhouse of the Experimental station of the Faculty of Agronomy, obtaining an emission uniformity result of (UE) of 74.6% and a coefficient of uniformity (CU) of 88.45%.

**KEYWORDS:** Drip Irrigation Software, Agronomic Design, Hydraulic Design, Salt Wash Requirement, Application Efficiency, Terrain Slope, Christiansen, Theoretical Diameter, Colebrook, Newton Raphson Method.

**AUTOR:** *Juan José Caparicona Marca*: Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. [juamjocal27@gmail.com](mailto:juamjocal27@gmail.com)

**Recibido:** 14/05/2020. **Aprobado:** 25/06/2020.



## INTRODUCCIÓN

Los distintos tipos de software existentes en el ámbito de riego son provenientes de otros países, el idioma de origen, sistema de unidades no muy usadas en nuestro país, los altos costos al comprar una licencia para el uso de estos y su complejidad de uso, son algunas desventajas que tienen los programas existentes para el diseño del riego por goteo.

Un software de aplicación para los cálculos de riego por goteo permite obtener resultados confiables y con la menor cantidad de errores que se dejan pasar por algunos detalles cuando el procedimiento del diseño agronómico e hidráulico es realizado manualmente, el uso de un programa tiene como ventaja el poder realizar los cálculos en el menor tiempo posible lo que facilita la toma de decisiones más convenientes para el sistema de riego por goteo.

La elaboración de un programa informático permite considerar algunas de las investigaciones que se realizaron en el ámbito del riego que no son tomadas en cuenta en los programas de riego existentes, considerando el requerimiento de lavado de sales en el procedimiento del diseño agronómico, la viscosidad cinemática del agua ( $\nu$ ), según la fórmula de Pouseille a diferentes temperaturas y la consideración de la pendiente del terreno para la nueva variación de carga permitida ( $\Delta H_a$ ) en el diseño hidráulico. Con todas estas consideraciones se obtendrá un programa que servirá de herramienta al ingeniero agrónomo para el desarrollo de sus proyectos de riego.

El avance de la tecnología ha permitido facilitar las tareas del hombre usando como herramienta el computador, el software como parte de este permite optimizar, automatizar la información y realizando cálculos en el menor tiempo posible, la programación ha permitido todo esto siguiendo una secuencia de pasos y sentencias para permitir obtener una solución a un problema en específico.

La empresa Microsoft desarrolladora de software contribuyó mucho con el cambio de la informática jugando un papel importante por tener una amplia visión quien no solo se interesa en la computación, sino que también quiere avanzar en el mundo de la programación, Visual Studio permite llegar de manera fácil y práctica de desarrollo de aplicaciones de escritorio y otros campos siendo una herramienta que tiene más de cuarenta años.

CROPWAT (CROP = Cultivo; WAT = Agua) desarrollado por Joss Swennehuis para la unidad de fomento y gestión de las aguas de la (FAO), el cual realiza los cálculos de requerimiento de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos y cultivos existentes.

Área Bajo Riego Optimo (ABRO), desarrollado por el ministerio de asuntos campesinos y agropecuarios y riego, dirección general de servicios agropecuarios y riego unidad de agua y suelos. Este es un requisito para la elaboración de proyectos de riegos y planificación en la inversión pública en Bolivia, el cual realiza el balance hídrico en base a parámetros climáticos de promedios mensuales.

Gestar es un paquete informático de referencia para la ingeniería hidráulica de sistema de riego a presión que facilita para su mejor diseño, ejecución y gestión, con una completa selección de recursos muchos de ellos disponibles de forma exclusiva y una larga trayectoria de innovaciones y aplicaciones a grandes y pequeños sistemas, el programa fue elaborado por la Universidad de Zaragoza-España, el mismo está disponible en tres versiones: Educativa (utilidades completas, límite en número de nodos y elementos), Profesional (utilidades limitadas, es necesario el registro el cual es gratuito como usuario y necesita una conexión a internet) y Premium (aplicación completa debido a la otorgación de una licencia proporcionada por Gestar).

Tlaloc y Aqua los cuales fueron elaborados por el ingeniero agrónomo Veintimilla M; Tlaloc fue elaborado como tesis de grado en la Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias en el año (2012) y en el año (2013) Aqua la siguiente versión los cuales facilitan el proceso de diseño de sistemas de riego, ambos están disponibles de manera gratuita.

Riego Localizado (RiegoLoc), realizado por Dr. Lopez J & Ing. Cordero L (2002); para el diseño y evaluación de instalación de riego localizado, el cual permite el desarrollo del diseño agronómico, tolerancia de presiones, diseño de laterales, diseño de terciarias, Utilidades el cual permite realizar el diseño de la tubería principal, cada uno de estos procedimientos está dividido en subprogramas por lo cual los autores sugieren realizarlo en el orden que se cita el programa.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La evaluación del sistema de riego por goteo se lo realizo en el Centro Experimental de Cota Cota que se encuentra dentro del Campus Universitario en el macro distrito de La Paz, ubicada geográficamente 16°32' de latitud Sur y 68°3' de longitud Oeste y una Altitud de 3445 m.s.n.m. (Facultad de Agronomía; 2012 – 2015).

Para la realización del programa AgroLogic se usó lo siguiente:

Una computadora con las siguientes características:

- Procesador: Intel® Core™ i3 -228M CPU @ 2.20 GHz.
- Memoria RAM de 4 GB (3.90 GB utilizable) 64 bits, Sistema Operativo Microsoft.
- Tarjeta de video Intel Graphics ® HD Graphics 3000.
- Software de desarrollo Microsoft Visual Studio 2015.
- Microsoft Access 2010.
- Microsoft Visio 2010.
- Microsoft Excel 2010.

- Calculadora Casio Classpad II. (Versión 02.01.5000.0000).

Para la evaluación del sistema de riego por goteo, se usó los siguientes materiales:

- Cinta de goteo.
- Manómetro.
- Vasos (pluviómetro).
- Probeta.
- Cinta métrica.
- Cuaderno de campo.

Para el procedimiento del diseño agronómico se recolecto datos provenientes de tesis de grado que se realizaron en la Estación Experimental de Cota Cota, para esto se revisó los datos de suelo, agua, cultivo y clima.

Medrano R. (2006), indica que las características del suelo son las siguientes: textura Franco arcillosa (FY), Humedad a capacidad de campo (Ucc) 27%, Humedad a punto de marchitez permanente (Upmp) 11% y densidad aparente (Dap) 1,15 gr/cc, agua: conductividad eléctrica del agua (Cew) 0,03009 dS/m y caudal disponible de 2,04 lt/hr. Según la FAO (Cuadro 7), de acuerdo a la referencia de la textura del suelo en la estación experimental los datos de infiltración básica (Ib) 13 mm/hr y la eficiencia de lavado (Efl) 0,9.

Según la (FAO), El cultivo de la lechuga tiene como datos: profundidad radicular (Pr) 0,3 m, factor de agotamiento (f) 0,3, y coeficiente de cultivo (media) (Kr) 1, espacio entre hileras (Sh) 0,8 m, espacio entre plantas (Sp) 0,3 m, diámetro de copa (Dc) 0,2 m.

Keller (1964), de acuerdo a las características del clima humedo, textura media y profundidad radicular menor 75 cm (Cuadro 4), La eficiencia de aplicación (Ea) es 0,85. Butron C. (2017), indica que la Evapotranspiración de referencia (Eto) para el mes de marzo es 1,95 mm/día en el invernadero.

Con toda esta información se realizó los cálculos del diseño agronómico comparando el

procedimiento con lavado de sales y sin lavado de sales.

La recolección de los datos necesarios para el cálculo del diseño hidráulico se realizó las mediciones de un sistema de riego por goteo existente en el invernadero de la estación experimental de Cota Cota, para luego hacer dos comparaciones incorporando la ecuación de Pouseuille para cálculo de la viscosidad cinemática del agua según la temperatura (ecuación 28), con la viscosidad cinemática obtenida en tablas en relación a la temperatura del agua.

