

CAPÍTULO I

1.- INTRODUCCIÓN

La escasez de agua constituye una importante limitación para el desarrollo agrícola en las regiones áridas y semiáridas. En muchas áreas mundiales, la competencia creciente por el agua, consecuencia del aumento de la demanda para distintos usos, conlleva un incremento de su costo y una creciente limitación de su disponibilidad para su uso en la agricultura. Para poder alcanzar niveles óptimos en la utilización del agua de riego, se hace necesario la incorporación y el aprovechamiento de los avances científicos de ingeniería y tecnológicos en los regadíos, principalmente en el diseño y proyectos de sistemas de riegos eficientes, así como también en el funcionamiento, conservación y manejos de los distintos métodos de riegos. (Santos, 2010).

El riego es la aplicación de agua al suelo en forma artificial, oportuna y uniforme. De esta definición se desprende que para regar no basta aplicar agua al suelo a través de cualquier metodología, sino que es necesario hacerlo en forma oportuna, manejando las frecuencias y los tiempos de aplicación de acuerdo a las características del cultivo, clima y suelo (INIA, 2005).

El riego superficial es la técnica de mayor uso en la aplicación de agua en la agricultura mundial, en Chile representa más del 95% de la superficie regada, con eficiencias de aplicación que varían entre 10 y 50%. El riego por surco es una alternativa de este tipo de riego, que está orientado a cultivos en hileras y huertos frutales que son los de mayor rentabilidad económica. Su eficiencia promedio es del 50%, pero una mala implementación puede bajar su eficiencia a un 30%; esto quiere decir que de 100 litros, sólo 30 litros llegan al cultivo (Matas, 1995).

Según el Censo Agropecuario del año 2007, la superficie de riego es de 11.167,86 ha en la región de Arica y Parinacota; de la cual el 80% equivale a 8.987,26 ha regadas con sistema de riego gravitacional.

Entre los métodos de riego gravitacionales, el primer lugar lo ocupa el riego tendido con un total de 7.130,21 ha; lo sigue el riego por surcos con un total de 1.482,95 ha y finalmente otros sistemas gravitacionales que corresponden a 374,10 ha.

El riego por surcos en el cultivo del maíz, es el método de riego más predominante en el valle de Lluta y muchos agricultores creen manejarlo adecuadamente, es por ello que el siguiente trabajo realizado en terreno, pretende evaluar la eficiencia de aplicación del agua de riego de los sistemas de riego por surcos en el cultivo del maíz, en tres sectores del valle de Lluta, ubicados en la zona baja definidos entre los kilómetros, 1 al 12; en la zona media considerada, entre los kilómetros 12 al 30 y en la zona alta aguas arriba del km 30 del valle. Además este estudio busca averiguar si dicha eficiencia tiene relación con los niveles de salinidad que presentan los suelos de cada sector.

1.1.- HIPÓTESIS

- **Hipótesis Nula**

Los agricultores manejan adecuadamente el sistema de riego y existe relación entre la eficiencia del sistema de riego por surcos y la salinidad de los suelos en los sectores estudiados del valle de Lluta.

- **Hipótesis Alternativa**

Los agricultores no manejan adecuadamente el sistema de riego y existe relación entre la eficiencia del sistema de riego por surcos y la salinidad de los suelos en los sectores estudiados del valle de Lluta.

1.2.- OBJETIVO GENERAL

- Determinar las eficiencias de aplicación del agua de riego de los sistemas de riego por surcos en el cultivo del maíz, en el valle de Lluta y su relación con la salinidad de los suelos.

1.2.1.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el sistema de riego por surcos en el valle de Lluta en relación a:
 - ✓ Ancho y largo del surco del surco
 - ✓ Número de surcos por unidad de riego
 - ✓ Número de unidades de riego
 - ✓ Caudal de riego
 - ✓ Tiempo de riego
 - ✓ Humedad disponible
 - ✓ Velocidad de infiltración
- Definir la eficiencia de aplicación del agua de riego de los sistemas de riego por surcos en el valle de Lluta.
- Cuantificar los niveles de salinidad en el suelo asociado a diferentes eficiencias de aplicación del agua de riego.
- Diseñar un sistema de riego por surcos basado en las características hídricas de los suelos de tres sectores del valle de Lluta.

CAPITULO II

2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1- Valle de Lluta

La hoya del río Lluta se extiende entre los 17°40" y los 18°25" de latitud Sur, y entre los 69°22" y 70°20" de longitud Oeste. Tiene su origen en las altas cumbres cordilleranas y desemboca en el mar de Chile, a 10 km al sur de la frontera de Chile con el Perú (INGENDESA, 1995).

El río Lluta abarca una cuenca de drenaje de 3.378 km² (JICA, 1995). La precipitación de la cuenca se concentra en la sección superior de la Cordillera de los Andes a una altitud de 4.000-5.000 msnm. El agua es recolectada por los tributarios y transferida por el río principal para ser descargada al mar al norte de la ciudad de Arica.

El agua del río Lluta se caracteriza por tener una alta concentración de sales y otros elementos químicos como boro, cloruros y sulfatos, que la hacen inútil para ciertos usos, pues desde su nacimiento a la desembocadura predominan diferentes contaminantes. Las principales características de la calidad del agua de la cuenca del río Lluta son las siguientes: Las mayores fuentes de As son los ríos Azufre y Colpita superior que representan el 86,4% del total de As de la cuenca. La principal fuente de Fe es el río Azufre, con un porcentaje de 75% del total de Fe de la cuenca. Los ríos Azufre y Colpitas superior son grandes fuentes de B. No obstante, una parte considerable proviene de otras fuentes. Los elementos As y Fe disminuyen gradualmente desde Tocontasi hasta Panamericana; en tanto el B, Cl⁻ y SO₄²⁻ aumentan aguas abajo. En cuanto a RAS, los mayores valores se encuentran en las aguas correspondientes al río Colpitas, en las aguas correspondientes al río Lluta en Panamericana y aguas correspondientes a la desembocadura. La concentración de iones medida a través de la conductividad eléctrica muestra que existe una tendencia al aumento desde el nacimiento a la desembocadura, situación atribuible a la ganancia de sales durante su recorrido tanto por las aguas de drenaje como por el arrastre de las sales desde los terrenos.

La salinidad del agua es el principal factor limitante para el desarrollo agrícola de Lluta. En este caso la agricultura está restringida solamente a aquellos cultivos que resisten la salinidad total y toxicidad específica por boro, sulfatos y cloruros, lo que limita sustancialmente la diversificación de cultivos y su producción. La alta concentración salina del agua de riego, la toxicidad específica antes indicada y la condición de insuficiente drenaje de los suelos han originado una acumulación de

sales en el perfil de suelo; gran parte de los suelos presentan condiciones de drenaje restringido, lo cual dificulta el lixiviado, generándose una acumulación permanente y ascendente, que hace poco factible la incorporación de cultivos resistentes a las actuales condiciones, por cuanto, de no intervenir el sistema de drenaje, el suelo cultivado y regado con el agua actualmente disponible, alcanzará niveles de sales que superarán los niveles de los posibles nuevos cultivos introducidos en el valle (Torres y Acevedo, 2008).

2.2.- Clima del valle de Lluta

La cuenca del río Lluta se encuentra inserta, al igual que todo el extremo norte del país, en zona intertropical de Sudamérica (Aceituno, 1996). Influenciada por el régimen costero de nubosidad baja; “camanchaca”, alta radiación y temperaturas cálidas, libre de heladas (Bastías, 2005). Estas cualidades desde el punto de vista meteorológico y climático son gracias a la presencia del Anticiclón del Pacífico, correspondiente a una zona de alta presión permanente, ubicada en el pacífico suroriental, que influencia al espacio regional nortino chileno, al originar condiciones de gran estabilidad atmosférica, situación producida por el poderoso efecto de subsistencia que afecta las masas de aire . Estas masas de aire descendentes del anticiclón, de mayor temperatura, entran en contacto con masas de aire superficiales que se encuentran relativamente frías, a causa de la presencia de la corriente de Humboldt y las áreas de surgencias de aguas oceánicas de menor temperatura, la que genera una inversión térmica, con efecto bloqueo que se presenta entre los 800 y 900 m.s.n.m. Este fenómeno impide que se presenten movimientos convectivos necesarios para que se produzcan precipitaciones, sin embargo favorece la presencia de abundante nubosidad de tipo estratocúmulo, a una altura que fluctúa entre los 800 a los 1200 m.s.n.m, fenómeno que se desarrolla preferentemente en el litoral y los primeros kilómetros de ingreso a los valles transversales del norte como el Valle de Lluta (Silob chile, 2000). Según clasificación de Koeppen (1940), se distinguen la tipología climática denominada Clima Desértico Normal.

2.3.- Clasificación de suelos del valle de Lluta

Tabla N°1.- Características químicas de los suelos del valle de Lluta

	Suelos que ocupan posición baja		Suelos que ocupan terrazas aluviales recientes		Suelos que ocupan terrazas intermedias antiguas	
	Superficial	Profundidad	Superficial	Profundidad	Superficial	Profundidad
pH	F Ac*	Mod Alc **	Mod Ac***	Neutro	Mod Ac	
CE	4,5 a 99,8	2,9 a 5,9	2,2	13,4	5,9	2,2
PSI	6 a 56%	12%	8%	13%	10%	
B ppm	10	19 a 938	4	20	19,4	
Cloruros	20,4 a 1086,6	12,4 a 26,9	9,9	105,9	14,7	7,2
Sulfatos meq/L	40,5 a 270	16,2 a 47,5	12,5	57,5	53,5	9,3
MO %	2,0 a 4,9	0,1 a 4,6	0,2	3,4	1,4	0,5

Fuente : INDERCO, Ltda., 1980.

* : Fuertemente ácido.

** : Moderadamente alcalino.

*** : Moderadamente ácido

- **Suelos que ocupan posición baja, estratificados:** Corresponden a las series Huaylacán, La Palma y Rosario. Se caracterizan por ser suelos de origen aluvial, profundos, altamente estratificados, con texturas medias a gruesas, con nódulos salinos en sus primeras estratas, presumiblemente de cloruros y sulfatos, de estructura de bloques subangulares y angulares gruesos. Con napa de agua libre fluctuante entre 60 y 175 cm de profundidad.
- **Suelos que ocupan terrazas aluviales recientes, menos estratificados:** Corresponden a las series El Carmen y Santa Lucía. Se caracterizan por ser suelos aluviales recientes, poco estratificados, moderadamente profundos a medio, descansando sobre un sustrato aluvial de arenas gruesas, gravas y piedras de litología heterogénea.

De texturas moderadamente fina, media y moderadamente gruesa, color pardo a pardo grisáceo, estructura de bloques subangulares gruesos y débiles a sin estructura, raíces finas abundantes a comunes y buena porosidad, moteados ferruginosos en el subsuelo, prominentes, de color pardo rojizo.

- **Suelos que ocupan terrazas intermedias antiguas:** Corresponden a las series Carrunchos y Gentilar. Se caracterizan por ser suelos aluviales antiguos, ocupando preferentemente terrazas de posición intermedia en la parte central del área, moderadamente profundos a

delgados. Texturas moderadamente gruesas a muy gruesas, color pardo a pardo oscuro, estructura de bloques subangulares, angulares gruesos, débil a no estructurado (Torres y Acevedo, 2008).

El uso de los suelos en el valle de Lluta está regulado por las siguientes limitantes (INGENDESA, 1993a, Kosmas C., and N. Moustakas, 1990, INGENDESA, 1995b):

- Salinidad, tanto del suelo como del agua del río caracterizada por una alta concentración de sulfatos, cloruros de sodio.
- Concentración de boro en agua del río Lluta y en las estratas superficiales de los suelos, entre 9 y 29 mg/L, que constituye una limitante general para la adaptación de cultivos al valle,
- Problemas de drenaje interno de los suelos, que amplifica el efecto de las limitantes anteriores, (Torres y Acevedo, 2008).

2.4.- Calidad del agua del valle de Lluta

La salinidad del agua es el principal factor limitante para el desarrollo agrícola del valle de Lluta. Por esta razón existe una restricción abocada sólo a cultivos resistentes a la salinidad total y toxicidad específica por boro, sulfatos y cloruros, lo que limita sustancialmente la diversificación de cultivos, (tabla N°2) (Torres y Acevedo, 2008).

Tabla N°2- Calidad del agua de riego en el valle de Lluta.

Parámetro	Parte alta	Parte media	Parte baja
pH	7,89	7,79	8,16
CE (dS/m)	2,2	3,22	5,5
Ca ²⁺ (meq/L)	6,98	9,75	20,24
Mg ²⁺ (meq/L)	2,39	4,41	8,46
Na ⁺ (meq/L)	8,9	11,41	22,17
K ⁺ (meq/L)	1,48	1,57	2,56
CO ₃ ⁻ (meq/L)	-	-	1,24
HCO ₃ ⁻	1,88	1,65	1,57
Cl ⁻ (meq/L)	12,00	15,05	31,13
SO ₄ ⁻ (meq/L)	7,35	10,92	21,3
B (ppm)	12,43	13,46	16
RAS	4,11	4,29	5,85
Na %	45,02	42,04	41,65
Clasificación	C3-S1	C4-S2	C3-S2

Fuente: (Torres, A; Jiménez, M., 1998).

Las principales características de la calidad del agua de la cuenca del río Lluta son las siguientes:

- Las mayores fuentes de As son los ríos Azufre y Colpitas superior que representan el 86,4% del total de As de la cuenca.
- La principal fuente de Fe es el río Azufre, con un porcentaje de 75% del total de Fe de la cuenca.
- Los ríos Azufre y Colpitas superior son grandes fuentes de B. No obstante, una parte considerable proviene de otras fuentes.
- Los elementos As y Fe disminuyen gradualmente desde Tocontasi hasta Panamericana; en tanto el B, Cl⁻ y SO₄⁼ aumentan aguas abajo.
- En cuanto a RAS, los mayores valores se encuentran en las aguas correspondientes al río Colpitas, en las aguas correspondientes al río Lluta en Panamericana y aguas correspondientes a la desembocadura. La concentración de iones medida a través de la conductividad eléctrica muestra que existe una tendencia al aumento desde el nacimiento a la desembocadura, situación atribuible a la ganancia de sales durante su recorrido tanto por las aguas de drenaje como por el arrastre de las sales desde los terrenos (Torres y Acevedo, 2008).

Limitaciones por sodio: Se ha entendido originalmente que los suelos presentan problemas de sodificación cuando el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es mayor o igual a 15%, (Marshall, T. *et al.*, 1996), mencionan que muchos suelos son afectados con valores tan bajos como 6% de PSI; para el caso de estudios de riego se ha propuesto la utilización de la RAS del extracto de saturación como un buen índice para estimar el deterioro por sodificación del suelo. (Cook G.D. and W. Muller, 1997) en una amplia revisión de estos criterios encuentran que el PSI y la RAS son de escasa sensibilidad y que a su vez varían ampliamente con el tipo de suelo. Proponen en definitiva la utilización del contenido de sodio intercambiable (CSI). Este elemento tiene efectos sobre la física de los suelos, dispersa los agregados, lo cual se traduce en una disminución de la cantidad de agua disponible para los cultivos (El-Swaify, 2000) asociada a una pérdida de la estructura, lo que se asemeja al efecto de bajos contenidos de materia orgánica (Tarkiewicz, and Nosalewicz, A., 2005); el efecto finalmente se traduce en una disminución en la velocidad de infiltración dificultando los procesos de lavado, necesarios cuando se utiliza agua con un alto contenido salino.

Limitaciones por cloro: los niveles que presentan las aguas en cada uno de los sectores según las directrices propuestas por (F.A.O, 1987) el agua del río presenta problemas graves dado que el contenido es mayor a 10 meq/L.

Limitaciones por boro: el boro es un elemento esencial en la nutrición mineral de las plantas. Éste es absorbido por las raíces como ácido bórico neutro ($B[OH]_3$) y como borato ($B[OH]_4^-$). La absorción se produce por tres mecanismos: difusión pasiva, transporte facilitado a través de canales proteicos y transporte activo por proteínas específicas (Läuchli, A., 2002; Dannel, F.; Pfeffer, H.; Römheld, V., 2002; Brown, P.H. *et al.*, 2002). Forma parte de la pared celular y complejos estables en la membrana plasmática, y estimula la germinación del polen y la elongación del tubo polínico. En la mayoría de los cultivos los síntomas de toxicidad se presentan cuando la concentración de boro en las hojas supera 250 a 300 mg kg⁻¹ (peso seco) (Ayers, R.S.; Westcot, D.W., 1989). (Torres y Acevedo, 2008).

2.5.- Riego por superficie o por gravedad

El riego por superficie o por gravedad es un sistema de riego en donde el agua fluye por su propio peso, utilizándose la superficie del suelo agrícola para la distribución del agua.

El caudal disminuye a medida que el agua avanza por la parcela regada, debido a su infiltración en el suelo. Para que el agua infiltrada se distribuya lo más uniforme posible a lo largo de la parcela, es preciso diseñar y manejar el riego de tal forma que haya un equilibrio entre el avance del agua por la superficie del suelo y la infiltración de la misma.

Las pérdidas de agua se producen por escorrentía superficial y por percolación profunda. La escorrentía superficial puede ocasionar problemas de erosión, La percolación profunda produce lixiviación de nutrientes y sales del suelo, lo que provoca un deterioro de las aguas de drenaje cuando éstas retornan al regadío.

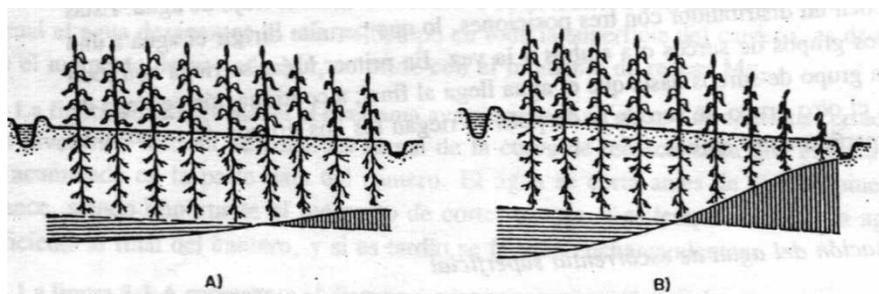
El riego por superficie se realiza en terrenos con pendientes suaves y con suelos relativamente profundos, ya que de otra forma habría que realizar obras costosas de movimiento de tierras, con el inconveniente añadido de dejar al descubierto capas del subsuelo.

El riego por superficie ofrece la ventaja con respecto a otros sistemas de riego, que es de muy bajo coste de instalación (Fuentes Yagüe, 2003).

2.6.- Bases del riego por superficies

En cualquier sistema de riego se pretende que todos los puntos de la parcela reciban la misma o casi la misma cantidad de agua (*uniformidad de distribución*). En el sistema de riego por superficie esto es muy difícil, ya que depende de muchos factores para lograr la uniformidad de riego (figura N°1).

Figura N°1.- Uniformidad de riego.



(Fuente: Fuentes Yagüe, 2003).

- A) muestra una distribución uniforme.
 B) muestra una distribución no uniforme, debido a la gran longitud del surco y mayor inclinación (pendiente) del mismo, (rayado horizontal exceso de agua y rayado horizontal falta de agua).

En el surco desde que el agua entra, una parte de su volumen escurre por su superficie, mientras que el resto se va infiltrando a lo largo de ellos (poros). Se llama *tiempo de oportunidad de infiltración*, al período de tiempo en que el agua permanece sobre la superficie del suelo en un tiempo determinado. Durante ese tiempo el agua se infiltra en ese punto del suelo. Naturalmente, si todos los puntos de la parcela tuvieran el mismo punto de oportunidad, se infiltraría la misma cantidad de agua en toda la parcela, esto es imposible en el riego por gravedad, pero sí que es posible conseguir una uniformidad aceptable en la distribución del agua. Para ellos se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones, basadas en datos experimentales:

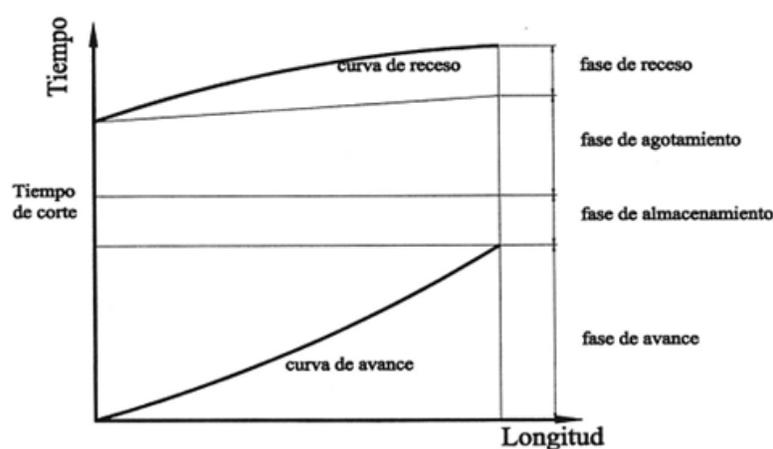
- Se procurará que el avance del agua, desde que entra en el surco hasta que llega al final del mismo, sea lo más rápido posible y para ello se aplicará el mayor caudal posible que no produzca erosión en el suelo.
- El momento de corte de suministro del agua ha de producirse oportunamente; si se hace demasiado pronto y no llega agua suficiente al final del surco, y si se hace demasiado tarde se producen pérdidas por escorrentía (cuando los surcos están abiertos) ó en situación de encharcamiento (cuando están cerrados). En términos generales, se procurará que el momento del corte se produzca de la siguiente forma:

- En surcos cerrados con pendiente cero (horizontal): antes o al mismo tiempo que el avance del agua llegue al final del surco.
- En surcos cerrados con pendiente distinta a cero: antes de que el avance del agua llegue al final del surco.
- En surcos abiertos con pendiente distinta a cero: después de que el avance llegue al final del surco (Fuentes Yagüe, 2003).

La operación del riego por surcos queda definida por las siguientes fases, según (Jensen, 1980):

- Fase de avance: define el tiempo o periodo en que el agua es aplicada en la cabecera y llega al extremo final del surco, este tiempo está representado en la curva de avance. Dicha curva define el instante en que un punto cualquiera del surco es alcanzado por el frente líquido y queda cubierto de agua.
- Fase de almacenamiento: define el tiempo o periodo desde que el agua llega al extremo del surco hasta el momento en que se corta la aplicación de agua en la cabecera. Esta fase puede que no exista si se corta el agua antes de que el frente líquido llegue al extremo del surco.
- Fase de agotamiento: define el tiempo o periodo desde que se corta la aplicación en la cabecera hasta que comienza a desaparecer la lámina de agua sobre el terreno ubicado en la cabecera.
- Fase de receso: define el tiempo o periodo desde que se seca el terreno en la cabecera, hasta que se seca todo el surco y está representado por la curva de receso. Dicha curva define el instante en que un punto cualquiera de la unidad de riego queda seca debido al proceso de la infiltración (Fuentes Yagüe, 2003).

Figura N^o2.- Esquema que representa las fases del riego por superficie.



(Fuente: Fuentes Yagüe, 2003)

En cualquier punto de la parcela el tiempo de contacto o de oportunidad, es aquel que empieza desde el momento que alcanza el frente de agua hasta el momento en que queda seco y viene definido por la curva de avance y receso (figura N²).

2.7.- Riego por surcos

El método de riego por surcos, se realiza haciendo fluir agua en pequeños canales (surcos) que conducen el agua a medida que desciende desde puntos altos hacia sectores de cotas inferiores del campo. El agua se infiltra en el fondo y los lados de los surcos, reponiéndose así el agua del suelo consumida por los cultivos; la nivelación cuidadosa del terreno para obtener una pendiente uniforme es esencial para que este método tenga una eficiencia de adecuación conveniente.

El riego por surcos es aconsejable para cultivos sensibles al exceso de humedad en el pie de los tallos y para aquellos otros que se cultivan en hileras, tales como, maíz, papa, girasol, algodón, remolacha, etc.

El riego por surcos suele realizarse en dos operaciones: mojado del surco y riego propiamente tal. El mojado se hará lo más rápidamente posible, para que la diferencia de agua infiltrada en los extremos del surco sea lo menor posible; para ello se requiere, que se aporte el mayor caudal posible sin causar erosión en el suelo. Cuando el agua llega al final del surco empieza el riego propiamente dicho, haciendo modificación del caudal de acuerdo con la intensidad de absorción del suelo. Hay que tener en cuenta que la velocidad de infiltración disminuye con rapidez cuando el suelo se va saturando con agua y, por consiguiente, en esta segunda etapa el agua escurre más en los primeros tramos y se infiltra más en los últimos.

En el diseño de riego por surcos se han de combinar todos los condicionantes que intervienen en la infiltración (ancho y longitud del surco, forma, pendiente y caudal de riego) para que la distribución del agua sea lo más uniforme posible (Fuentes Yagüe, 2003).

2.7.1.- Forma del surco

La forma de los surcos y de los lomos puede ejercer una influencia considerable sobre la oportunidad y eficiencia de riego; la sección transversal de los surcos debe ser suficiente amplia para conducir la cantidad de agua necesaria y así obtener una distribución uniforme por toda la longitud del surco.

La forma más corriente de surco es el tipo en "V". Estos surcos de 15 a 20 cm de profundidad y de 25 a 30 cm de ancho en la parte superior, conducirán normalmente un flujo aproximado de 2 L/s en pendientes relativamente suaves. El agua, moviéndose a una profundidad de 15 cm en un surco de este tipo, tendrá una sección transversal de unos 250 cm². Esto equivale a una profundidad de 2,5 cm si se esparce uniformemente sobre el área entre surcos adyacentes separados por 1 m.

Los surcos de base ancha se utilizan a veces en terrenos que absorben el agua lentamente, o sea que presentan baja velocidad de infiltración. Aumentando el perímetro mojado, el agua dispone de mayor superficie en el suelo. Estos surcos son aproximadamente en forma de "U"; generalmente tienen un ancho de fondo de 15 a 25 cm, aunque se han empleado anchos de 60 cm o más, para riego de huertas, viñas y cultivos muy espaciados, como tomates y melones (Fuentes Yagüe, 2003).

2.7.2.- Pendiente del surco

La uniformidad de riego, se consigue, aparte de otras consideraciones, cuando los surcos tienen la misma pendiente en toda su longitud, pues en el caso contrario se originan zonas con falta de agua y otras con exceso, pudiendo llegar a encharcamientos y desbordamientos de agua de un surco a otro. Además en los tramos del surco de mayor pendiente se puede originar erosión.

La velocidad del agua en el surco está en razón directa con el caudal, y con la pendiente, y en razón inversa con la textura del suelo.

La capacidad de erosión del suelo está relacionada con la velocidad del agua a medida que penetra en el surco o desciende por él. La capacidad de erosión guarda una cierta relación con la textura. Generalmente la máxima capacidad de erosión la presentan los suelos no cohesivos, en las cuales predominan las partículas de arena y limo. Los suelos arcillosos se erosionan menos que los arenosos, pero esto depende de que las partículas finas de arcilla se dispersen por la acción del agua y formen agregados estables en el agua. Para evitar una erosión excesiva cuando se riega plantas de cultivo, la pendiente del surco en la dirección del movimiento del agua no debe exceder del 2%. En zonas en las que llueve intensamente, las pendientes mayores del 0,3% pueden dar como resultado la erosión del suelo (Fuentes Yagüe, 2003).

Cuando la pendiente es muy reducida y los surcos muy cortos se utiliza un caudal elevado para llenarlos con rapidez. Posteriormente se corta el flujo de agua y se deja que el agua contenida en los surcos se infiltre. Cuando la pendiente supera el 0,5 % y el suelo tiene una permeabilidad reducida, los surcos cortos se trazan siguiendo las curvas de nivel y se enlaza el final de cada uno de ellos con el principio del siguiente. De esta forma el agua tiene que hacer un recorrido en zig-zag, con lo que se reduce su velocidad y aumenta la infiltración a través de los surcos. (Fuentes Yagüe, 2003).

2.7.3.- Longitud de los surcos

La longitud de los surcos viene condicionada por los siguientes factores.

- **Economía:** a medida que disminuye la longitud de los surcos aumentan las necesidades de mano de obra y los costes de la instalación.
- **Textura del suelo:** en suelos de textura arenosa hay que limitar la longitud de los surcos, para evitar la larga permanencia del agua en los primeros tramos del surco, con las consiguientes pérdidas por percolación profunda.
- **Cultivo:** las plantas de raíces profundas necesitan mayores dosis de riego que las de raíces someras; por tanto, en aquellas se puede aumentar la longitud de los surcos, con el fin de incrementar la permanencia del agua en los mismos.

A la vista de estas consideraciones habrá que buscar un equilibrio entre las consecuencias que se derivan de los surcos largos (más económicos) o cortos (mayor eficiencia de riego).

Los factores principales para determinar las longitudes máximas de los surcos son; el tipo de suelo, la pendiente y la planta que se ha de cultivar. Si bien el caudal que debe llevarse a cada surco es asimismo un factor importante, está sujeto a la regulación y, en consecuencia, es preciso tenerlo en cuenta sólo cuando el flujo podría estar limitado por la pendiente, las condiciones del suelo o el tamaño del surco empleado

Con pendientes suaves (menores del 0,3 al 0,5%), la longitud de recorrido puede aumentarse, generalmente, a medida que aumenta la pendiente. Sin embargo, con pendientes de más del 0,5% hay que disminuir la longitud a medida que aumenta la pendiente, ya que debe reducirse la unidad de flujo para evitar la erosión, (tabla N^o3).

Los surcos deben ser más cortos para suelos arenosos, que absorben rápidamente agua y tienen baja capacidad de retención de la misma, que para suelos arcillosos, con velocidad de infiltración pequeña y alta capacidad de

retención de agua. Las longitudes pueden aumentarse a medida que aumenta la profundidad media de agua que debe aplicarse. Como la cantidad a aplicar está en relación con la capacidad de retención de agua del suelo y con la profundidad de enraizamiento de la planta, puede usarse surcos mucho más largos para plantas de raíces profundas sobre suelos arcillosos que para las de raíces superficiales en suelos arenosos (Fuentes Yagüe, 2003).

Tabla N°3.- Longitudes máximas de surcos para diferentes suelos, pendientes y profundidades de agua aplicada (F.A.O, 1987).

Pendiente S%	Arcillas					Limos				Arenas		
	Profundidad media de agua aplicada (cm)											
	7.5	15.0	22.5	30.0	50.0	10.0	15.0	20.0	5.0	7.5	10.0	12.5
0.05	300	400	400	400	120	270	400	400	60	90	150	190
0.10	340	440	470	500	180	340	440	470	90	120	190	220
0.20	370	470	530	620	220	370	470	530	120	190	250	300
0.30	400	500	620	800	280	400	500	600	150	220	280	400
0.50	400	500	560	750	280	370	470	530	120	190	250	300
1.00	280	400	500	600	250	300	370	470	90	150	220	250
1.50	250	340	430	500	220	280	340	400	80	120	190	220
2.00	220	270	340	400	180	250	300	340	60	90	150	190

(Fuente: F.A.O, 1987).