La elaboración del programa se lo realizo según los pasos recomendados por Ríos (2014). Para esto se revisó la metodología de Chipana, Agronayade, Chow, Veintimilla y Serrano, para los cálculos del diseño agronómico e hidráulico en el sistema de riego por goteo, donde se seleccionó el procedimiento de Serrano (2015) por adecuarse a los problemas actuales en el riego por goteo, considerando lo siguiente en el diseño agronómico e hidráulico:

### Diseño agronómico

Requerimiento de lavado de sales mediante este cálculo se estima la infiltración de las sales existentes en el suelo y en el agua de riego a profundidades del suelo que no afecten el rendimiento del cultivo, para lo cual se tendrá un incremento de la lámina bruta (Zb), el tiempo de riego (Tr) y el caudal del diseño.

$$RL = \frac{CE_w}{2 * CE_{es} * f}$$

Dónde:

RL: Requerimiento de lavado de real.

CE<sub>w</sub>: Conductividad del agua de riego (mmhos/cm).

CE<sub>es</sub>: Conductividad del extracto de saturación del suelo deseada (mmhos/cm).

f: Eficiencia de lavado (depende del tipo de suelo).

Eficiencia de aplicación, Keller (2014), indica que este parámetro varía según el clima, textura y la profundidad radicular del cultivo (ver

tabla 1), el cual es un dato importante para la determinación de Zb.

Tabla 1. Eficiencia de aplicación relacionada a clima, profundidad y textura.

Clima	Profundidad Radicular (cm).	"Ea" según Textura.			
		Gravosa	Gruesa	Media	Fina
Árido	< a 75	0,85	0,90	0,95	0,95
	75 a 150	0,90	0,90	0,95	0,95
	> a 150	0,95	0,95	1,00	1,00
Húmedo	< a 75	0,65	0,75	0,85	0,90
	75 a 150	0,75	0,80	0,90	0,95
	> a 150	0,85	0,90	0,95	1,00

Fuente: Salas y Pérez (2007), citado por Serrano G. (2015).

### Diseño hidráulico

Serrano (2018), indica que en el proceso del análisis del diseño hidráulico se debe analizar tres casos tomando en cuenta que la diferencia de presión de trabajo no debe superar el 20% de la presión nominal (hN).

#### Lateral horizontal

El valor de variación de carga permitida |Δha| será la máxima pérdida de carga admitida, respecto al cual se irán probando los distintos diámetros de tubería hasta que la pérdida de carga reducida (hfr) sea menor o igual a nueva variación de carga permitida (|ΔHa|). Presión al inicio del lateral (hol).

$$hol = h_N + hf$$

$$\Delta ha = hol - h_N$$

#### Lateral ascendente

Cuando altura de pendiente (Iol) se aproxime a |Δha| será necesario cambiar el trazado o emplear reguladores de presión en los emisores (goteros autocompensantes).

$$hol = h_N + hf + Iol$$

$$\Delta Ha = \Delta ha - Iol$$

#### Lateral descendente

Cuando  $I_{ol}$ , es similar o igual a  $|\Delta h_a|$ , las presiones resultan casi uniformes en todo el ramal, sería un caso ideal sin necesidad de reguladores de presión ( $I_{ol} < hf$ ).

$$\begin{aligned} h_{ol} &= h_N + hf - I_{ol} \\ \Delta H_a &= \Delta h_a + I_{ol} \\ h_{fr} &\leq \Delta H_a \end{aligned}$$

Con esta metodología recomendada por Serrano (2018), el diseño hidráulico se adecuaría a cualquier situación de pendiente por lo cual Serrano recomienda el uso de goteros autocompensantes porque se adecuan a estos requerimientos.

### Viscosidad cinemática

La viscosidad es una manifestación del movimiento molecular dentro del fluido las moléculas con alta velocidad chocan con las de una velocidad menor, y viceversa, es decir que, a mayor temperatura, debería disminuir la viscosidad y aumentaría la velocidad por el incremento de la temperatura serian directamente proporcionales, (Quinde, 2014).

Quinde (2014), Indica que existen varias fórmulas que permiten evaluar la variación de la viscosidad en relación a la temperatura entre las más importantes tenemos la ecuación de Arrhenius, Williams Landel-Ferry, Van Velzen y la ecuación de Poiseuille ecuación formula que se usó dentro del programa con relación a la temperatura:

$$v = \frac{\mu_0}{1 + \alpha T + \beta T^2} * \frac{g}{\gamma}$$

Donde:

- $\mu_0$ : Viscosidad dinámica a 0°C.
- T: Temperatura en °C.
- v: Viscosidad cinemática.
- $\alpha$  0,337.
- $\beta$  0,00022.
- g: Gravedad.
- $\gamma$ : Peso específico del agua.

Tarjuelo (2010), menciona que en el caso de los emisores de recorrido largo y de régimen

laminar, el caudal vario debido al impacto de la temperatura sobre la viscosidad del agua, los efectos de la temperatura pueden ser significativos para tuberías de PE expuestas al sol alcanzando temperaturas muy por encima de 20 °C, casos en que no se debe recurrir a los emisores de régimen laminar.

La viscosidad cinemática es considerada dentro de las fórmulas de Blasius y Colebrook, para el cálculo de f necesaria en la ecuación de Darcy Weisbach, por ser una ecuación implícita lo cual dificulta su cálculo debido a dos incógnitas diámetro y factor de fricción (D, f) para este procedimiento Serrano (2018), recomienda el método de Newton Raphson para el cálculo del diámetro sin f en la siguiente expresión:

$$1) \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left( \frac{\epsilon}{3,71 * D} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

$$2) hf = f * \frac{L * V^2}{D * 2 * g}$$

$$3) Re = \frac{V * D}{v} \rightarrow V = \frac{Re * v}{D}$$

3) en 2) eliminando V:

$$4) Re * \sqrt{f} = \frac{D^{3/2}}{v} * \sqrt{\frac{2 * g * hf}{L}}$$

De 2) explicitamos

$$5) \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{V}{\sqrt{D}} * \sqrt{\frac{L}{2 * g * hf}}$$

Ahora sustituyendo 5) y 4) en 1)

$$\begin{aligned} 6) \frac{V}{\sqrt{D}} * \sqrt{\frac{L}{2 * g * hf}} &= -2 \log \left( \frac{\epsilon}{3,71 * D} \right. \\ &\quad \left. + \frac{2,51}{\frac{D^{3/2}}{v} * \sqrt{\frac{2 * g * hf}{L}}} \right) \end{aligned}$$

Como:

$$7) V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$8) \frac{4 * Q}{\pi * D^2 \sqrt{D}} = -2 \sqrt{\frac{2 * g * hf}{L}} * \log\left(\frac{\epsilon}{3,71 * D}\right) + \frac{2,51 * v}{D^{3/2} * \sqrt{\frac{2 * g * hf}{L}}}$$

$$C = \frac{2,51 * v}{\sqrt{\frac{2 * g * hf}{L}}}$$

$$E = \sqrt{\frac{2 * g * hf}{L}}$$

Explicitando D:

$$D = \left(-\frac{\pi}{2 * Q} * \sqrt{\frac{2 * g * hf}{L}} * \log\left(\frac{\epsilon}{3,71 * D}\right) + \frac{2,51 * v}{D^{3/2} * \sqrt{\frac{2 * g * hf}{L}}}\right)^{-2/5}$$

Simplificando:

$$A = \frac{\pi}{2 * Q} * \sqrt{\frac{2 * g * hf}{L}}$$

$$B = \frac{\epsilon}{3,71}$$

Sustituyendo:

$$D = (-A * \log\left(\frac{B}{D}\right) + \frac{C}{D^{3/2}})^{-2/5} \quad (1)$$

Con la metodología de Newton Raphson se podrá calcular el diámetro partiendo con un valor inicial, este procedimiento terminará hasta que exista una igualdad en ambos extremos.

En tuberías de PVC, comúnmente no es conveniente que las velocidades superen 3 m/s para no comprometer un desgaste rápido debido a la fricción que ocasionan las partículas en suspensión hacia las paredes de la tubería. Por lo contrario, no deben admitirse valores menores o iguales 0.3 m/s para evitar la sedimentación y posterior acumulación de depósitos de arena en las tuberías. Serrano (2015).