2.7.4.- Separación de los surcos

La distancia entre el eje de los surcos depende de los siguientes factores: tipo de suelo, tipo de cultivo y maquinaria que se pretende utilizar.

El objetivo principal al determinar la separación de los surcos es asegurar que el movimiento lateral de agua entre dos surcos consecutivos moje la totalidad de la zona radical de la planta, antes de que alcance profundidades superiores a las previstas en el riego y existan pérdidas de agua por percolación profunda. El movimiento horizontal y vertical del agua en el suelo depende, fundamentalmente, de su textura. En suelos arenosos el agua penetra más en profundidad que lateralmente. En estos suelos la separación máxima de los surcos será de 50 cm.

En los suelos de textura media se produce una infiltración compensada en sentido vertical y en sentido horizontal. Los surcos pueden tener una separación de 50 a 100 cm.

En suelos arcillosos, el agua penetra con más rapidez en sentido horizontal que en sentido vertical, con lo cual los surcos pueden tener una separación de hasta 1,50 m (Fuentes Yagüe, 2003).

2.8.- Diseño del sistema de riego por surcos

2.8.1.- El caudal de riego

El caudal de riego debe ajustarse a la longitud, pendiente y textura del suelo. A mayor caudal corresponde un avance más rápido del agua en el surco. Por lo general, el mayor aprovechamiento del riego se consigue cuando el mojado del surco se hace con el avance más rápido posible, y ello requiere utilizar el máximo caudal que no cause erosión (caudal máximo no erosivo). Una vez que el agua ha llegado al extremo del surco se reduce el caudal de forma que satisfaga únicamente los requerimientos de la velocidad de infiltración, y se mantenga hasta el final del riego (caudal permanente).

En surcos largos el caudal máximo no erosivo se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{máx.}} = \frac{36}{P}$$

ec.1

$Q_{\text{máx.}}$ = Caudal máximo no erosivo expresado en L/s

P = Pendiente del surco expresada en porcentaje (%)

El caudal permanente se calcula de acuerdo con la velocidad media de infiltración en el surco. Los valores de la velocidad de infiltración para distintos tipos de suelo aparecen en la tabla N°4 (Fuentes Yagüe, 2003).

Tabla N°4.- Velocidad de infiltración según el tipo de suelo

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración (L/min y por cada 100 m)
Arcilloso	<5mm/hora
Franco arcilloso	5-10mm/hora
Franco	10 - 20 mm/hora
Franco arenoso	20-30 mm/hora
Arenoso	> 30 mm/hora

(Fuente: Fuentes Yagüe, 2003).

2.8.2- Determinación del caudal máximo no erosivo.

Para determinar el caudal máximo no erosivo se preparan tres surcos y se deja fluir tres caudales. Durante los cinco primeros minutos del paso del agua por cualquier punto del surco se produce alguna erosión y el agua pasa oscura. Después de terminar la aplicación del agua se comprueba si al final de los surcos se ha producido algún depósito de tierra arrastrada (Fuentes Yagüe, 2003).

2.8.3.- Determinación de la velocidad de infiltración.

Para determinar la infiltración en los surcos se toma un tramo de surco (por ejemplo, 40 m) y se alimenta con el caudal máximo no erosivo. Se afora el agua al final del terreno, con diversos intervalos de tiempo, hasta comprobar que el caudal se hace constante. La diferencia entre el caudal de entrada (Q_E) y el de salida (Q_S) es la infiltración del agua en el surco, que se mide en mm de altura de agua por hora (mm/Hrs), teniendo en cuenta que $1 \text{ L/m}^2 = 1 \text{ mm}$, (Fuentes Yagüe, 2003).

La velocidad de infiltración se muestra en la siguiente fórmula:

$$VI \text{ (mm/hrs)} = \frac{(Q_E - Q_S)}{(L * a)}$$

Donde:

VI = Velocidad de infiltración expresado en (mm/hrs).

Q_E = Caudal de entrada (L/s).

Q_S = Caudal de salida (L/s).

L = Longitud del surco (metros).

a = Ancho del surco (metros).

2.8.4.- Determinación de la longitud del surco.

En un surco se colocan estacas distanciadas a 10 m y se aplica el caudal máximo no erosivo, anotando las horas en que el agua entra en el surco y va llegando sucesivamente a las estacas. Se obtiene la curva de avance del frente líquido y se representa gráficamente. Como el tiempo de mojado o de avance ha de ser 1/4 del tiempo de riego, gráficamente podemos obtener la longitud óptima del surco (Fuentes Yagüe, 2003).

En la práctica de riego se llama unidad de riego (figura N°3), al número de surcos que abastecen una toma, que se riega de una sola vez. Habitualmente comprende de 4 a 10 surcos. Una forma práctica de realizar el riego consiste en mojar sucesivamente varias unidades de riego y después proceder al riego propiamente dicho de esas unidades (Fuentes Yagüe, 2003).

El número de surcos que forman una unidad de riego (NSUR):

$$NSUR = \frac{QA}{Qmne}$$

Donde:

NSUR = Número de surcos que forman una unidad de riego.

QA (caudal de abastecimiento)= Es el volumen de agua que dispone el agricultor para regar una determinada superficie de suelo, expresado en L/s.

Qmne (caudal máximo no erosivo)= Es el caudal máximo, que se puede utilizar sin causar erosión, expresado en L/s (también llamado caudal de mojado).

El número de unidades de riego comprendidas en una tanda de riego:

$$NUR = \frac{Qmne}{QP}$$

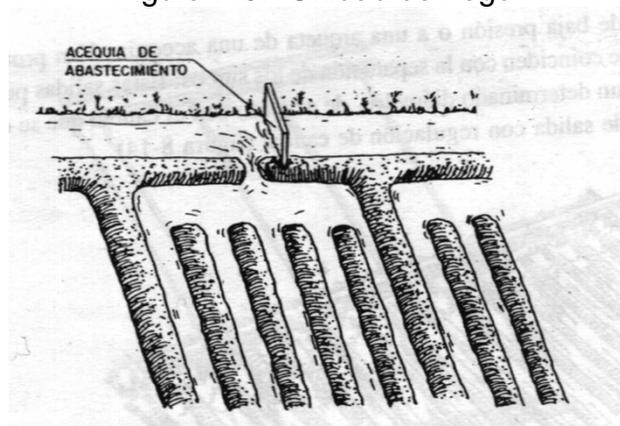
Donde:

NUR= Número de unidades de riego.

Qmne (caudal máximo no erosivo) = Corresponde al máximo caudal que se debe utilizar, para evitar causar erosión en el suelo, expresado en L/s, (caudal de mojado).

QP (caudal permanente)= Corresponde al caudal de agua que se infiltra en el perfil de suelo, expresado L/s, (caudal de riego).

Figura N°3.- Unidad de riego



(Fuente: Fuentes Yague, 2003)

En muchos lugares no efectúan el riego en dos operaciones (mojado y riego propiamente dicho), sino en una sola. En estos casos se utiliza un caudal superior al caudal permanente, pero inferior al caudal máximo no erosivo. El regador distribuye el agua entre los surcos que componen la unidad de riego y corta el flujo de agua a esa unidad cuando falta por regar 1/4 ó 1/5 de la longitud del surco,

comprobando que el agua que discurre después de cortar el flujo de agua es suficiente para regar la totalidad del surco.

En otras ocasiones, cuando el agua llega a los 3/4 de longitud del surco se reduce el caudal a la mitad y se mantiene ese caudal hasta que el regador experimentado estime oportuno. Para regular caudales y tiempo conviene hacer unas calicatas en el primer riego, con la finalidad de comprobar la infiltración a lo largo del surco.

Se puede aprovechar el agua sobrante de los surcos dejando que el agua avance hasta los surcos secos próximos, o bien llevándolo a un canal de desagüe de forma que se pueda utilizar en parcelas colindantes.

2.8.5.- Tiempo de riego

El tiempo de riego será el necesario para suministrar la dosis de riego. Si esta dosis de riego se suministra con el caudal permanente se tiene seguridad de que las plantas al final del surco disponen de la cantidad necesaria de agua, pero seguramente habrá una percolación profunda importante en los primeros tramos cuando el surco es demasiado largo. Para conocer con mayor exactitud la cantidad de agua que aportan en cada tramo el caudal máximo no erosivo y el caudal permanente se recurre a ensayos de campo.

El tiempo de riego se estima a través de la curva de infiltración acumulada que se obtiene de la siguiente forma:

Donde:

$$T = \left(\frac{D}{C}\right)^{1/b}$$

D = infiltración acumulada o lámina neta (cm).

C = constante que representa la infiltración en el primer minuto.

T = tiempo (minutos).

b = representa la pendiente de la curva de infiltración acumulada (CNR, 1999).

2.9.- Características físicas del suelo que afectan a la retención del agua

El suelo es un sistema complejo compuesto de partículas sólidas (minerales y orgánicas), agua con sustancias en disolución (*solución del suelo*) y aire. El aire y la solución del suelo ocupan los espacios o poros comprendidos por la matriz sólida.

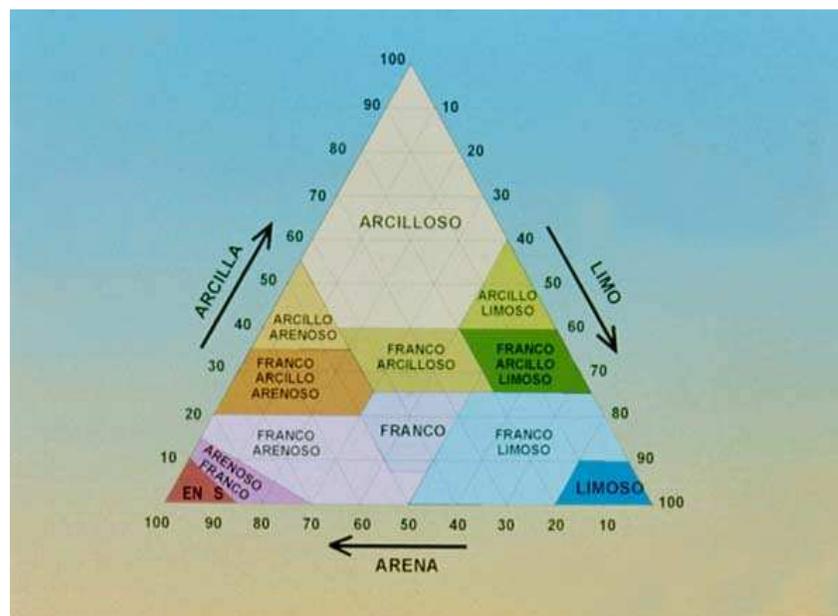
Las principales características físicas del suelo que afectan la retención del agua son: textura, estructura y porosidad.

2.9.1.- Textura

La porción mineral del suelo está formada por partículas que, según su tamaño, se clasifican en: arena (de 2 a 0,05mm), limo (de 0,05 a 0,002 mm) y arcilla (inferior a 0,002 mm).

La textura de un suelo hace referencia a la proporción relativa de arena, limo y arcilla que contiene. Atendiendo a su textura, los suelos se clasifican en arenosos limosos o arcillosos, según predomine cada uno de los distintos componentes. Se dice que un suelo es de textura franco cuando contiene una mezcla de arena, limo y arcilla en proporción equilibrada. El análisis granulométrico, que da los porcentajes en peso de arena, limo, arcilla, determina las distintas clases de texturas, que vienen definidas en el esquema triangular de la figura N⁴.

Figura N⁴.- Clasificación de los suelos correspondientes a las distintas clases de texturas, según los porcentajes en peso de arcilla, limo y arena.



(Fuente: Agenda del salitre, 2001).

El agua ocupa total o parcial los poros comprendidos entre las partículas sólidas. Esta agua es absorbida por las raíces de las plantas, por lo que debe ser periódicamente reemplazada por la lluvia o mediante el riego. Por tanto, el suelo sirve de almacén ó depósito de agua. La capacidad del suelo para almacenar agua es uno de los principales factores que rigen la cantidad de agua de riego y la frecuencia de su aplicación.

El aire ocupa el resto del espacio de los poros no ocupado por el agua. Según la humedad del suelo, el agua y el aire ocupan una mayor o menor proporción de los poros. Por lo general, los poros pequeños (microporos) están ocupados por agua, mientras que el aire ocupa la mayor parte del espacio de los poros grandes (macroporos), salvo que el suelo esté saturado de agua, en cuyo

caso ésta ocupa todo el espacio poroso. Los poros de tamaño intermedio están ocupados por aire y agua en mayor o menor proporción, según las variaciones del contenido de humedad del suelo.

Los suelos de textura arcillosa tienen un gran número de microporos, mientras que los macroporos predominan en los suelos de textura arenosa. El agua drena por gravedad en los poros con diámetro superior a 30 micras. Los suelos arenosos drenan con facilidad, porque gran parte de sus poros tienen diámetro suficiente para permitir la salida del agua por gravedad. De ello se deduce que los suelos arenosos retienen menor cantidad de agua que los arcillosos (Fuentes Yagüe, 2003).

2.9.2.- Estructura

Se llama estructura de un suelo a la disposición de sus partículas para formar otras unidades de mayor tamaño, llamadas agregados. Los poros se presentan entre los agregados y dentro de ellos, siendo de mayor tamaño los primeros, por lo que la cantidad de poros de mayor tamaño, viene condicionada, en gran medida, por la estructura.

Así como la textura se mantiene constante, la estructura puede variar con mucha facilidad, ya que las fuerzas que unen las partículas elementales dentro de los agregados son muy débiles.

La estructura del suelo y su estabilidad juegan un rol fundamental en muchos procesos del suelo y su interacción con las plantas: erosión, infiltración de agua, exploración radicular, aireación y resistencia mecánica. Esto indica que todas las prácticas agronómicas deberían hacerse con carácter de conservación de la misma.

La estructura se mejora mediante ciertas prácticas culturales y una buena ordenación de los cultivos. Entre las causas que degradan la estructura destacan las labores excesivas ó inadecuadas, poco contenido de materia orgánica, compactación causada por el uso de maquinaria agrícola pesada, el impacto de las gotas de lluvia etc. Un alto contenido de calcio favorece la estabilidad de la estructura, mientras que un alto contenido de sodio determina el deterioro del suelo.

En suelos pobremente estructurados, el agua de riego drenará más lentamente. El drenaje muchas veces continúa por algunas semanas dependiendo de la profundidad del horizonte más bajo y de la continuidad de los poros más grandes en profundidad. En suelos finos con buena textura y con grietas de drenaje, el agua descenderá a través de las grietas después de un riego ó lluvia fuerte y antes que el suelo se sature; mientras tanto partes del perfil del

suelo pueden estar aún secas. Si el agua de drenaje entra en un poro más pequeño mientras está pasando a través del suelo, será retenida, de lo contrario continuará hasta alcanzar el nivel de agua freática contribuyendo a la recarga de las aguas subterráneas (Fuentes Yagüe, 2003).

2.9.3.- Porosidad y densidad en los suelos

La porosidad de un suelo es la fracción de volumen del mismo no ocupado por materia sólida. Viene condicionada por su textura y estructura.

La *densidad aparente* (*Dap*) se refiere a la densidad de un suelo tal como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Es igual al peso de una muestra de suelo seco dividido por el volumen. En suelos minerales la densidad aparente varía dentro de los límites siguientes:

Tabla N°5.- Densidad de distintas texturas de suelos.

Textura	Densidad (g/cm ³)
Arenoso	1,50-1,80
Franco- arenoso	1,40-1,60
Franco	1,30-1,50
Franco- arcilloso	1,30-1,40
Arcilloso	1,20-1,30

(Fuente. Fuentes Yagüe, 2003).

La *densidad real* (*Dr*) se refiere a la densidad de las partículas sólidas, y es igual al peso de suelo seco dividido por el volumen ocupado por las partículas sólidas. En todos los suelos minerales la densidad real tiene un valor aproximado de 2,6 g/cm³.

La porosidad o volumen ocupado por los poros se expresa como porcentaje del volumen de suelo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porosidad} = \left(\frac{Dr - Dap}{Dr} \right) \times 100$$

Donde:

dr: Densidad real expresado, en gr/cm³

da: Densidad aparente, gr/cm³

La porosidad de los suelos varía normalmente del 40 al 50%.

Tabla N°6.- Propiedades físicas del suelo

Textura	Porosidad %	Densidad aparente	CC	PMP	Humedad disponible		
					% peso	%volumen	cm/m
Arenoso	38 (32-42)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	8 (7-10)
Franco arenoso	43 (40-47)	1,50 (1,40 -1,60)	14 (10 -18)	6 (4 - 8)	8 (6-10)	12 (9-15)	12 (9-15)
Franco	47 (43-49)	1,40 (1,35 - 1,50)	22 (18 - 26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	17 (14-19)
Franco arcilloso	49 (47-51)	1,35 (1,30-1,40)	27 (23 -31)	13 (11 -15)	14 (12 - 16)	19 (16 - 22)	19 (17 -22)
Arcilloso Arenoso	51 (49-53)	1,30 (1,25 - 1,35)	31 (27 - 35)	15 (13 - 17)	16 (14 - 18)	21 (18 - 23)	23 (18 - 23)
Arcilloso	53 (51-55)	1,25 (1,20 - 1,30)	35 (31- 39)	17 (15 - 19)	18 (16-20)	23 (20- 25)	23 (20-25)

(Fuente: Fuentes Yagüe, 2003).

2.10.- Eficiencia de aplicación del riego.

Se define como eficiencia de aplicación de riego, la relación entre la cantidad de agua que queda en la zona ocupada por las raíces (disponible para las plantas) y la cantidad que se aplica con el riego (Maldonado, 1988).

Dejando de lado las pérdidas producidas por efecto de un mal manejo en canales y acequias de conducción y distribución del agua hacia las parcelas de riego, las pérdidas ocurridas en la propia parcela se pueden agrupar de la siguiente forma:

Por evaporación en el suelo, que ya tiene en cuenta al evaluar la necesidades de evaporación

- Por escorrentía superficial y percolación profunda
- Por lavado o lixiviación. Se da en aquellas circunstancias en que se precisa añadir un exceso de agua para arrastrar las sales sobrantes fuera del alcance de las raíces.
- Por evaporación directa desde el chorro de agua en los sistemas que pulverizan el agua.
- Por deficiente distribución del agua. Esta pérdida se produce cuando las zonas menos regadas se requiere aportar la cantidad de agua necesaria para cubrir las necesidades de las plantas, con lo cual en las zonas más regadas se aporta un exceso (Fuentes Yagüe, 2003).

Tabla N°7.- Porcentajes de eficiencia de cada método de riego

Método de riego	Eficiencia de riego (%)
Tendido	30
Surco	45
Californiano	65
Aspersión	75
Microjet	85
Micro aspersión	85
Goteo	90

(Fuente: CNR, 1999)

La eficiencia se estima mediante el porcentaje de agua que aprovechan las raíces, este valor es diferente para cada método de riego lo que se puede apreciar en la tabla N°7.

Una baja eficiencia de aplicación del agua de riego, implica importantes pérdidas de agua en el sistema de riego. Esta situación afecta negativamente el rendimiento de los cultivos (Maldonado, 1988).

“Eficiencia de aplicación del agua de riego”, este término puede utilizarse para describir, eficiente uso de los caudales de riego para un área de riego determinada. Su valor máximo posible es 100% en la ecuación de “EFA”, su uso beneficioso solamente corresponde al agua de riego aplicada.

La eficiencia de aplicación del agua de riego se define como:

$$EFA = \left(\frac{\text{Volumen retenido (Litros)}}{\text{Volumen aplicado (Litros)}} \right) \times 100 =$$

Donde:

EFA = Eficiencia de aplicación del agua de riego expresado en %

Volumen retenido= Es el volumen de agua retenido en el perfil del suelo expresado en litros.

Volumen aplicado = Es el volumen total de agua que se aplica a una determinada superficie de suelo, expresado en litros

La eficiencia con que los agricultores aplican su dotación de agua de riego depende de dos factores fundamentales: el manejo del agua durante el riego, y las características hídricas del suelo que se está regando (Gurovich, 1985).

El manejo del agua durante el riego se distingue varios aspectos que interactúan e inciden en forma determinante en la eficiencia de aplicación del agua del riego:

- El diseño del sistema de riego (dimensiones, orientación del campo regado, pendiente, infraestructura de abastecimiento de agua, control de caudales, etc.)

- Los caudales utilizados y la dirección del flujo de agua sobre la superficie del suelo durante el riego.
- La frecuencia de riego, que en este caso determinan el contenido de agua del suelo en el momento previo a la aplicación de agua.
- El tiempo de riego utilizado durante el cual el agua está en contacto con la superficie del suelo, permitiéndose en esa forma que tenga lugar el proceso de infiltración (Gurovich, 1985).

En las características hídricas de los suelos regados, los siguientes aspectos son determinantes en la eficiencia con que los agricultores aplican el agua de riego:

- La velocidad de infiltración del agua, esta propiedad del suelo va a permitir el flujo descendente del agua que está en contacto con la superficie través del perfil, en profundidad.
- Las características de retención de agua en el suelo, es decir la energía con que cierto contenido de agua está retenido en el suelo; esta energía resulta de la interacción fisicoquímica de la adsorción y tensión superficial, entre partículas del suelo (principalmente arcilla) y las moléculas de agua, así como las estructuras del suelo, y el ordenamiento de sus partículas en modelos especiales determinados.
- La profundidad del perfil del suelo y sus condiciones de estratificación que determinan las diferentes capacidades conductivas del perfil total frente al agua.
- La densidad aparente de las diferentes estratas del perfil del suelo, también resultante de complejas interacciones entre textura y la estructura. (Gurovich, 1985).

CAPÍTULO III

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- Ubicación del área de estudio.

El estudio se llevó a cabo en tres sectores del valle de Lluta, zona baja definida entre los kilómetros, 1 al 12; la zona media considerada, entre los kilómetros 12 al 30 y la zona alta aguas arriba del km 30 del valle de Lluta. Se seleccionaron tres predios, uno de alrededor 1 ha de superficie, otro con una superficie entre 1 y 3 ha, y un tercero mayor a 3 ha de superficie, en cada uno de ellos se caracterizará el sistema de riego por surcos en el cultivo de maíz.

3.2.- Periodo de realización del estudio.

El estudio se desarrolló entre los meses de septiembre del 2012 hasta marzo del 2013, donde se realizó la evaluación de la aplicación del agua de riego en los sistemas de riego por surcos en el cultivo del maíz, durante los periodos de siembra y cosecha a lo largo del valle de Lluta.

La ubicación de los predios seleccionados y sus respectivos propietarios se detallan a continuación:

Tabla N^o8.- Ubicación de los predios en estudio.

Sector		Kilómetro	Propietario	Superficie Ha	Canal de riego	Acciones de riego
1	Valle hermoso	4	Claudio Ortiz Conde	0,5	Sur	2,7
	Porvenir	7	Luis González Silva	5	Sascapa	40,5
	El morro	10	Heriberto Mamani Mamani	1	Sascapa	4,5
2	Alberto Jordán	16	Eugenio Mamani Poma	1,5	El muro	2,1
	Rosario	17	Osvaldo Godoy Díaz	1,5	Beyzan cora	1
	Molinos	44	Aparicio Choque Terrazas	0,5	Molinos	4
3	Molinos	45	Alfredo Humire	4	Molinos	1
	Molinos	47	Aníbal Humire	2,5	Molinos	5
	Chapisca	54	Efraín Blanco Flores	0,25	Toconasi	6

(Fuente: elaboración propia)

Figura N°5, sector "Valle hermoso" Km. 4



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°6, sector "Porvenir" Km.7



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°7, sector "El morro" Km. 10



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°8, sector "Alberto Jordán" Km.16



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°9, sector "Rosario" Km. 17



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°10, sector "Molinos" Km. 44



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°11, sector "Molinos" Km. 45



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°12, sector "Molinos" Km.47



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°13, sector "Chapisca" Km.54



(Fuente: elaboración propia)

3.3.- Determinación de la velocidad de infiltración.

La determinación de la velocidad de infiltración se midió a través del método del surco infiltrómetro que consistió en la medición de los caudales de entrada y salida del agua que escurre a través de un surco. La diferencia entre estos caudales corresponde al volumen de agua infiltrada en un determinado periodo de tiempo. Este método se utiliza en general para determinar la velocidad de infiltración de suelos cuyos cultivos se riegan por surcos, (figura N°15).

- Se colocaron dos aforadores uno en la entrada y otro en la salida del surco, cubiertos de plásticos de polietilenos de color negro, el objeto es evitar la filtración de agua por los costados.
- Posteriormente se espero que el agua escurriera a través del aforador de entrada y recorriera todo el surco hasta llegar al aforador de salida.
- Se procedió a medir el ancho y largo del surco y además se midió la altura del agua con una regla cada 5 minutos, en ambos aforadores.
- La Capacidad de Campo se determinó de la siguiente forma:
 - ✓ Se procedió a regar el suelo (unidad de riego) hasta la saturación, a continuación se cubrió la superficie del suelo con una lámina de plástico negro (polietileno), en tres sectores ubicados al inicio, medio y final, del surco respectivamente. El propósito es evitar la evaporación del agua retenida en el suelo.
 - ✓ Se dejo pasar 24 hrs en suelos de textura arenosa, 48 hrs en suelo de textura arcillosa
 - ✓ Finalmente se sacó el plástico negro y se realizaron tres calicatas de 70 cm, al inicio, medio y final del surco y se procedió a extraer las muestras de suelo a tres profundidades (0 -15; 15 - 40; 40 - 70), (figura N°14).

Humedad gravimétrica: Es el porcentaje de agua que contiene el suelo con relación al peso de suelo seco. Viene dado por la siguiente fórmula.

$$Hg = \left(\frac{Pa}{Ps} \right) \times 100$$

Donde:

Hg= Humedad gravimétrica, expresada en porcentaje (%).

Pa= Peso del agua

Ps= Peso del suelo seco.

- La Densidad Aparente de los suelos, fue determinada en muestras tomadas con un barreno, las profundidades de 0 -15; 15 - 40; 40 - 70, en el mismo sitio en donde se realizó la prueba de infiltración.

La densidad aparente se determinó con la siguiente fórmula:

$$Dap = \left(\frac{Hv}{Hg} \right)$$

Donde:

Dap: Densidad aparente (g/cm³)

Hv: Humedad volumétrica

Hg: Humedad gravimétrica

- La salinidad del suelo fue cuantificada a través de la C.E (mS), que fue medida a través de un conductivímetro, de cada suelo obtenido de las pastas de saturación preparadas.
- La eficiencia de aplicación de riego fue cuantificada con la siguiente fórmula :

$$EFA = \left(\frac{\text{Volumen retenido (Litros)}}{\text{Volumen aplicado (Litros)}} \right) \times 100 = \%$$

Volumen retenido (Litros) = Es el volumen de agua retenido en el perfil del suelo.

Expresado en la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{CC - W}{100} \right) * Dap * prof$$

Donde:

CC = Capacidad de Campo (%).

W= Humedad del suelo antes del riego (%).

Dap= Densidad aparente (g/cm³).

Prof = Profundidad (cm).

Entendiendo que, 1 mm de altura de agua = 1 L/m² = 10 m³/ha.

Volumen aplicado (Litros) = Es el volumen de agua aplicado en una determinada superficie de suelo.

Expresado en la siguiente ecuación:

$$QP(L/S) * TR(\text{min})$$

Donde:

QP = Caudal de agua que se infiltra en el perfil del suelo (L/s).

TR= Tiempo que demora en regar el surco (min).

3.4.- Determinación de la capacidad de infiltración en los surcos:

El caudal infiltrado se obtuvo por la diferencia entre el caudal de entrada y el caudal de salida.

Considerando que 1 L/m^2 es igual a 1 mm, el caudal infiltrado, se expresó en L/hora, utilizando la siguiente ecuación

$$q_i = \left(\frac{Q_i}{wx} \right)$$

Donde:

q_i = Velocidad del caudal infiltrado en mm/hora

Q_i = Caudal infiltrado, que corresponde a:

Caudal de entrada – caudal de salida = caudal infiltrado (Litros/hora)

w = Ancho del surco (centímetros)

x = Largo del surco (metros)

Mediante un análisis de regresión lineal, se determinaron los coeficientes de la ecuación de infiltración, con las siguientes fórmulas:

$$I = KT^n$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración (cm/min).

K = Constante que representa la velocidad de infiltración al primer minuto.

T = Tiempo (minutos).

n = Pendiente de la curva de velocidad versus tiempo.

Conociendo esta ecuación podemos obtener por integración la infiltración acumulada en función del tiempo de la siguiente manera:

$$D = CT^b$$

Donde:

D = Infiltración acumulada o lámina neta (cm).

C = Constante que representa la infiltración en el primer minuto.

T = Tiempo (minutos).

b = Representa la pendiente de la curva de infiltración acumulada.

Estas fórmulas fueron posteriormente interpretadas en los gráficos N°9 al N°17.

$$I = KT^n \quad \text{Ec. N°1}$$

Interpretación de la velocidad de infiltración:

$$D = 1/60 \int_0^T IDT \quad \text{Ec. N°2}$$

Representando el valor "I" en la ecuación. N°2 por la ecuación. N°1:

$$D = 1/60 \int_0^T K T^n D T \quad \text{Ec. N°3}$$

Desarrollando la ecuación N°4

$$T = \frac{60 D (n+1)^{\frac{1}{n+1}}}{K} \quad \text{Ec. N°4}$$

Si hacemos la ecuación N°5

$$T = \frac{K}{60(n+1)} = C \quad \text{Ec. N°5}$$

Ecuación N°6

$$n+1 = b \quad \text{Ec. N°6}$$

Entonces finalmente nos queda la ecuación N°7:

$$D = CT^b ; b > 0 \quad \text{Ec. N°7}$$

3.5.- Curva de avance.

En un surco se colocaron 11 estacadas distanciadas a 10 metros entre ellas respectivamente (total 100 metros), se aplicó el caudal de riego, anotando los minutos en que el agua tarda en llegar a cada estaca.

Finalmente se elaboraron gráficos de las variables distancia vs tiempo (curva de avance), de cada uno de los predios estudiados del valle de Lluta (gráficos N°18 al N°26).

Figura N°14, toma muestra de suelo desde la calicata.



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°15, método surco infiltrómetro medición del caudal desde aforador



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°16. extracto de pasta de saturación (suelo)



(Fuente: elaboración propia)

Figura N°17, conductivímetro medición de la C.E.



(Fuente: elaboración propia)

3.6.- Mediciones en terreno, toma de muestras y análisis químico en el laboratorio.

3.6.1.- Toma de muestra de suelo

Se realizaron tres calicatas en un surco, posteriormente se recolectaron las muestras de suelo en cápsulas de aluminio, antes y después del riego tomando muestras de la primera estrata ubicada a los primeros 15 cm; la segunda estrata ubicada en los 25 y tercera estrata ubicada a los 30 cm. Se tomaron un total de 9 muestras por surco.