Tabla 2. Velocidad máxima en función del diámetro interno.

Diámetro Int. (mm)	≤100	≤125	≤150	≤200	≤250	≤300	≤350	≤350	≤400	≤450	≤500	≤600
Velocidad Max. (m/s)	1,80	1,85	1,95	2,05	2,15	2,25	2,30	2,50	2,85	2,85	3,10	3,10

Fuente: Clement Galant (1986).

Tabla 3. Propiedades hidrofísicas del suelo.

Textura	Ucc (%)	Upmp (%)	Dap (gr/cc)	Ib (cm/hr)	efl
A	7,01	3,51	1,71	9,00	0,9
AF	9,20	4,91	1,63	4,50	0,9
FA	13,46	6,41	1,56	3,00	0,9
F	21,27	10,64	1,41	1,50	0,9
FL	23,07	9,09	1,43	1,40	0,7
L	21,05	5,92	1,52	1,15	0,7
FYA	22,14	14,29	1,40	2,50	0,7
FY	28,78	16,67	1,32	1,25	0,7
FYL	33,85	18,11	1,27	0,75	0,5
YA	28,35	20,15	1,34	1,65	0,5
YL	40,49	25,62	1,21	0,50	0,5
Y	42,50	30,83	1,20	0,15	0,5

Fuente: Citado por Serrano (2015).

Se consideró el uso de emisores autocompensantes de tipo botón (tabla 4), del catálogo de Naandajain (2015), por adecuarse a cualquier variación de presión, los cuales están representados por un código de color (amarillo “2,00 l/hr”, negro “4,00 l/hr”, azul “8,00 l/hr”, verde “14,00 l/hr”.) en relación al caudal y la presión de servicio ha.

Tabla 4. Goteros desarmables de tipo botón.

ha (bar)	2,00 l/hr	4,00 l/hr	8,00 l/hr	14,00 l/hr
0,5	1,40 l/hr	2,90 l/hr	5,70 l/hr	10,00 l/hr
1,0	2,00 l/hr	4,00 l/hr	8,00 l/hr	14,00 l/hr
1,5	2,40 l/hr	4,90 l/hr	9,70 l/hr	17,00 l/hr
2,0	2,80 l/hr	5,60 l/hr	11,20 l/hr	19,50 l/hr
2,5	3,10 l/hr	6,20 l/hr	12,40 l/hr	21,70 l/hr
3,0	3,40 l/hr	6,80 l/hr	13,60 l/hr	23,70 l/hr
3,5	3,60 l/hr	7,30 l/hr	14,60 l/hr	25,50 l/hr

Fuente: Catalogo de Naandanjain (2015).

### Representación conceptual del programa

Para la elaboración del programa, se consideró el criterio de Keller (2014), (Tabla 1), para la Ea con relación al clima: húmedo o árido, textura: gruesa, media o fina descartando la textura gravosa por no ser apta para la siembra, y la profundidad radicular de: “< 75 cm”, “75 a 150 cm” o “> 150 cm”. Seleccionando la Ea que se usara dentro del diseño.

Se añadió los datos de las propiedades hidrofísicas del suelo (Tabla 3), de acuerdo a las 12 clases texturales del suelo, para su selección con sus respectivos datos promedios de humedad a capacidad de campo (Ucc), humedad a punto de marchitez permanente (Upmp), densidad aparente (Dap), infiltración básica del suelo (Ib), y eficiencia de lavado de sales (efl). Si estos valores fueran obtenidos por pruebas de laboratorio de acuerdo a las muestras tomadas del lugar donde se implementará el sistema de riego por goteo, el programa habilita la opción de poder introducirlos al seleccionar la opción “usuario” el cual permite hacer uso de estos datos dentro del programa.

Con todos estos datos incluidos dentro del programa, necesarios en el procedimiento del diseño agronómico en los siguientes cálculos:

- Agua disponible total (ADT).

- Lamina neta (Zn)
- Diámetro mojado (dm)
- Área mojada triangular (Ama)
- Área mojada circular (Amo)
- Numero de emisores (Ne)
- Área sombreada (A)
- Factor de cobertura. (Aljibury, Decroix, Hoare o Keller)
- Evapotranspiración del cultivo reducido (ETcr).
- Porcentaje de mojado mínimo (Pm).
- Lamina neta reducida (Znr).
- Frecuencia de riego (Fr).
- Requerimiento de lavado de sales (RL).
- Lamina neta corregida (Znc).
- Lamina bruta corregida (Zbc).
- Tiempo de riego (Tr).
- Caudal del diseño (Q).

La decisión del diseño agronómico se considerara de acuerdo a la siguiente relación: caudal disponible mayor o igual al caudal del diseño ( $Qd \geq Q$ ), para esto se buscara la Fr que cumpla esta condición, para realizar todo esto se tomó en cuenta Fr como un intervalo de riego máximo así de esta manera se podrá seleccionar la Fr que cumpla esta condición, también se añadió un mensaje de ayuda si este valor fuera mayor a los 3 días lo cual es recomendado para el diseño agronómico.

En esta metodología se seleccionó las ecuaciones de pérdida de carga (hf) de: Hazen Williams, Blasius y Darcy Weisbach, considerando la ecuación de Poiseuille para el cálculo de la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) del agua en relación a la temperatura del agua, dato necesario en las ecuaciones de Blasius y Colebrook White.

El valor de la pérdida de carga dependerá de la distribución del gasto  $Q_0$  a lo largo de la longitud  $L$  dividida en tramos, siendo la magnitud de gasto de cada uno de ellos acorde al gasto saliente, Christiansen propuso el factor reductor ( $F$ ) a las pérdidas de carga de acuerdo a la distancia de los emisores y laterales: distancia entera, distancia media y distancia al inicio.

La variación de carga permitida ( $\Delta H_a$ ) es la máxima pérdida de carga permisible, de acuerdo al sentido de la pendiente: horizontal, ascendente y descendente, para esto la pérdida de carga reducida ( $h_{fr}$ ) tiene que ser menor o igual a la pérdida de carga permisible ( $h_{fr} \leq \Delta H_a$ ).

Se debe buscar el diámetro comercial que cumpla la condición de variación de carga permitida  $h_{fr}$ , para este procedimiento se asume que la pérdida de carga reducida es igual a la nueva variación de carga permitida ( $h_{fr} = \Delta H_a$ ), para el cálculo del diámetro teórico y de esta manera buscar el diámetro comercial superior. Para hallar el diámetro teórico en la ecuación de Darcy Weisbach, se empleó la metodología de Newthom Raphson para el cálculo del diámetro sin  $f$  (ecuación 1), y así verificar nuevamente la variación de carga permitida introduciendo el diámetro comercial.

Se consideró los parámetros de velocidad máxima en función al diámetro (Tabla 2) recomendadas por Clement (1986), para evitar el desgaste de tuberías para ello la velocidad calculada debe ser menor o igual a la velocidad máxima ( $v_l \leq v$ ).

### **Diseño de laterales**

El procedimiento para el diseño de laterales es el siguiente:

- Presión mínima ( $h_m$ ).
- Variación de carga permitida ( $\Delta h_a$ ).
- Numero de emisores en el lateral ( $N_{el}$ ).
- Caudal en el lateral ( $Q_l$ ).
- Variación de carga permitida ( $\Delta h_l$ ).
- Factor reductor ( $F$ ).
- Nueva Variación de pérdida de carga permitida en el lateral ( $\Delta H_l$ ).
- Diámetro teórico ( $d_{tl}$ ).
- Velocidad en el lateral ( $V_l$ ).
- Pérdida de carga en el lateral ( $h_{fl}$ ).
- Pérdida de carga reducida en el lateral ( $h_{frl}$ ).
- Presión al inicio del lateral ( $h_{ol}$ ).

### **Diseño de las terciarias**

El procedimiento para el diseño de la terciarias es el siguiente:

- Caudal en la terciaria ( $Q_t$ ).
- Variación de carga permitida en la terciaria ( $\Delta h_t$ ).
- Factor reductor ( $F$ ).
- Nueva variación de carga permitida en la terciaria ( $\Delta H_t$ ).
- Diámetro teórico para la terciaria ( $d_{tt}$ ).
- Velocidad en la terciaria ( $V_t$ ).
- Pérdida de carga en la terciaria ( $h_{ft}$ ).
- Pérdida de carga reducida en la terciaria ( $h_{ftr}$ ).
- Presión al inicio de la terciaria ( $h_{ot}$ ).

### **Diseño de la principal**

El procedimiento para el diseño de la principal es el siguiente:

- Velocidad en la principal ( $V_p$ ).
- Pérdida de carga en la principal ( $h_{fp}$ ).
- Presión al inicio de la principal ( $h_{op}$ ).

### **Potencia de la bomba**

El procedimiento para el cálculo de la potencia de la bomba es el siguiente:

- Presión total ( $h_t$ ).

- Presión manométrica (hman).
- Potencia de la bomba (Pot).

Con todo este procedimiento se realizó la programación en la plataforma de Visual Studio, añadiendo mensajes de ayuda (ToolTips) para identificar las variables al introducir los datos.

### Evaluación de riego por goteo

Para la evaluación se usó el procedimiento de Merriam y Keller (1975), el método recomienda estudiar la uniformidad de los componentes de un sistema de forma individual, de manera que al combinar los efectos individuales se puede obtener una buena estimación de la uniformidad global del sistema.

Durante la evaluación se seleccionó los ramales más representativos del conjunto de la instalación, habiéndose seleccionado un ramal al inicio, el segundo a un tercio, el tercero a dos tercios y el último ramal, con este criterio se procedió también a elegir cuatro emisores de cada ramal teniendo 16 muestras en total, se colocó un vaso a cada muestra, para medir los volúmenes de cada emisor y se usó un manómetro para medir la presión del sistema de riego por goteo.

Se abrió la llave de paso y medir la presión del sistema, tomando el tiempo de inicio y final, al llenarse el primer vaso de cada fila se procedió a quitar el resto este procedimiento se lo realizó para cada fila, para luego medirlos con la ayuda de la probeta y a registrar los datos en el cuaderno de campo.

Con estos datos tabulados se calculó la uniformidad de emisión, comparando estos resultados con el cuadro de Merriam y Keller (Cuadro 9) de acuerdo a su calificación de uniformidad de emisión.

### Uniformidad de distribución

Para obtener el coeficiente de uniformidad se procedió a calcular la media de todos los datos recolectados de los emisores, y la

media de los valores mínimos tomando la cuarta parte de los datos.

$$UD_{1/4} = \frac{\bar{V}_{1/4}}{\bar{V}} * 100$$

### Uniformidad de emisión

Para este procedimiento se realizó el cálculo del caudal, y el caudal de la cuarta parte de los datos en relación al volumen medio.

$$UE = \left(1 - \frac{1,27}{\sqrt{e}} * CV\right) * \frac{qe_{1/4}}{qe}$$

Dónde:

UE: Uniformidad de Emisión.

CV: Coeficiente de variación del emisor.

e: número de emisores.

qe: Caudal de los emisores.

qe<sub>1/4</sub>: Caudal cuarto de los emisores.

Tabla 5. Calificación de la instalación, método de Merriam y Keller.

Uniformidad de emisión (%)	Calificación
Mayor a 90%	Excelente
de 80 a 90%	Muy Buena
de 70 a 80%	Regular
Menor a 70%	Pobre

Fuente: Citado por Serrano (2014).

### Manejo del sistema de riego

Todos estos datos fueron ajustados en función a la distribución normal, a partir de este ajuste se pudo establecer una relación entre la lámina aplicada y la fracción del suelo que es suficientemente regada.

### Diagramas de manejo

Considerando que la escorrentía es despreciable, bajo la existencia de un coeficiente de déficit “Cd” y una fracción de superficie adecuadamente regada “f” que varía fundamentalmente con el coeficiente de uniformidad “CU” y la eficiencia de distribución acumulada “Eda”.

Lamina requerida:

$$Eda = \frac{V_i}{V}$$

Rendimiento de aplicación:

$$Ra = \frac{\bar{V} + \sigma * x * f - \frac{\sigma}{\sqrt{2 * \pi}} * e^{-\frac{x^2}{2}}}{\bar{V}}$$

Coefficiente de déficit:

$$Cd = 1 - \frac{Ra}{Eda}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos consultados de la Estación Experimental de Cota Cota, se realizó la siguiente comparación para el procedimiento del diseño agronómico.

Tabla 6. Diseño agronómico procedimiento con sales y sin sales.

	Con sales	Sin sales
Etr (mm/día)	0,509	0,509
Fr (Dia)	37,67	32,54
RL	0,013	
Znc (mm)	0,509	0,509
Zbc (mm)	0,607	0,566
Tr (hr)	0,073	0,068
Q (m <sup>3</sup> /hr)	3,520	3,520

Frecuencia de riego (Fr) 1 día

Los resultados obtenidos en ambos métodos muestran una similitud en los cálculos, esto se debe a la baja concentración de sales, según Medrano R. (2006), el agua de riego de Cota Cota, tiene una conductividad eléctrica de 0,00309 dS/m, eh indica que el agua es apta para el riego, por su baja concentración de sales, no se requiere el cálculo de lavado de sales.

La frecuencia de riego seleccionada es de un día para ambos métodos por ser la más recomendada. En la metodología de sin lavado de sales la eficiencia de aplicación es de 90 %. Se usó una eficiencia de aplicación de 85 % por las características de clima, suelo y profundidad radicular del cultivo, (Tabla 1) en la metodología con lavado de sales, según Salas y Pérez (2007).

La eficiencia de aplicación según el clima, suelo y profundidad radicular se adecua a las condiciones del lugar donde se realice el sistema de riego, el cálculo de lavado de sales para evitar la acumulación de sales en el área radicular del cultivo, si la conductividad eléctrica del agua fuera mayor a 0,7 dS/m.

Se realizó la medición de un sistema de riego por goteo ya instalada en un invernadero de la Estación Experimental de Cota Cota, para el proceso del diseño hidráulico, los datos necesarios son los siguientes.

Tabla 7. Datos Sistema de riego por goteo.

Laterales	Terciarias	Principal
Ha: 15 m.c.a.	Lt: 5 m	Iop: 0 m
Qe: 2 lt/hr	Iot: 0 m	Lp: 1 m
Ll: 29 m	Nl:9	
Iol: 0,45 m	Sl: 0,3	
Ne: 1	Distancia	
x: 0,4	entre	
CU: 0,85	laterales:	
CV: 0,03	entero.	
Se: 0,3	Pendiente:	
Distancia	Sin	
entre	pendiente	
emisores:		
entero.		
Pendiente:		
descendente.		

Fuente: Estación Experimental de Cota Cota, Facultad de Agronomía (2020).

Se incorporo la ecuación de Pouseuille para el cálculo de la viscosidad cinemática del agua (v) y se realizó la comparación con la viscosidad cinemática del agua disponible en tablas, la cual es necesaria para las ecuaciones de perdida de carga de Blasius y Darcy Weisbach, la temperatura con la que se trabajo fue de 20 °C (Butron C, 2017), la viscosidad cinemática a esta temperatura es de 1,02 E-6 m<sup>2</sup>/s en la ecuación de Poiseuille y en tabla.

En la ecuación de Darcy Weisbach, se realizó una comparación de la ecuación de Colebrook White y Swamee Jain, para el factor

de fricción (f). Se uso el método de Newthon Raphson para el cálculo del diámetro y (f) en la ecuación de Colebrook.

Tabla 8. Diseño del lateral comparación de la viscosidad (v) y el factor de fricción (f).

Variable	Blasius		Darcy Weisbach	
	Pouseuille	(v) Tabla	Pouseuille Colebrook	(v) Tabla Swamee Jain
F	0,369	0,369	0,388	0,388
Dtl (mm)	6,71	6,70	6,96	8,24
hfl (m)	1,017	1,014	1,011	1,021
hfri (m)	0,375	0,374	0,342	0,345
hol (m)	10,936	10,934	10,903	10,906

Tabla 9. Diseño de la terciaria comparación de la viscosidad (v) y el factor de fricción (f).