3.6.2.-Preparación de las muestras

Una vez llevadas las muestras de suelo al laboratorio, se procedió a realizar los siguientes pasos:

- Secado de las muestras :

Previó al secado la muestra de suelo se homogeniza disgregando los terrones de mayor tamaño y eliminando los residuos vegetales de mayor tamaño como raíces gruesas, etc.

Finalmente el secado de la muestra se realizó a estufa a 105°C.

- Tamizado de las muestras :

Una vez secadas las muestras, se procedió a tamizarlas, en el tamizador eléctrico modelo RX 29-10 (ARQUIMED), a través de un tamiz de acero inoxidable de orificios 2 mm de diámetro. Posteriormente éstas se empacaron y almacenaron en bolsas plásticas, debidamente identificadas y así quedaron listas para los posteriores procedimientos de análisis fisicoquímicos.

3.7.- Preparación de la pasta de saturación

La utilización de método proporciona la medida más representativa del total de sales solubles del suelo debido a que se relaciona estrechamente con los contenidos de campo bajo condiciones de campo, además es aplicable a todo tipo de suelos (Sadwaka *et al.*, 2004).

Se prepara añadiendo agua destilada, lentamente con una probeta graduada a una muestra de 400 gramos de suelo, depositados en un envase plástico con tapa. Se disuelve suavemente con la espátula de acero inoxidable hasta obtener una pasta lo más homogéneo posible. Se debe agregar tanta agua como sea necesario para saturar la muestra. A través de la probeta graduada se conocerá el volumen de cada una de las muestras. Se golpea el recipiente en la mesa de trabajo para consolidar la mezcla de agua y material de suelo.

La saturación de la pasta de suelo debe brillar al reflejar la luz, este fluye de manera ligera cuando se inclina el recipiente. La muestra se deja en reposo durante 24 horas en el recipiente tapado para finalmente ser filtrada.

- **Materiales**

- ✓ Equipos
- ✓ Bomba de vacío
- ✓ Embudo Büchner de porcelana
- ✓ Tapón de hule
- ✓ Recipiente colector de extracto
- ✓ Matraz de kitasato
- ✓ Frasco de wolf
- ✓ Manguera
- ✓ Papel filtro

- **Metodología**

La pasta de saturación de suelo, se transfiere a un embudo de filtrado con un papel filtro colocado previamente en él y se aplica un vacío hasta que el aire comience a pasar a través del filtro. De esta manera se extraerá la totalidad de esa agua mediante succión. Se recoge el extracto en un tubo graduado.

3.7.1.- Determinación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo.

Una vez recolectado el extracto se determina la conductividad eléctrica de este, mediante un conductímetro (WTW) modelo LF 330. El valor de la conductividad depende de la temperatura de la muestra durante el ensayo, por lo que se corrige mediante tablas establecidas a temperatura de 25°C.

3.7.2.- Determinación del pH del extracto de saturación del suelo.

Para la determinación del pH del extracto recolectado, se midió mediante el pH-metro de mesa (EXTECH 211990). El rango de 1 a 14, siendo 1 extremadamente ácido y 14 extremadamente básico.

Cuando el suelo presenta una alta concentración de iones de hidrógeno se considera ácido y cuando presenta una baja concentración se considera básico.

3.8.- Determinación de la conductividad eléctrica y pH del agua de riego.

Se recolectaron las muestras de agua de riego de los sectores estudiados. La conductividad eléctrica y el pH del agua de riego se determinaron mediante los siguientes instrumentos:

- Conductímetro (WTW) modelo LF 330.
- pH-metro de mesa (EXTECH 211990).

3.9.- Determinación de la Relación de Adsorción de Sodio (R.A.S).

Para determinar la relación de adsorción de sodio del agua de riego de los sectores estudiados, se ocupó la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \right)$$

CAPÍTULO IV

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla N°9.- Caracterización de los sistemas de riego por surcos por sectores en el valle de Lluta.

Sector	Kilómetro	Largo surco (m)	Ancho surco (cm)	N° surcos / unidad de riego	N° unidades de riego
Valle hermoso	4	25	30	6	20
Porvenir	7	28	35	8	60
El morro	10	27	30	8	16
Alberto Jordán	16	36	30	12	15
Rosario	17	67	30	10	24
Molinos	44	38	35	8	18
Molinos	45	40	35	8	18
Molinos	47	35	30	7	14
Chapisca	54	30	30	10	6

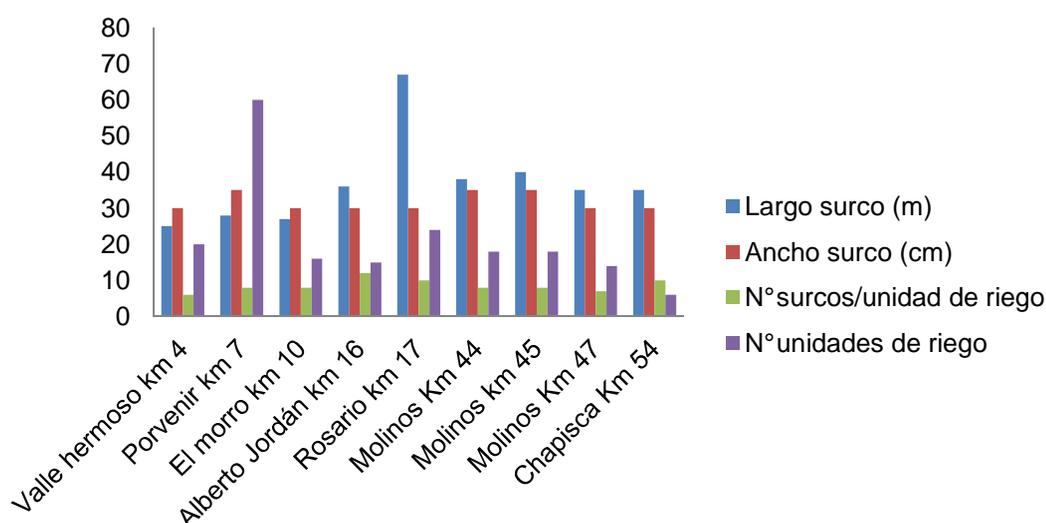
(Fuente: elaboración propia)

La tabla N°9, señala la caracterización de los sistemas de riegos por surcos en los diferentes sectores del valle de Lluta; estos parámetros corresponden: ancho y largo del surco, número de surcos por unidad de riego y número de unidades de riego.

En la mayoría de los predios estudiados, se mantiene aproximadamente el mismo ancho de surco, sin embargo el largo del surco es variable, en todos los sectores.

Respecto al diseño de riego por surcos que realizan los agricultores del valle de Lluta; enlazan el final del surco con el principio del siguiente (sistema de contras), manera de reducir la velocidad del caudal de riego, lo que genera un aumento en la infiltración del agua en los surcos.

Gráfico N°1.- Variables del diseño de riego por surcos en el valle de Lluta.



Según el gráfico N°1, el sector “Rosario” presenta los surcos más largos, mientras que en los sectores “Valle hermoso”, Porvenir y “El morro” mantienen los surcos más cortos. El número de surcos por unidad de riego se encuentran en un rango de 6 a 12 en los distintos predios estudiados. El número de unidades de riego, está en función del tamaño de la superficie cultivada.

Tabla N°10.- Tiempo del caudal máximo no erosivo y del caudal permanente.

Sector	Kilómetro	Caudal de mojado (L/s) utilizado por el agricultor	Tiempo del caudal de mojado (min)	Caudal de riego (L/s) utilizado por el agricultor	Tiempo del caudal de riego (min)	Caudal permanente (L/s) de acuerdo al tipo de suelo	Tiempo de riego total (hrs)
Valle hermoso	4	0,43	12	0,38	228	0,16	4
Porvenir	7	0,50	5	0,33	295	0,31	5
El morro	10	0,53	3,30	0,22	296,7	0,41	5
Alberto Jordán	16	0,67	6,34	0,28	293,66	0,45	5
Rosario	17	0,70	79,54	0,67	280,46	0,09	6
Molinos	44	0,68	11,28	0,22	228,72	0,63	4
Molinos	45	0,68	10,57	0,22	229,43	0,53	4
Molinos	47	0,67	12,55	0,22	227,45	0,61	4
Chapisca	54	0,67	16,55	0,43	223,45	0,29	4

(Fuente: elaboración propia)

Según indica la tabla N°10, los agricultores del sector “Molinos” utilizan caudales de riego inferiores a los caudales que corresponden a las características hídricas de estos suelos de textura arenosa; todo lo contrario en los sectores de “Valle hermoso” y “Rosario” donde los caudales de riego superan al caudal infiltrado.

El tiempo de riego promedio de cada sector es de aproximadamente 4 hrs, con excepción de los sectores: “Porvenir”, “El morro”, “Alberto Jordán” y “Rosario”. La frecuencia de riego es de una vez por semana en todos los predios estudiados.

Nótese en tabla N°10, los bajos volúmenes de los caudales de mojado, que coinciden con la etapa de “mitación” en la cual se entra inmerso el valle de Lluta, periodo comprendido entre los meses de octubre a diciembre, donde se realizó la medición.

Tabla N°11.- Velocidad de infiltración por sectores del valle de Lluta.

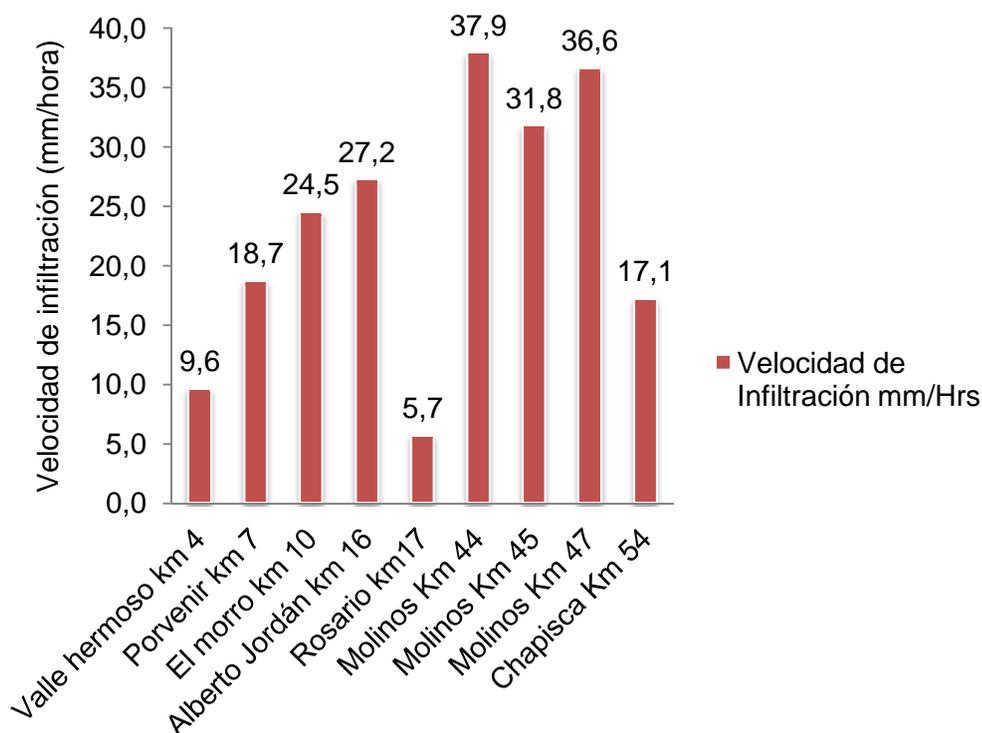
Sector	Kilómetro	Propietario	Velocidad de infiltración (mm/Hrs)	Textura del suelo	Humedad disponible (cm)
Valle hermoso	4	Claudio Ortiz Conde	9,60	Franco arcilloso	13
Porvenir	7	Luis González Silva	18,67	Franco	12
El morro	10	Heriberto Mamani Mamani	24,50	Franco arenoso	7,0
Alberto Jordán	16	Eugenio Mamani Poma	27,20	Franco arenoso	6,7
Rosario	17	Osvaldo Godoy Díaz	5,67	Arcilloso franco	14
Molinos	44	Aparicio Choque Terrazas	37,89	Arenoso	3,5
Molinos	45	Alfredo Humire	31,76	Arenoso	3,4
Molinos	47	Aníbal Humire	36,56	Arenoso	3,9
Chapisca	54	Efraín Blanco Flores	17,14	Franco	12

(Fuente: elaboración propia)

La tabla N°11, muestra la velocidad de infiltración (mm/hrs) por sector del valle de Lluta. Nótese que las velocidades de infiltraciones arrojaron los resultados más altos en el sector “Molinos” donde los suelos corresponden a texturas arenosas, no así en el sector “Valle hermoso” y “Rosario” donde los suelos son de texturas finas y la velocidad de infiltración fue menor.

En la última columna derecha se observa, que todos los predios estudiados en el sector “Molinos” presentan los centímetros más bajos de humedad disponible, mientras que los centímetros de humedad más altos, se encuentran en los suelos de texturas finas que tienen la capacidad de retener más agua, pertenecientes a los sectores de “Valle hermoso” y “Rosario”.

Gráfico N°2. - Velocidad de infiltración en mm/hrs.



(Fuente: elaboración propia)

En el gráfico N°2, se observa los sectores “Valle hermoso” y “Rosario” presentan los niveles más bajos de velocidad de infiltración, estos resultados coinciden con la textura franco arcilloso y arcilloso franco de estos suelos.

Las velocidades de infiltraciones más altas se observaron en los predios del sector de “Molinos”, estos resultados concuerdan con la textura de estos suelos arenosos, que presentan características tales como: buen drenaje y poca capacidad de retención de agua.

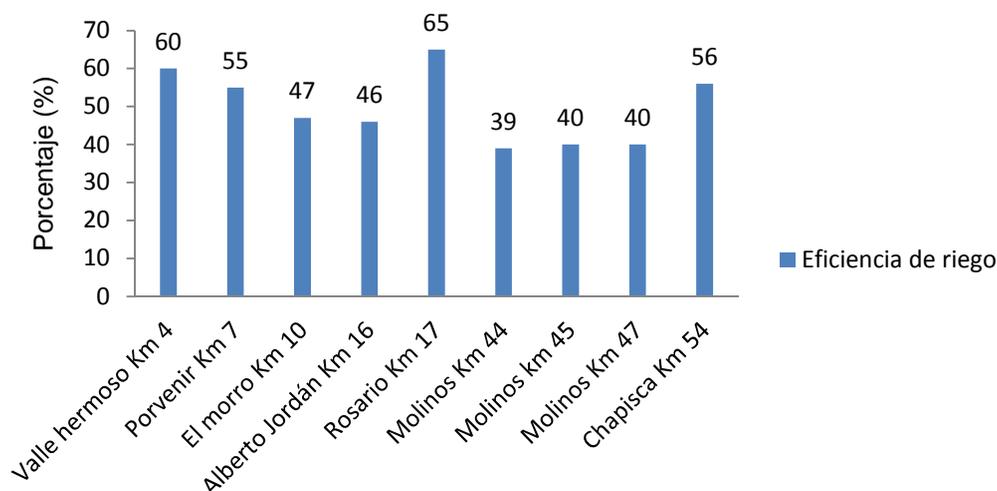
Tabla N°12.- Principales variables del diseño de riego por surcos.