Variable	Blasius		Darcy Weisbach	
	Pouseuille	(v) Tabla	Pouseuille Colebrook	(v) Tabla Swamee Jain
F	0,423	0,423	0,391	0,391
Dtt (mm)	5,992	5,986	6,249	7,164
hft (m)	0,057	0,0568	0,057	0,0571
hfri (m)	0,024	0,024	0,022	0,0223
hot (m)	10,96	10,958	10,926	10,928

Tabla 10. Diseño de la principal comparación de la viscosidad (v) y el factor de fricción (f).

Variable	Blasius		Darcy Weisbach	
	Pouseuille	(v) Tabla	Pouseuille Colebrook	(v) Tabla Swamee Jain
hfrp (m)	0,011	0,011	0,011	0,0114
hop (m)	10,971	10,969	10,937	10,940

En la ecuación de Blasius en su forma general los resultados se asemejan mucho, al incorporar la ecuación de Pouseuille la cual no tiene mucha diferencia con la viscosidad obtenida en tablas, al usar la ecuación de Pouseuille los resultados se adecuan a cualquier temperatura que el agua tuviera, ya que el caudal

del agua varía de acuerdo al impacto de la temperatura en la viscosidad del agua.

La ecuación de Colebrook es la más recomendable para el cálculo de f, pero por tener un procedimiento tedioso muchos optan por otras opciones, el avance de la tecnología permite facilitar estos cálculos usando un programa o la opción solve, para poder usar este tipo de ecuaciones implícitas. En el cálculo del diámetro se usó la metodología de Newthon Raphson para el cálculo de la perdida de carga en Darcy Weisbach.

### Programa Agrologic

Con los diagramas de flujo mostrando todo el proceso para los cálculos del diseño agronómico e hidráulico, se realizó la programación en la plataforma de Visual Studio, obteniendo un programa interactivo con el usuario mostrando mensajes de ayuda (tooltips), una base de datos de suelo y cultivo necesarios para el uso del programa.

El llenado de datos en el diseño agronómico se lo realizo con los datos obtenidos de la Estación Experimental de Cota Cota, para poder introducir los datos de suelo se debe seleccionar “Usuario”, o seleccionar una de las doce clases texturales.

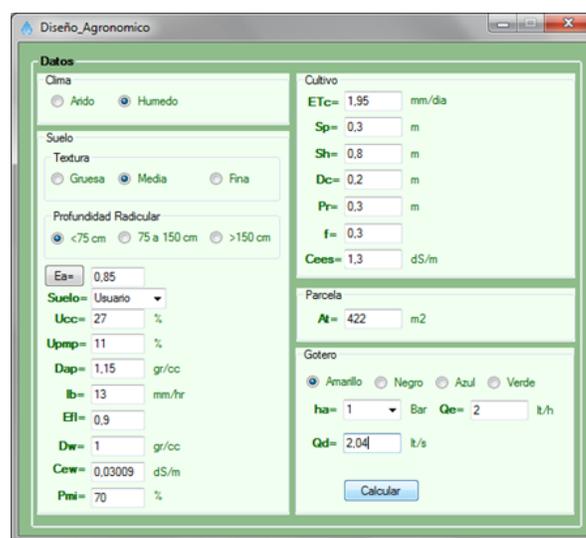


Figura 1. Diseño agronómico llenado de datos.

El diseño de la ventana de los resultados se lo realizo de la siguiente manera:

Selección:

- Método del Factor de cobertura (Kr)
- Frecuencia de riego (Fr).

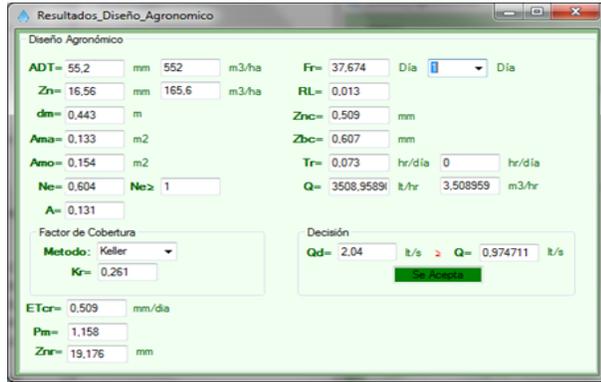


Figura 1. Diseño agronómico resultados.

En el diseño hidráulico se seleccionó la ecuación de Blasius, Darcy Weisbach y Hazen Williams para el cálculo de pérdida de carga (hf), el usuario podrá escoger entre estos tres métodos.

Para comprobar de que el programa realiza los cálculos de forma correcta se usó la calculadora Classpad II, con la cual verifco los resultados obtenidos con el programa, esto se lo siguió con cada ecuación de pérdida de carga obteniendo los siguientes resultados con el programa:

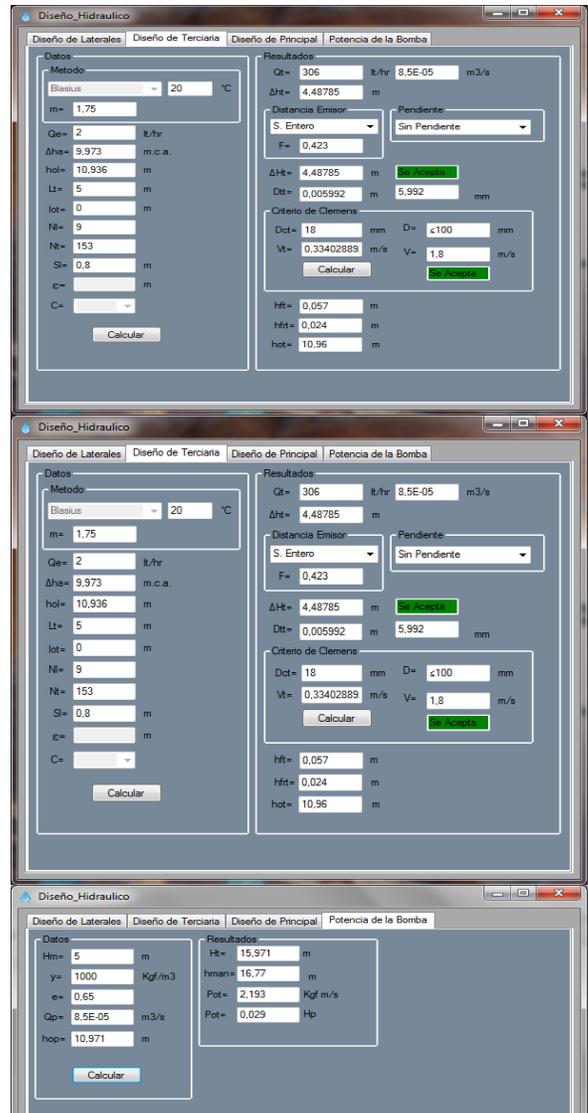
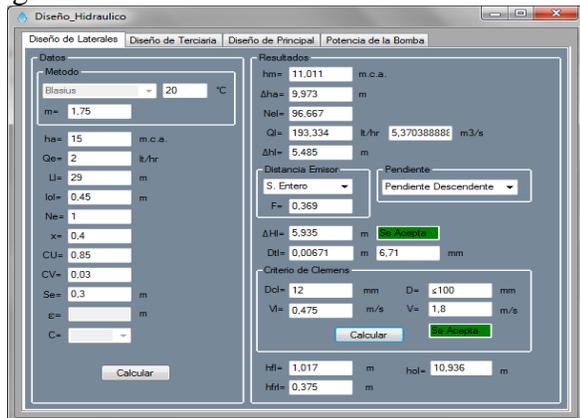


Figura 3. Diseño hidráulico Blasius (formula general).

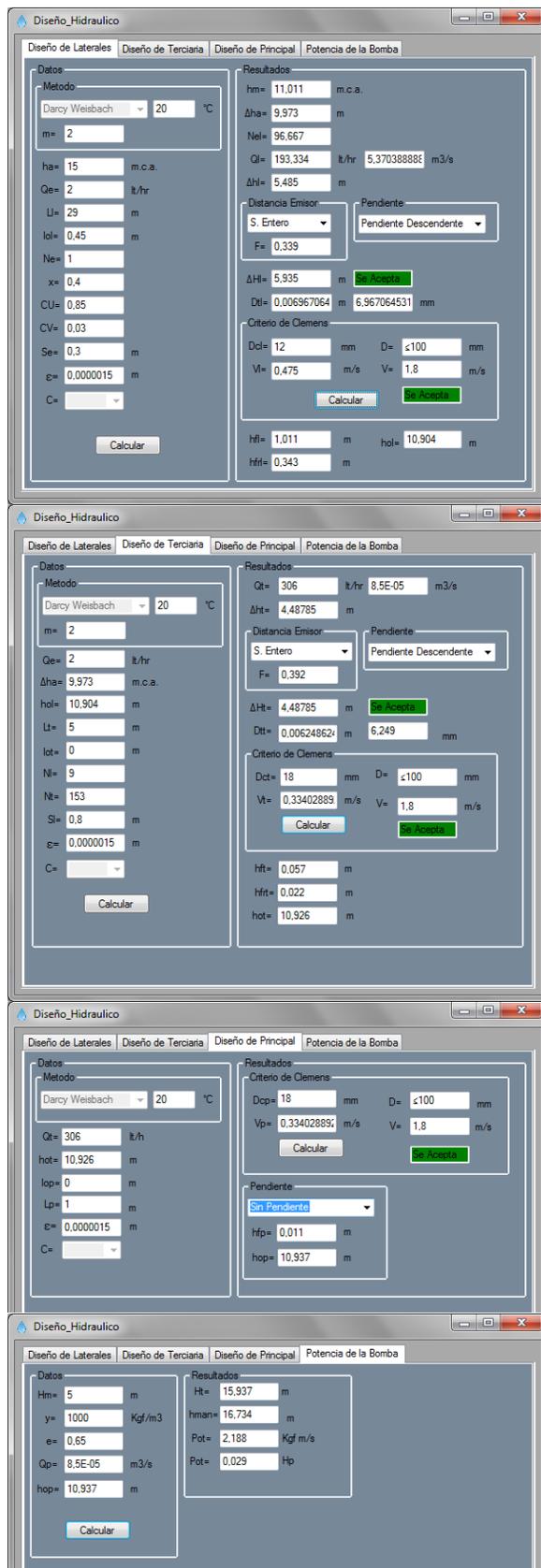


Figura 4. Diseño hidráulico Darcy Weisbach.

El procedimiento del diseño hidráulico usando la ecuación de Blasius fue el siguiente:

Calculo:

- (Pouseuille) Viscosidad cinemática del agua ( $\nu$ ).

- Distancia de los emisores y laterales

Selección:

- Sentido de la pendiente.

El procedimiento del diseño hidráulico usando la ecuación de Darcy Weisbach fue el siguiente.

Calculo:

- (Pouseuille) Viscosidad cinemática del agua ( $\nu$ ).

Selección.

- Distancia de los emisores o laterales.
- Sentido de la pendiente.

Método de Newthon Raphson:

- Diámetro teórico (dt).
- (Colebrook) Factor de fricción (f).

No se realizó ningún cambio en el procedimiento del diseño hidráulico, empleando la ecuación de Hazen Williams. Los resultados conseguidos con el programa fueron verificados manualmente en la calculadora Classpad II en el cual se obtuvo los mismos resultados.

En el sistema de riego por goteo de la Estación de Experimental de Cota Cota, del cual se obtuvo los datos para ejecutarlas en el programa Agrologíc, no se observó una bomba, para el cálculo de la potencia de la bomba se tomó datos con referencia a libros y datos técnicos El diseño del programa para el cálculo del diseño hidráulico se lo elaboro por subprogramas para un manejo más fácil.

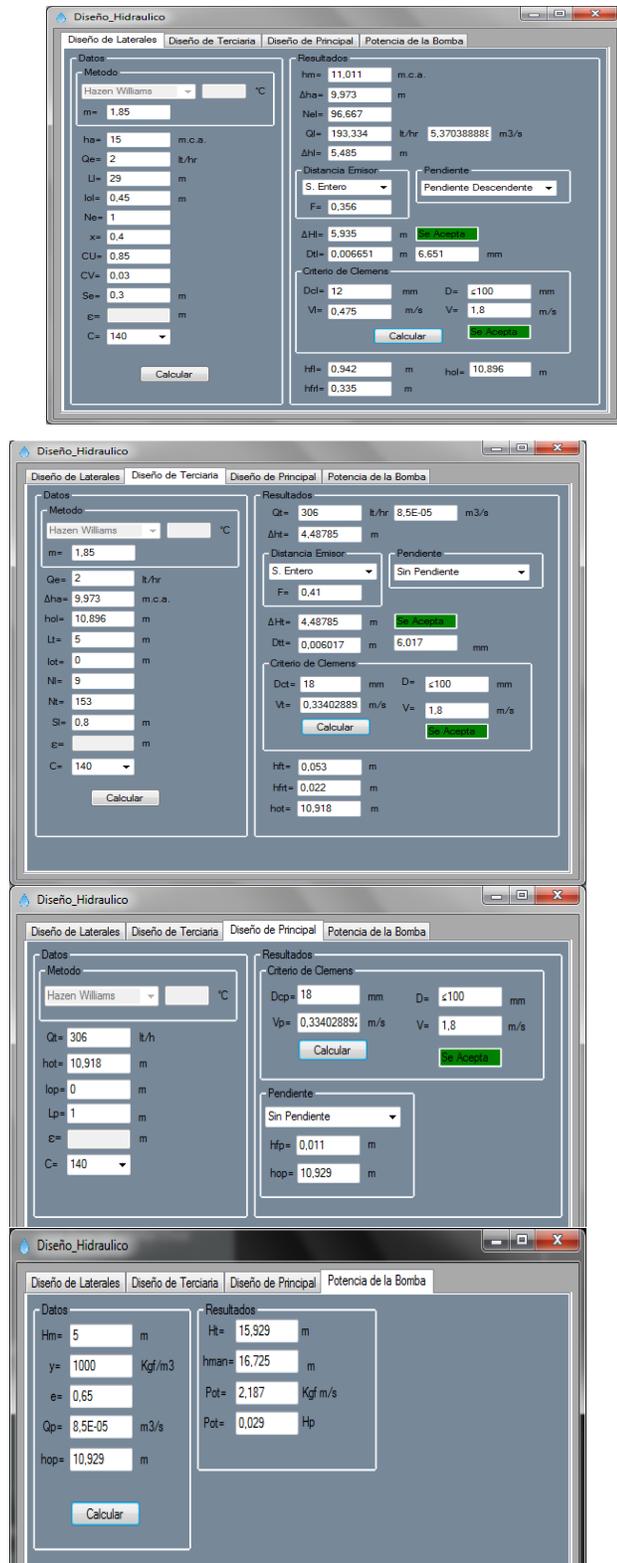


Figura 2. Diseño hidráulico Hazen Williams.

## Validación del programa

Para la validación del programa se realizó la comparación de los resultados siguiendo el procedimiento recomendado por Agro Náyade, Chow J y el uso del Software Aqua y Tlaloc, tomando las variables más importantes en el diseño agronómico para el riego por goteo.

Tabla 11. Comparación del diseño agronómico con otros autores; lámina bruta, frecuencia de riego, tiempo de riego y caudal necesario.

Variable	Agro náyade	Chow	Veintimilla Tlaloc y Aqua	Agrológic
Zbc (mm/día)	0,599	0,688	0,000	0,607
Fr (día)	1,000	1,000	1,000	1,000
Tr (horas)	0,071	0,083	0,280	0,073
Q (m3/hora)	3,500	3,520	3,290	3,510

Lamina bruta corregida (Zbc), frecuencia de riego (Fr), Tiempo de riego (Tr) y Caudal (Q).

La frecuencia de riego (Fr) tomada para todos los métodos es de un día, autores como agronayade calculan la frecuencia de riego como un intervalo máximo de riego y calculan el caudal en relación al volumen total y el tiempo de operación (Top). Chow, calcula el caudal del diseño en volumen por tiempo de riego. Veintimilla, calcula el caudal requerido entre la lámina bruta corregida.