Sector	Kilómetro	Volumen de agua infiltrada (Litros)	Volumen de agua aplicada (Litros)	Eficiencia de riego (%)
Valle hermoso	4	3339	5556	60
Porvenir	7	3335	6050	55
El morro	10	1851	3962	47
Alberto Jordán	16	2419	5245	46
Rosario	17	9502	14559	65
Molinos	44	1336	3435	39
Molinos	45	1384	3415	40
Molinos	47	1376	3458	40
Chapisca	54	3648	6471	56

(Fuente: elaboración propia)

La tabla N°12, muestra el volumen de agua infiltrada y el volumen de agua aplicada en litros, finalmente en la última columna derecha se muestran los resultados de la eficiencia de riego por sector.

Gráfico N°3.- Porcentajes de eficiencias en sectores del valle de Lluta



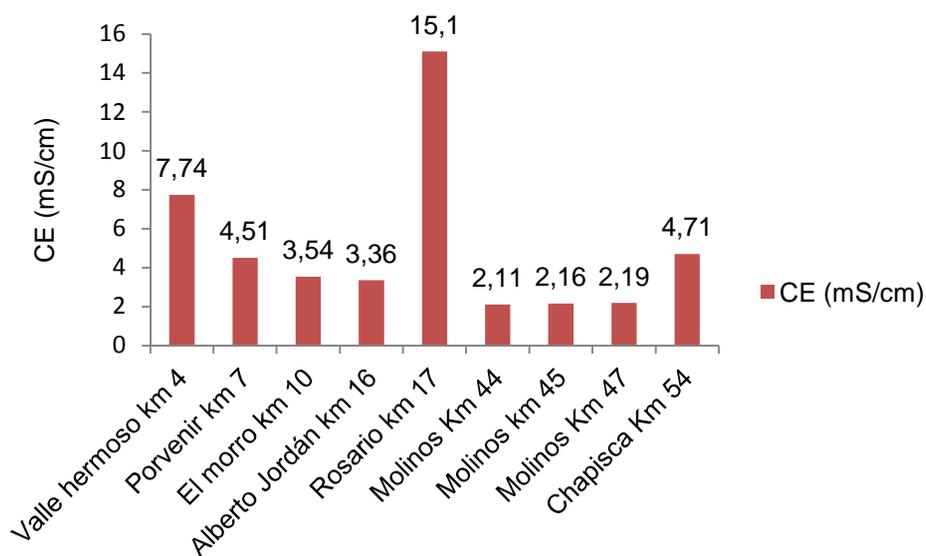
(Fuente: elaboración propia)

El gráfico N°3, muestra los niveles de eficiencia de riego, nótese que las eficiencias de riego más altas se presentan en los sectores “Valle hermoso” y “Rosario” que corresponden al 60% y 65% respectivamente, estos resultados pertenecen a suelos que retienen más agua (textura fina).

Los sectores de “Porvenir” y “Chapisca” presentan suelos de textura franco, y sus eficiencias corresponden al 55 % y 56% respectivamente, mientras que las

eficiencias de riego más baja se registraron en el sector de “Molinos” en donde la textura de los suelos es arenosa y por ende se pierde más agua por la alta permeabilidad que caracteriza en estos tipos de suelos.

Gráfico N⁴.- Valores de Conductividad Eléctrica (C.E), en los suelos del valle de Lluta.

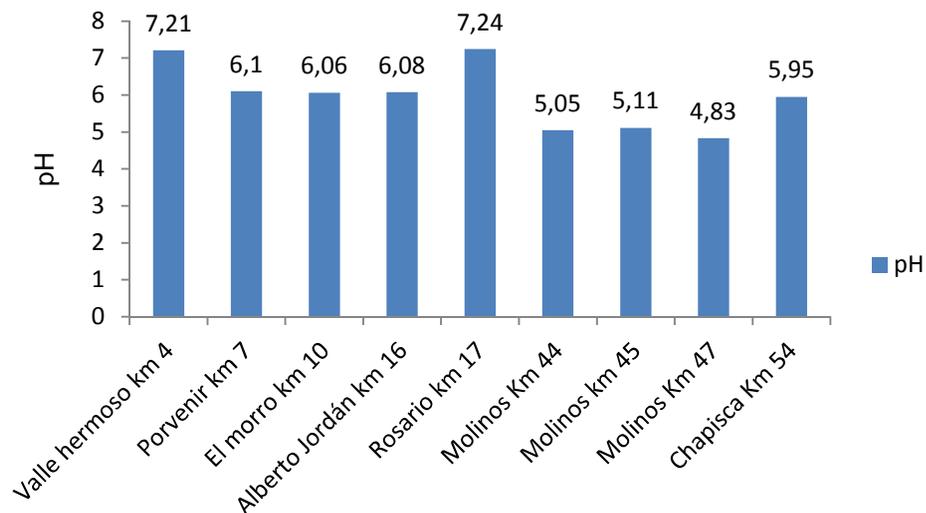


(Fuente: elaboración propia)

En el gráfico N⁴, los sectores de “Valle hermoso” y “Rosario” presentan los niveles de conductividad eléctrica (C.E), más altas de todos los predios estudiados. El resultado de la C.E del sector “Rosario” concuerda precisamente con lo señalado por el agricultor, mencionó que el predio, “Rosario” desde hace muchos años ha presentado serios problemas en uno de sus drenes, lo que se ha manifestado en un incremento significativamente importante de la concentración de sales en el suelo.

Al comparar los gráficos N³ y gráfico N⁴, los sectores de “Valle hermoso” y “Rosario” presentan los mayores niveles tanto de salinidad; como así también de eficiencia de riego, no así en los predios ubicados en el sector de “Molinos” que tienen los menores niveles de salinidad y de eficiencia.

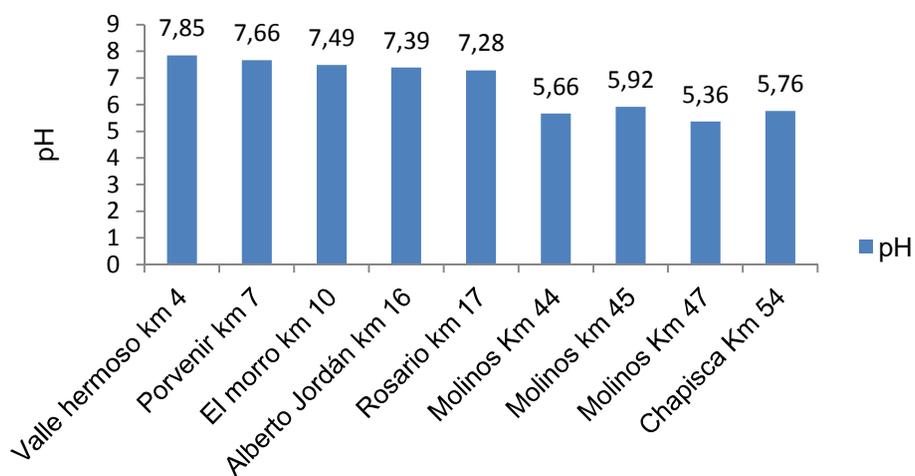
Gráfico N5.- Valores de pH en los suelos del valle de Lluta.



(Fuente: elaboración propia)

El gráfico N5, muestra los valores de pH del suelo más bajos encontrados en el sector alto del valle de Lluta, “Molinos”, sin embargo para los sectores comprendidos en la zona baja entre los kilómetros 4 y 17, presentan rangos de pH desde levemente ácido a neutro.

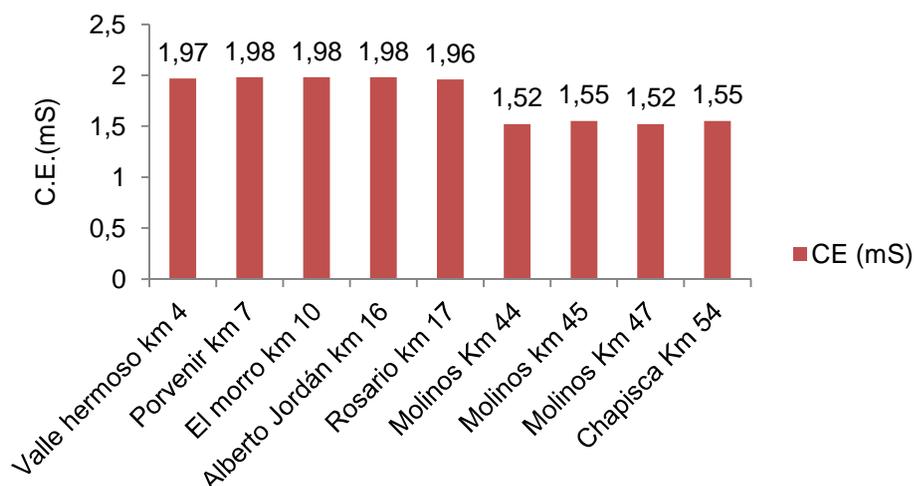
Gráfico N6.- Valores de pH en el agua de riego del valle de Lluta.



(Fuente: elaboración propia)

El gráfico N6, muestra los valores de pH del agua de riego del valle de Lluta. Estos valores, se mantienen estables desde el kilómetro N4 “Valle hermoso”, hasta “Rosario” ubicado en el kilómetro 17, sin embargo se produce un leve cambio de pH de neutro a pH ligeramente ácido en el sector de “Molinos” y “Chapisca”.

Gráfico N°7.- Valores de la Conductividad Eléctrica (C.E), del agua por sectores en el valle de Lluta.



(Fuente: elaboración propia)

Según el gráfico N°7, la conductividad eléctrica, fue incrementándose a medida que el agua transcurre hacia la desembocadura del río Lluta, situación que concuerda con lo señalado por (Torres, A., 2008), “La salinidad de las aguas del río Lluta, evaluada a través de la C.E., aumenta a medida que avanza hacia la desembocadura, con valores de 2 a 6 dS/m. Esto refleja la contaminación salina que va siendo objeto el río por las descargas de los drenes que posee el valle y los aportes de los desagües de los parceleros en todo su recorrido”.

Tabla N°13.- Clasificación de la calidad del agua en el valle de Lluta, según la C.E. (mS), y la Relación de Adsorción de Sodio.

Sector Del valle de Lluta	C.E. (mS)	pH	RAS
Valle hermoso km. 4	1,97	7,85	3,34
Porvenir km. 7	1,98	7,66	3,92
El morro km.10	1,98	7,49	3,80
Alberto Jordán km.16	1,98	7,39	3,80
Rosario km. 17	1,96	6,58	3,78
Molinos Km. 44	1,52	5,66	3,30
Molinos Km. 45	1,55	5,92	3,40
Molinos Km. 47	1,52	5,36	3,32
Chapisca Km. 54	1,55	5,76	2,48

(Fuente: elaboración propia)

La tabla N°13, señala los valores obtenidos del R.A.S (Relación de Adsorción de Sodio). El agua para riego del valle de Lluta, representa un peligro por su alto contenido de sales sin embargo en cuanto a los porcentajes de R.A.S, este muestra un bajo peligro de sodio, esto coincide con lo citado por (Torres, A., 2008), “el agua disponible para riego en el valle de Lluta, según clasificación U.S.D.A, representa un alto peligro de salinización dada su conductividad

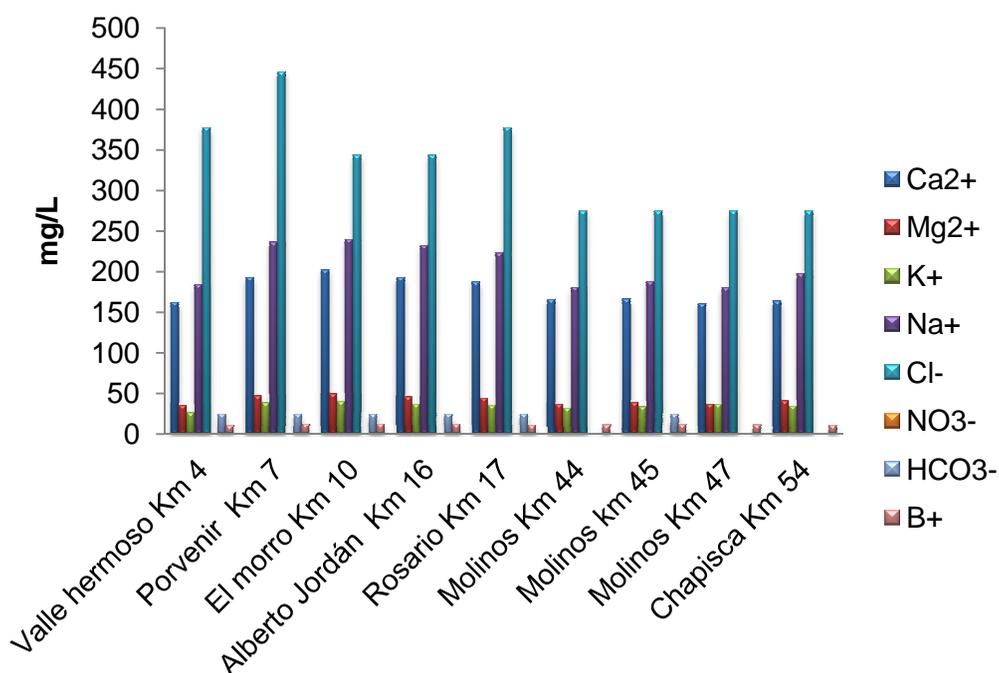
eléctrica, y por su relación de adsorción de sodio (R.A.S) representa un bajo peligro de sodio”.

Tabla N°14.- Análisis químico del agua por sectores del valle de Lluta (mg/L).

N°	Sector	Km.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	B ⁺
1	Valle hermoso	4	161,9	35,0	26,0	184,0	377,22	ND	24,4	10,25
2	Porvenir	7	192,7	46,5	38,0	236,0	445,81	ND	24,4	12,03
3	El morro	10	201,7	49,0	39,5	239,5	342,93	ND	24,4	11,91
4	Alberto Jordán	16	192,7	45,5	36,5	232,0	342,93	ND	24,4	11,80
5	Rosario	17	187,3	44,0	35,0	222,8	377,22	ND	24,4	10,39
6	Molinos	44	165,6	36,5	31,5	180,5	274,34	ND	0	10,77
7	Molinos	45	165,9	38,5	33,5	187,5	274,34	ND	24,4	11,32
8	Molinos	47	160,1	36,5	36,5	180,0	274,34	ND	0	10,99
9	Chapisca	54	163,6	40,5	34,0	197,5	274,34	ND	0	10,58

(Fuente: elaboración propia).

Gráfico N°8.- Análisis químico del agua por sectores en el valle de Lluta.



(Fuente: elaboración propia).

Según la tabla N°14 y el gráfico N°8, el análisis del agua de riego reveló un alto contenido de cloruros, sodio, y calcio, sin embargo los niveles de boro y carbonatos se mantuvieron en los niveles esperables, según lo citado por (Torres, A., 2008) “El boro se encuentra en altas concentraciones en el agua del río Lluta, incrementándose hacia el poniente, con valores máximos de 22,26 ppm. Se reconoce como una de las principales fuentes de la contaminación por boro de las aguas al río Colpitas y en parte al río Azufre”.

Cabe mencionar que las muestras de agua de riego se tomaron durante el mes de marzo donde el caudal aumentó gradualmente, lo que significó un nivel de concentración de boro relativamente baja en comparación con otros meses, donde se incrementa su nivel como consecuencia de la disminución del caudal de riego.

Tabla N°15.- Valores promedio del contenido de humedad en base a peso antes del riego, entre 24 - 48 horas después del mismo, en nueve predios del valle de Lluta.