Los resultados obtenidos con el programa Agrológic, considera el lavado de sales un problema actual que disminuye la producción de los cultivos, el actual problema del agua. Son factores que deben ser considerados en el proceso del diseño agronómico.

## Diseño hidráulico

Para la validación de la metodología del diseño hidráulico se realizó una comparación con el uso de la ecuación de pérdida de carga de Hazen Williams siendo el método que no cambio en su metodología, la consideración de la Viscosidad cinemática en relación a la temperatura en la ecuaciones de Blasius y Darcy Weisbach, y el uso de la ecuación de Colebrook, para saber en cuanto varia se usó el coeficiente

de variación como indicador esto se lo realizó en el cálculo de diseño de laterales, diseño de terciarias, diseño de la principal y potencia de la bomba.

En la evaluación solo se consideró Factor de fricción de Christiansen (F), Diámetro teórico (Dt), pérdida de carga (hf), pérdida de carga reducida (hfr), presión al inicio (ho), y potencia de la bomba (valor en kgf), debido a que el resultado es diferente para cada método.

Tabla 12. Diseño de laterales.

Variable	Blasius	Darcy Weisbach	Hazen Williams
F	0,369	0,338	0,356
Dt (m)	6,710 E <sup>-3</sup>	6,960 E <sup>-3</sup>	6,650 E <sup>-3</sup>
hfl (m)	1,017	1,011	0,942
hfri (m)	0,375	0,342	0,335
hol (m)	10,936	10,903	10,896

Tabla 13. Diseño de terciarias.

Variable	Blasius	Darcy Weisbach	Hazen Williams
F	0,423	0,391	0,410
Dt (m)	5,992	6,240	6,020
hfl (m)	0,057	0,057	0,053
hfri (m)	0,024	0,022	0,022
hol (m)	10,960	10,926	10,918

Tabla 14. Diseño de la principal.

Variable	Blasius	Darcy Weisbach	Hazen Williams
hfp (m)	0,011	0,011	0,011
hop (m)	10,97	10,94	10,93

Tabla 15. Potencia de la bomba.

Variable	Blasius	Darcy Weisbach	Hazen Williams
Ht (m)	15,97	15,97	15,93
Hp (m)	16,77	16,77	16,73
Pot (Kgf)	2,19	2,19	2,19

Los resultados para el diseño de laterales, terciarias y la principal se encuentran en un rango

aceptable por tener un coeficiente de variación (CV) de 0,18 % en el procedimiento del diseño hidráulico, no existe variación en los resultados obtenidos con la ecuación de Blasius, Darcy Weisbach y Hazen Williams.

### Evaluación de un sistema de riego por goteo

Tabla 16. Volumen obtenido por los emisores en (ml).

	R. Inicio	R. 1/3	R. 2/3	R. Final
P. Inicio	160	149	160	114
P. 1/3	113	183	180	184
P. 2/3	158	180	175	156
P. Final	166	180	118	171

La uniformidad de distribución (UD) es de 77,58 % el caudal medio (q) de 33,94 ml/min en relación al volumen medio y el tiempo de realización de la prueba, el caudal medio del cuarto ( $q_{1/4}$ ) de los datos fue de 26,33 ml/min, sabiendo que el Coeficiente de Variación (CV) es de 0,03 según el fabricante, con este valor y según la clasificación de Merriam y Keller (Cuadro 9.) se obtiene una clasificación regular por obtener el 74,6 % en la uniformidad de emisión (UE) y un coeficiente de uniformidad (CU) 88,45 % lo cual indica que es muy buena.

### Diagrama de manejo

Los datos pueden ser ajustados a una función de distribución normal (Figura 6), a partir de estos datos se puede establecer una relación entre la lámina aplicada y la fracción del suelo suficientemente regada y el diagrama de manejo para la evaluación (Figura 7).

Tabla 17. Resultado de volumen emitido por emisor, fracción del suelo (f), lamina requerida (Vr), Rendimiento de aplicación (AE) y Coeficiente de descarga (Cd).

V (ml)	f	Vr	AE	Cd
113	0,999	0,71	0,700	0,014
114	0,953	0,72	0,716	0,010
118	0,930	0,75	0,741	0,010
149	0,624	0,94	0,899	0,049
156	0,525	0,99	0,924	0,065
158	0,496	1,00	0,931	0,071
160	0,468	1,01	0,937	0,076
160	0,468	1,01	0,937	0,076
166	0,383	1,05	0,953	0,094
171	0,316	1,08	0,964	0,111
175	0,267	1,11	0,971	0,124
180	0,211	1,14	0,979	0,142
180	0,211	1,14	0,979	0,142
180	0,211	1,14	0,979	0,142
183	0,181	1,16	0,983	0,153
184	0,172	1,17	0,984	0,157

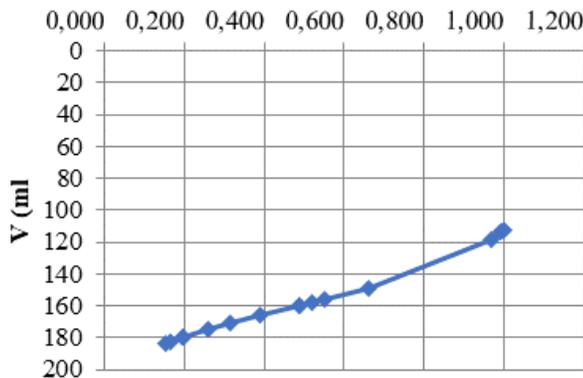


Figura 6. Ajuste de la distribución normal a los datos de campo

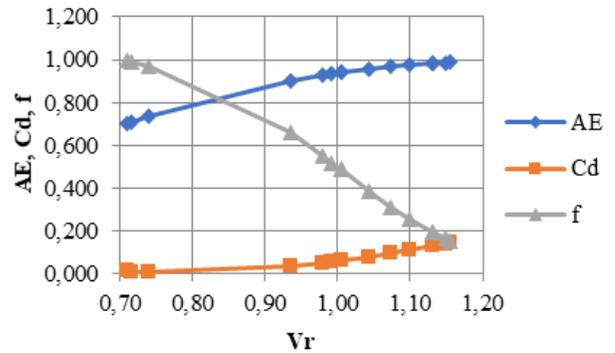


Figura 7. Diagrama de manejo del riego para una función de distribución normal.

El rendimiento de aplicación (AE) tiene la probabilidad de ir aumentando desde 0,70 hasta 0,93, sin que la lámina requerida (Vr) sobrepase a la lámina bruta acumulada (Hba), significa que como mínimo se admite un déficit de 1,4 % y como máximo 7,1 %, con una fracción de suelo adecuadamente regada entre el 99,9 % y 49,6 % respectivamente, aunque lo ideal será mantenerse cercano al 85% de fracción del suelo adecuadamente regado (Cd = 4,9% y AE=89,9 %).

### CONCLUSIONES

Sobre el programa realizado y las consideraciones que se tomaron en su desarrollo se presentan las siguientes conclusiones:

La elaboración de un programa permite sistematizar y automatizar todo tipo de información, permitiendo realizar una tarea en específico en el menor tiempo posible, la creación de nuevas herramientas y el uso de estas permite al ingeniero agrónomo el elaborar un proyecto de riego en el menor tiempo posible.

Es necesario estar actualizado e informado de los problemas actuales que existen en el ámbito de la agronomía, así como también tener las herramientas capaces de afrontar estos problemas, los programas existentes ayudaron mucho, pero con el avance de la tecnología que cambia en el tiempo estas herramientas van quedando obsoletas por lo que es necesario actualizarlas.

La importancia del requerimiento de lavado de sales en el área radicular del cultivo permite evitar pérdidas en la producción, por lo que es importante obtener los datos de la conductividad eléctrica del agua y el suelo, esto es un indicador de la presencia de sales, y es necesario elaborar un diseño agronómico que lo considere.

La influencia del incremento en la temperatura del agua influye en la viscosidad cinemática del agua y influyendo en el caudal del agua, las ecuaciones disponibles para el cálculo de pérdida de carga de Blasius son de 10 a 20 °C. y las viscosidades cinemáticas del agua disponibles en tablas vienen en un intervalo de 5 °C, con la ecuación de Pouseuille se podrá obtener la viscosidad cinemática para cualquier temperatura.