Prof. (cm)	(0 - 15)		(15 - 40)		(40 - 70)	
	W1	W2	W1	W2	W1	W2
Sector						
Valle hermoso	10,78	26,88	12,62	27,56	11,77	26,60
Porvenir	13,96	25,65	10,64	21,94	11,58	23,57
El morro	7,54	14,89	6,7	13,66	9,94	15,89
Alberto Jordán	17,26	22,73	18,8	27,23	19,41	27,93
La gaviota	14,23	26,59	12,93	24,52	14,1	27,32
Molinos Km.44	2,01	4,59	4,15	7,17	2,65	6,16
Molinos Km.45	3,07	7,11	3,20	8,35	1,82	3,00
Molinos Km.47	3,60	8,74	8,83	13,14	3,46	5,44
Chapisca Km.54	11,56	24,20	15,62	27,56	15,94	27,25

W1: humedad antes del riego

W2: humedad 24 - 48 horas después del riego

(Fuente: elaboración propia)

En la tabla N° 15, se muestra los valores promedios de humedad en porcentajes antes del riego, entre 24 - 48 horas después del mismo. Los rangos de humedad corresponden a tres ubicaciones dentro del mismo surco: inicio, intermedio y final.

El inicio corresponde de 0 -15 cm, intermedio a los 15 - 40 cm y final a los 40 - 70 cm respectivamente.

Nótese los altos porcentajes de contenidos de humedad (después del riego), en los sectores donde los suelos de los predios “Valle hermoso y “Rosario” corresponden a texturas franco arcilloso y arcilloso franco.

En cambio los suelos de texturas arenosas como el sector de “Molinos” presentaron bajos porcentajes de contenido de humedad debido a su textura arenosa.

CAPÍTULO V

5.- CONCLUSIÓN

Según la caracterización de los sistemas de riego por surcos estudiados de cada sector, la gran mayoría de las variables de diseño, no presentan características significativas que los distinguan unos de otros, generalmente todos los predios bajo estudio, mantienen el mismo ancho de surco, con excepción de la longitud que varía en todos sectores.

El número de surcos por unidad de riego se mantiene en un rango de 6 a 12 en todos los predios estudiados. El número de unidades de riego es variable y depende del tamaño de la superficie cultivada de cada sector.

El tiempo de riego promedio de cada sector es de aproximadamente de 4 horas, con excepción de algunos sectores como: "Porvenir", "El morro", "Alberto Jordán", donde se riega por 5 horas y en el sector "Rosario" durante 6 horas.

Los agricultores del valle de Lluta, utilizan aproximadamente el mismo tiempo y frecuencia de riego en todos los predios estudiados, sin embargo ocupan un caudal de riego mayor en el sector "Valle hermoso" y "Rosario" e inferior en el sector de "Molinos".

Los mayores centímetros de humedad disponible pertenecen a los sectores donde los suelos corresponden a texturas finas y por consiguiente dado sus características hídricas retienen más agua, como: "Valle hermoso", "Porvenir", "Rosario" y "Chapisca", no así en los sectores donde los suelos son de textura arenosa como es el caso del sector de "Molinos" donde los resultados arrojaron los centímetros más bajos de humedad disponible.

Respecto a la velocidad de infiltración, cabe mencionar que los sectores que obtuvieron los resultados más bajos pertenecen a suelos de texturas más finas (franco arcilloso y arcilloso franco) como, "Valle hermoso" y "Rosario". Por el contrario los altos niveles de velocidad de infiltración se presentaron en los predios del sector "Molinos" que corresponden a suelos de texturas arenosas que poseen una elevada permeabilidad y escasa retención de agua.

Los resultados de las eficiencias de riego demostraron que los agricultores manejan adecuadamente sus sistemas de riego y existe relación entre la eficiencia del sistema de riego por surcos y la salinidad.

Los niveles de salinidad más altos corresponden a las conductividades eléctricas: 7,74 y 15,1 mS/cm, registradas en los sectores de, “Valle hermoso” y “Rosario” respectivamente; y que además obtuvieron las eficiencias de aplicación de riego más altas de todos los predios en estudio.

En cambio los niveles más bajos de salinidad, se presentaron en los predios del sector “Molinos”, donde también las eficiencias de aplicación del agua de riego se mantuvieron bajas.

Por lo que se puede deducir que un suelo de textura arcillosa, posee una alta eficiencia y una alta conductividad eléctrica (concentración de sales en el suelo), consecuencia de la cantidad de sales presentes en el agua de riego, que se encuentran retenidas por fuerzas fisicoquímicas en este tipo de suelo; en cambio un suelo de textura arenosa, tendrá una menor eficiencia junto a una menor conductividad eléctrica, ya que sus características hídricas, corresponden a una alta permeabilidad (buen drenaje) y una baja capacidad de retención de agua, lo que favorece la eficiente lixiviación de las sales en el suelo.

Los resultados para el diseño de riego por surcos, (anexos, 8.1; 8.2; 8.3), en tres sectores se detallan a continuación:

- “Porvenir” presenta suelos de textura franco con una superficie de 5 hectáreas, el largo de sus surcos corresponde a 28 metros, con 8 surcos/unidad de riego y un total de 60 unidades de riego, el tiempo y frecuencia de riego se realiza en 5 horas, cada 7 días, sin embargo el diseño de riego basado en las características hídricas demostró que se puede modificar los surcos a 94 metros y reducir las unidades de riego a 18, el predio debería regarse cada 15 días y el tiempo de riego, corresponde a 14 horas.
- “Alberto Jordán” presenta un suelo de textura franco arenoso con una superficie de 1,5 hectáreas, el largo de los surcos corresponde a 36 metros, el predio presenta 12 surcos/unidad de riego, con un total de 15 unidades de riego; se riega durante 4 hrs, cada siete días, sin embargo si lo comparamos con el diseño de riego basado en las características hídricas

del suelo, demostró que el largo del surco debería ser de 83 metros y manteniendo el diseño ya establecido por el agricultor que corresponde a 12 surcos/unidad, además se debe aumentar las unidades de riego de 15 a 20.

El tiempo y la frecuencia de riego corresponden a 4 hrs, cada 9 días respectivamente, comparándolo con lo que aplica el agricultor entonces estaría dentro de lo adecuado.

- “Molinos Km. 44” posee un suelo de textura arenosa con una superficie de 5000 m², el largo de los surcos corresponde a 38 metros, el predio presenta en su diseño de riego 8 surcos/unidad de riego, el total de las unidades de riego corresponden a 18. El predio tiene un tiempo y frecuencia de riego de 4 hrs, cada siete días, sin embargo el diseño de riego por surcos basado en las características hídricas del suelo, sugiere surcos más cortos de 30 metros, manteniendo el número de surcos a 9 .

El tiempo de riego corresponde a 84 minutos, por lo que el agricultor está perdiendo agua y además la frecuencia de riego en suelos de texturas arenosas debe ser más corta, cada cuatro días.

Finalmente las pruebas realizadas permiten manejar varias alternativas en el diseño de riego por surcos, en cuanto al manejo del caudal, tiempo de aplicación, longitud de surco, velocidad de infiltración, todo en función de la textura, caudal de riego y pendiente del terreno.

CAPÍTULO VI

6.- RECOMENDACIONES

A continuación se entregan recomendaciones para que los agricultores del valle de Lluta puedan mejorar la eficiencia en sus sistemas de riegos por surcos.

- Para que el manejo del riego sea lo más eficiente posible, en suelos de texturas finas (arcillosas), se puede modificar la separación entre surcos, dado que en estos suelos, el agua se mueve en sentido lateral que en profundidad, por lo que la distancia entre surcos en este tipo de suelos debe ser mayor que en los suelos de texturas arenosas.
- Para suelos de texturas arenosas que absorben más rápidamente el agua y que además tienen baja capacidad de retención de la misma, los surcos deben ser más cortos.
- Para suelos de texturas finas (arcillosas), las longitudes de los surcos pueden aumentarse a medida que aumenta la profundidad media del agua que debe aplicarse.
- En suelos que tienen una pendiente menor, los surcos pueden ser más largos, pero esto depende de la textura del suelo anteriormente mencionada.
- Finalmente el largo máximo de los surcos va a depender de la textura del suelo, pendiente del terreno y el volumen de agua a aplicar
- La cantidad de agua a aplicar en el surco debe ir en relación con la capacidad de retención de agua del suelo (textura) y se debe ajustar a la longitud y pendiente del mismo.
- En sectores que presentan suelos de texturas arenosos y arenosos francos, debido a sus características hídricas (baja retención de agua), lo recomendable sería no regar una vez por semana sino más bien; aplicar riegos frecuentes, con ciclos de tiempos discontinuos.

CAPÍTULO VII

7.- BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- FUENTES, J. 2003. Técnicas de Riego. Ediciones Mundi – Prensa (4^{ta} edición). Madrid. 460 pp.
- GUROVICH, L. 1985. Fundamentos y Diseños de sistemas de Riego. Centro Interamericano de Documentación e Información Agrícola CIDIA. Costa Rica. 433 pp.
- INDERCO, LTDA. 1980. "Estudio de la Red de Drenaje del Valle del Río Lluta". Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. 125 p.
- INGENDESA. 1993a. Marzo. Consultoría Dep-012, "Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta". Vol. 4/4- Dirección de Riego. Ministerio de Obras Públicas. 111 pp.
- INGENDESA 1995b. Marzo. Consultoría Dep-012, "Análisis de Descontaminación y Embalse en Río Lluta". II Parte - Drenaje. Dirección de Riego. Ministerio de Obras Públicas.
- JENSEN, M. E.; HARRISON, S.D.; KORVEN, H.C., y ROBINSON, FE 1980. Diseño y Operación de Sistemas de Riego Agrícolas (M.E. Jensen, ed.). Asociación Agrícola de Ingenieros. 15 - 41 pp.
- JICA, 1995. "El Estudio Sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile". Informe Principal Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. Chile. 52 pp.
- SANTOS, L. 2010. El Riego y sus Tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua, C.R.E.A Universidad de Castilla la Mancha. La Mancha- España pág. 296.
- SOQUIMICH, Agenda del Salitre. 2001. ref. Santiago 2001 p.157-172.

Tesis

- BASTIAS, E. 2005. Interacción del boro en la tolerancia a la salinidad de *Zea mays* L. amilácea originario del valle de Lluta (Arica-Chile). Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. España.
- MATAS, J. 1995. Nuevas tecnologías para aumentar la eficiencia del riego superficial. Tesis Ing. Agr. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. 92 p.

Revistas y Boletines

- ACEITUNO, P.1996. Assessing upper limits of seasonal predictability of rainfall in central Chile based on SST in the equatorial Pacific. *Experimental Long-Lead Forecast Bulletin*, 5(2), 37-40.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. 1989. *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage paper N° 29. FAO. Roma. 174 p.
- BROWN, P.H.; BELLALOU, N.; WIMMER, M.A.; BASSIL, E.S.; RUIZ, J.; HU, H.; PFEFFER, H.; DANDEL, F.; RÖMHELD, V. 2002. Boron in Plant Biology. *Plant Biology* 4: 211-229.
- COOK, G.D. AND W. MULLER 1997. Is exchangeable sodium content a better index of soil sodicity than exchangeable sodium percentage?: a reassessment of published data. *Soil Science* 162 (5): 343-349.
- CNR, 1999. Programación de Riego. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agronómicas. Servicio Integrado Agroclimatología y Riego. Comisión Nacional de Riego. Talca- Chile. Boletín mes de Marzo pág. 15 .
- DANDEL, F.; PFEFFER, H.; RÖMHELD, V. 2002. Update on boron in higher plants-Uptake, primary translocation and compartmentation. *Plant Biology* 4: 193-204
- EL-SWAIFY, S. 2000. Soil and Water Salinity In Plant Nutrient Management in Hawaii, *Soils Plant Nutrient Management in Hawaii Soils Approaches for Tropical Agricultura and Human Resources*, University of Hawaii at Manoa.
- FAO. 1987. *La calidad del agua en la agricultura*. Serie Estudio FAO: Riego y Drenaje N° 29. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 174 p.
- INE, 2007. VII Censo Nacional Agropecuario. Resultados Estadísticos de Explotaciones y Superficies regadas. Boletín especial, mes de noviembre pág.3.
- INIA, 2005. *Manejo del Riego Localizado y Fertirrigación*. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N°126. 56 p.
- KOSMAS, C., AND MOUSTAKAS N. 1990. Hydraulic conductivity and leaching of an organic saline-sodic soil. *Geoderma*, 46:363-37
- LÄUCHLI, A. 2002. Functions of boron in higher plants: recent advances and open questions. *Plant Biology* 4: 190-192.

- MALDONADO, G. 1988. Instalación de Redes Freatimétricas en las Áreas Irrigadas de la Provincia de Mendoza. Publicación Técnica N° 11 - Departamento General de Irrigación, Facultad de Ciencias Agrarias - UNC. Mendoza-Argentina.
- MARSHALL T., HOLMES J. AND C. ROSE. 1996. Soil Physics Third Edition Cambridge University, 453 p.
- TARKIEWICZ, AND NOSALEWICZ, A. 2005. Effect of organic carbon content on the compactibility and penetration resistance of two soils formed from loes. Int Agrophysic, 19, 345-350.
- TORRES, A; ACEVEDO, E., Septiembre - Diciembre 2008. El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa. IDESIA (Chile). Volumen N° 26. pág. 31-44.
- TORRES, A. JIMÉNEZ, M. 1998. "Programa de Investigación en Parcelas Experimentales, Cuenca Río San José". Universidad de Tarapacá, D.G.A SIT N° 52. Vol. I. 116 p.
- SILOB CHILE, 2000. Estudio de línea base ambiental para el proyecto "Entierro de línea Ossa 2 en el río Lluta".

Páginas de Internet

- SADZAWKA,. A., CARRASCO, A., GREZ, R. Y MORA, M. 2004. Métodos de análisis recomendados para los suelos salinos chilenos. [consulta:20-08-2012] Disponible en:
<http://www.inia.cl/platina/descarga/docs/libros/métodos_an_suelos_v20004.pdf.>

CAPÍTULO VIII

8.- Anexos

8.1.- Diseño de un sistema de riego por surcos en “Porvenir”.

Se necesita estimar la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo, como en el predio se estudiaron tres estratas, se calcula la humedad aprovechable de las tres estratas (suelo).

Profundidad	CC	W*	D.ap	H	Textura
0-15	26	14	1,48	15	Franco
15-40	22	11	1,40	25	Franco
40-70	24	12	1,50	30	Franco

W*= humedad antes del riego.

Cálculo de la evapotranspiración real de la etapa más crítica del cultivo de maíz (formación de granos.)

Etapa Desarrollo	Eb mm/día	Kp	Kc	ETo mm/día	ETc mm/día
3era	3	0,67	1,15	2.01	2,31

HA₁: Franco: [12/100] 1,48gr/cc x 15 cm = 2,66 cm = 26,6 mm

HA₂: Franco: [11/100] x1,40 gr/cc x 25cm = 3,85 cm= 38,5 mm

HA₃: Franco [12/100] x 1,50 gr/cc x 13,3 cm =2,39 cm = 23,9 mm

Determinar la profundidad útil: 80 cm (profundidad de la raíz del maíz) x 2/3 = 53,3 cm (considerando que las plantas extraen el agua en los 2/3 de profundidad de su sistema radical.)

26,6 mm+ 38,5 mm + 23,9 mm = 89 mm (capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.)

Aplicando un criterio de riego de 40%,(dato: Fuentes Yagüe, 2003) cálculo de la lámina neta.

89 mm x 0.40 = 35,6 mm (lámina neta)

Aplicando la fórmula de ETo

ETo= Kp x Eb

ETo= 0,67x 3= 2,01 mm/día

ETC= Eto x Kc = 2,01.x 1,15 = 2,31 mm/día

Etc = 35,6/2,31= 15,41 es decir cada 15 días debería regarse el cultivo del maíz.

8.1.1. - Memoria de cálculo del diseño por surcos.