El método de Newton Raphson, permite resolver ecuaciones implícitas los cuales requieren de muchas iteraciones para poder resolverlas, este método resulta tedioso e incluso frustrante el uso de un programa facilita este procedimiento realizándolo en el menor tiempo posible.

La realización de un programa considerando todas las herramientas necesarias para el diseño de un sistema de riego por goteo como tablas, mensajes de ayuda y parámetros que indiquen si los resultados son aceptables facilita mucho el uso de este.

Los resultados obtenidos con el programa Agrologic no tienen mucha variación con la metodología de otros autores, obteniendo resultados aceptables. el uso del programa considera la temperatura del agua y el lavado de sales.

Es importante el realizar una evaluación del sistema de riego ya que esto permite detectar a tiempo alguno de los componentes que afecten negativamente a la uniformidad de un sistema de riego por goteo.

## **RECOMENDACIONES**

En base a los resultados obtenidos al realizar el programa se recomienda lo siguiente:

Estar actualizado con el avance de la tecnología, mucho de los avances que se dan es para facilitar las tareas que realiza el hombre día a día, la informática es un área necesaria para el desarrollo de nuevas herramientas para el profesional.

Se debe considerar el requerimiento de lavado de sales en el proceso del diseño agronómico, esto para prevenir el acumulamiento de sales en el área radicular del cultivo y así poder evitar pérdidas en la producción.

Es necesario contar con los datos de conductividad eléctrica del agua y el suelo para el uso del programa.

La eficiencia de aplicación depende del clima, suelo y la profundidad radicular esta varía de acuerdo a estos factores considerando estos factores es recomendable usar el criterio de Keller para la eficiencia de aplicación.

La viscosidad cinemática es influenciada por la temperatura del agua este es un factor influye en el caudal del riego es recomendable usar la ecuación de Pouseuille por adecuarse a cualquier temperatura.

Los resultados obtenidos con un programa son obtenidos en el menor tiempo posible, se recomienda saber el proceso que realiza el programa para no cometer errores en el desarrollo de un proyecto de riego.

La evaluación de uniformidad de un sistema de riego es importante, ya que un mal manejo afecta en la distribución de agua de manera equitativa, por lo que es importante evaluar la uniformidad y ubicar las fallas en el sistema de riego por goteo.

## **REFERENCIA BIBLIOGRAFICA**

Aliaga F; Castelo P; Condori N; Espinosa J; Flores M; Lopez C; Mamani J; Montevilla V; Quispe M; Reinaga A; Ruiz M; Tazola

- V (2009). Riego por Goteo, en cultivos agrícolas de Allium Ceparosacea, Prunus persicum. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de técnica, instituto de Investigaciones y aplicaciones tecnológicas (IIAT). La Paz – Bolivia.
- Ameller A. (2001). Desarrollo de un software para diseñar sistemas de riego por aspersión (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. La Paz – Bolivia.
- Amoros M. (2000). Riego por goteo en cítricos, Agroguias Mundi-Prensa, Ediciones Mundi-Prensa, España.
- Butron C. (2017). Calibración de la ecuación FAO Penman Monteith para calcular la evapotranspiración de referencia Eto en condiciones de invernadero en el centro experimental Cota cota. (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. La Paz – Bolivia.
- Carrazón J, (2007), Manual práctico para el diseño de sistemas de mini riego, Programa especial para la seguridad alimenticia (PESA), Honduras, 218 pp.
- Chamboleyron J. (1993). Diseño y evaluación del riego presurizado. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz – Bolivia.
- Chow J, (S. F). Cálculos de requerimientos de riego, Recuperado de: [http://www.riego.elesteliano.com/ayuda/Fto2\\_Requerimientos\\_de\\_riego.html](http://www.riego.elesteliano.com/ayuda/Fto2_Requerimientos_de_riego.html)
- Chipana R. (2003). Principios de riego y drenaje. Facultad de Agronomía UMSA La Paz-Bolivia.
- Escuela Agrícola Panamericana (2012). Bachillerato técnico en agricultura módulo 5 manual de riego y drenaje. Carrera de ciencia y producción agropecuaria, El Zamorano Honduras 117 pp,
- Facultad de agronomía UMSA. (2015). Memoria Institucional Gestión 2012 – 2015. Facultad de Agronomía UMSA. La Paz-Bolivia, 134 pp.
- Fernández G. R. (2010). Manual de riegos para agricultores módulo 1 fundamentos del riego. Junta de Andalucía. Instituto de investigación y formación agraria y pesquera. Sevilla España.
- Fernández G. R. (2010). Manual de riegos para agricultores módulo 3 riego por aspersión. Junta de Andalucía. Instituto de investigación y formación agraria y pesquera. Sevilla España.
- Fernández G. R. (2010). Manual de riegos para agricultores módulo 4 riego localizado. Junta de Andalucía, Instituto de investigación y formación agraria y pesquera, Sevilla España.
- Franco A. Pérez L. (2007-2008). Hidráulica y riegos. Universidad de Sevilla, Enseñanza virtual, Sevilla España. Recuperado a partir de: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/material-de-clase-1/>
- García J. (1999). Aprenda Visual Basic 6,0 como si estuviera en primero. Escuela Superior de Ingenieros Industriales de San Sebastián. Universidad de Navarra.
- Luna D. (2006). Introducción al riego presurizado y diseño de riego de un sistema de riego por aspersión. Parte I. Programa de Post Grado en gestión Integral de recursos Hídricos – UMSS. Cochabamba – Bolivia. 38 pp.
- Luna F, (2010). Visual Basic guía definitiva del programador. RED USERS. Buenos Aires, Argentina disponible en: <http://www.freelibros.org/manual/visual->

[basic-guia-definitiva-del-programador-users.html](#)

- Medrano R. (2006). Influencia de la frecuencia de riego por goteo en la calidad de la producción del clavel (*Dianthus carioophyllus*) comercial bajo carpa solar. (Tesis de Grado). Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. La Paz – Bolivia.
- Mendoza A. (2013). Riego por goteo. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal. El Salvador. (Tesis de grado).
- Palomino K. (2007). Riego por Goteo. Colección de agricultura tecnificada. Empresa editora MACRO. Perú. 96 pp.
- Prieto D. (11–14/08/2008). Riego con aguas salinas y aguas de drenaje, control de impacto de salinidad, Jornadas sobre ambiente y riegos modernización y ambientabilidad. MDA, CYTED y AECID curso 14, 40 pp. Recuperado a partir de: <http://studylib.es/doc/5351984/riego-con-aguas-salinas-y-aguas-de-drenaje--control-de-im>
- Quinde P. (2014). Variación de viscosidad con la temperatura, Presentación Prezi. Recuperado a partir de: <https://prezi.com/4tuikzcrhlzw/variacion-de-la-viscosidad-con-la-temperatura/>
- Ríos B. (2014). Diagramas de flujo volumen 1. 2da. ed. Facultad de Ciencias Puras. Carrera de Informática UMSA. La paz Bolivia.
- Ríos B. (2014). Diagramas de flujo volumen 2. 2da. ed. Facultad de Ciencias Puras, Carrera de Informática UMSA. La Paz Bolivia.
- Serrano G. (2014), Ingeniería del riego tecnificado. Primera Edición. Universidad Pública del El Alto. La Paz Bolivia.
- Serrano G. (2015). Diplomado en formulación y evaluación de proyectos de riego presurizado. Segunda Versión, planificación y diseño en riego Presurizado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de agronomía. La Paz – Bolivia.
- Serrano G. (2018). Ingeniería del Riego y Drenaje. Segunda Edición, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz Bolivia.
- Tarjuelo M. (2010). El riego y sus tecnologías. CEER. Centro de Engenharia dos Biosistemas. Instituto Superior de Agronomía. Universidad Técnica de Lisboa. Tapada da Ajuda, Lisboa Portugal. 296 pp.
- Veintimilla M. (2013). Software Aqua. Software para diferentes cálculos de riego. Guayaquil – Ecuador. 174 pp.