- Caudal máximo no erosivo: $36/0,2 = 3 \text{ L/S}$
- Caudal infiltrado: $18,7 - 15,65 = 3,05 \text{ L/min} = 186 \text{ L/hrs}$
- Velocidad de infiltración: caudal infiltrado/largo y ancho del surco entonces sería: $186 \text{ L/hrs} / (0,35\text{m} \times 28\text{m}) = 18,67 \text{ L/m}^2 \times \text{Hrs} = 18,67 \text{ mm/Hrs.}$
- El caudal permanente: caudal infiltrado del surco /largo del surco $3,05 \text{ L/min} / 28\text{m} = 0,11 \text{ L/min/m} * 94 \text{ m} = 10,3 \text{ L/min} = 0,17 \text{ L/s}$
- Tiempo de riego= agua fácilmente disponible / velocidad de infiltración
- $(89 \text{ mm} / 18,67 \text{ mm/hrs}) = 4,76 \text{ hrs} = 286 \text{ minutos}$
- Se estima el tiempo de mojado, es decir el tiempo que tarda en llegar el agua al final del surco, ha de ser $\frac{1}{4}$ de tiempo de riego:
- Tiempo de mojado: $286 / 4 = 71,5 \text{ minutos}$

Interpolando en el gráfico de la curva de avance (Libro: Fuentes Yagüe, 2003 entonces el largo de los surcos sería de:

$77,07 \text{ min} - 71,5 \text{ min} = 5,57 \text{ min}$

90 m ----- 68,3 min

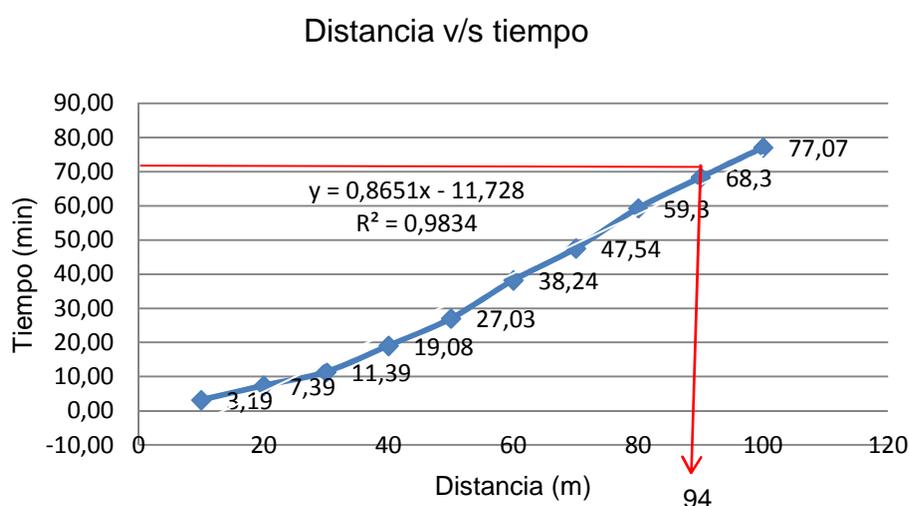
100 m-----77,07min

10 m----- 8,77 min

x ----- 5,57 min

$x = 6,35$

$100 \text{ m} - 6,35 \text{ m} = 93,65 = 94 \text{ metros}$



- El número de surcos que posee el predio :

Caudal de abastecimiento: $18,5 \text{ L/s}$

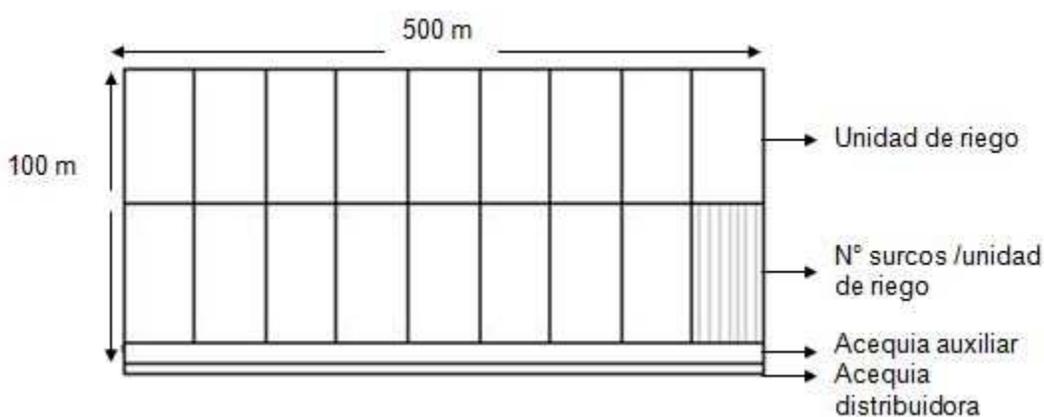
Caudal de abastecimiento / Caudal máx. no erosivo

Unidades de riego: $18,5 \text{ L/s} / 3 \text{ L} = 6 \text{ surcos.}$

- N° de unidades de riego que se riegan al mismo tiempo:
caudal máx. no erosivo/caudal permanente
 $3 \text{ L/s} / 0,17 \text{ L/s} = 18$ unidades de riego
- Posturas de riego= número de unidades por regar / unidades que se riegan al mismo tiempo.
 $18/6 = 3$ unidades que se riegan al mismo tiempo.

286 (tiempo de riego) \times 3 (número de posturas) = 858 min.= 14 horas
es decir que el tiempo que demora en regarse el predio es de 14 hrs
(858 mín.).

Diseño agronómico distribución de los surcos en la superficie del terreno



(Fuente: elaboración propia)

La figura muestra donde se trazan los surcos, el largo máximo de los surcos es de 94 metros. El número de surcos/unidad de riego corresponde a 6, sin contar las acequias auxiliares y de distribución. El predio cuenta con 18 unidades de riego, agrupados en 3 unidades. El predio de 5 hectáreas demora 14 horas en regarse.

8.2.- Diseño de un sistema de riego por surcos en el sector “Alberto Jordán”.

Se necesita estimar la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo, como en el predio se estudiaron tres estratas, se calcula la humedad aprovechable de las tres estratas (suelo).

Profundidad	CC	W*	D.ap	H	Tipo suelo
0-15	23	17	1,58	15	Franco arenoso
15-40	27	19	1,54	25	Franco arenoso
40-70	28	23	1,48	30	Franco arenoso

(Fuente: elaboración propia)

W*= humedad antes del riego

Cálculo de la evapotranspiración real de la etapa más crítica del cultivo de maíz (formación de granos.)

Etapa Desarrollo	Ebmm, día	Kp	Kc	ET _o mm/día	ET _c mm/día
3era	3	0,67	1,15	2.01	2,31

(Fuente: Fuentes Yagüe, 2003)

HA₁: Franco arenoso: [6/100] 1,58 gr/cc x 15 cm = 1,422 cm =14 mm

HA₂: Franco arenoso: [8/100] x1,54 gr/cc x 25 cm = 3,08 cm= 30,8 mm

HA₃: Franco arenoso [5/100] x 1,48 gr/cc x 13,3 cm = 0,98 cm = 9,8 mm

14 mm+ 30,8 mm + 9,8 mm = 54,60 mm (capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.)

Determinar la profundidad útil: 80 cm (profundidad de la raíz del maíz) x 2/3 = 53,3 cm (considerando que las plantas extraen el agua en los 2/3 de profundidad de su sistema radical).

Aplicando un criterio de riego de 40%,(dato: Fuentes Yagüe, 2003) cálculo de la lámina neta.

$54,60 \times 0.40 = 21,84$ mm (lámina neta).

Aplicando la fórmula de ET_o

$ET_o = K_p \times E_b$

$ET_o = 0,67 \times 3 = 2,01$ mm/día

$ET_c = E_{to} \times K_c = 2,01 \times 1,15 = 2,31$ mm/día

$ET_c = 21,84 / 2,31 = 9,4$ es decir cada 9 días debería regarse el cultivo del maíz.

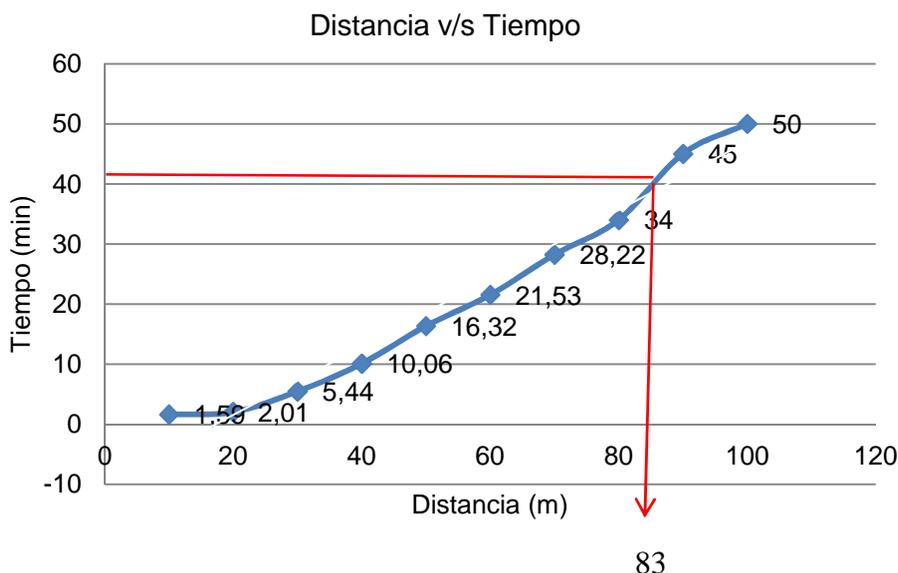
8.2.1. - Memoria de Cálculo del diseño de riego por surcos.

- Caudal máximo no erosivo: $36/0,2 = 3$ L/S
- Caudal infiltrado: $14,08$ L/min - 10 L/min = $4,08$ L/min = $244,8$ L/hora
- Velocidad de infiltración: caudal infiltrado/velocidad de infiltración entonces sería : $244,8$ L/hrs/(36 m x $0,25$ m)= 27 L/m² x Hrs = 27 mm/Hrs.

- El caudal permanente: caudal infiltrado del surco /largo del surco
 $4,08 \text{ L/min}/36\text{m} = 0,11 \text{ L/min} * 83 \text{ m} = 9,41 \text{ L/min} = 0,15 \text{ L/s}$
- Tiempo de riego= agua fácilmente disponible / velocidad de infiltración
 $(54,60 \text{ mm}/27\text{mm/hrs}) = 2,02 \text{ hrs} = 121 \text{ minutos}$
- Se estima el tiempo de mojado, es decir el tiempo que tarda en llegar el agua al final del surco) ha de ser $\frac{1}{4}$ de tiempo de riego:
- Tiempo de mojado: $121/4 = 30,25 \text{ minutos}$

Interpolando en el gráfico de la curva de avance (Libro: Fuentes Yagüe, 2003) entonces el largo de los surcos sería de:

$34 - 30,25 \text{ min} = 3,75 \text{ min}$
 $34 \text{ min} \text{-----} 80\text{m}$
 $45 \text{ min} \text{-----} 90\text{m}$
 $11 \text{ min} \text{-----} 10 \text{ m}$
 $3,75 \text{ min} \text{-----} x$
 $x = 3,40$
 $80\text{m} + 3,40 \text{ m} = 83 \text{ metros}$

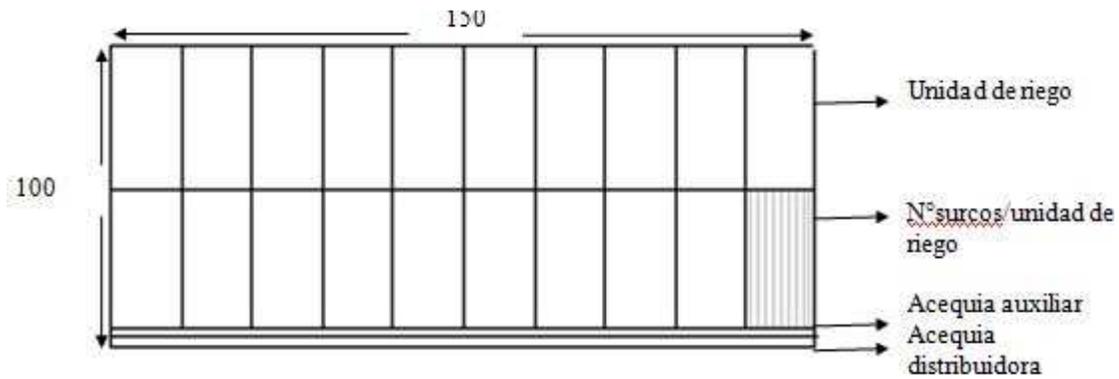


- El número de surcos que posee el predio :
 Caudal de abastecimiento: 36 L/s
 Caudal de abastecimiento / Caudal máx. no erosivo
 Unidades de riego: $36 \text{ L/s} / 3 \text{ L/s} = 12 \text{ surcos}$.
- N° de unidades de riego que se riegan al mismo tiempo:
 caudal máx. no erosivo/caudal permanente
 $3 \text{ L/s} / 0,15 \text{ L/s} = 20 \text{ unidades de riego}$
- Postura de riego = número de unidades por regar / unidades que se riegan al mismo tiempo.

Entonces el número de posturas sería de $= 20 / 12 = 2$ número de posturas

$121 \text{ min (tiempo de riego)} \times 2 \text{ (número de posturas)} = 242 \text{ min.} = 4,03 \text{ horas}$
 Es decir que el tiempo que demora en regarse el predio es de 4 hrs
 (242 min).

Diseño agronómico distribución de surcos en la superficie del terreno



(Fuente: elaboración propia)

La figura muestra donde se trazan los surcos, el largo máximo de los surcos es de 83 metros. El número de surcos/unidad de riego corresponde a 12, sin contar las acequias auxiliares y de distribución. El predio cuenta con 20 unidades de riego, agrupados en 2 unidades. El predio de 1,5 hectáreas demora 4 horas en regarse.

8.3.- Diseño de un sistema de riego por surcos en sector "Molinos" Km 44.

Se necesita estimar la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo, como en el predio se estudiaron tres estratas, se calcula la humedad aprovechable de las tres estratas (suelo).

Profundidad	CC	W*	D.ap	H	Tipo suelo
0-15	5	2	1,62	15	Arenoso
15-40	7	4	1,70	25	Arenoso
40-70	6	3	1,68	30	Arenoso

*W= humedad antes del riego.

Cálculo de la evapotranspiración real de la etapa más crítica del cultivo de maíz (formación de granos.)

Etapa Desarrollo	Ebmm, día	Kp	Kc	ET _o mm/día	ET _c mm/día
3era	3	0,67	1,15	2.01	2,31

HA₁: Arenoso: $[3/100] 1,62 \text{ gr/cc} \times 15 \text{ cm} = 0,73 \text{ cm} = 7,3 \text{ mm}$

HA₂: Arenoso: $[3/100] \times 1,70 \text{ gr/cc} \times 25 \text{ cm} = 1,275 \text{ cm} = 12,5 \text{ mm}$

HA₃: Arenoso: $[3/100] \times 1,68 \text{ gr/cc} \times 13,3 \text{ cm} = 0,67 \text{ cm} = 6,7 \text{ mm}$

$7,3 \text{ mm} + 12,5 \text{ mm} + 6,7 \text{ mm} = 26,5 \text{ mm}$ (capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.)

Determinar la profundidad útil: 80 cm (profundidad de la raíz del maíz) $\times 2/3 = 53,3 \text{ cm}$ (considerando que las plantas extraen el agua en los $2/3$ de profundidad de su sistema radical).

Aplicando un criterio de riego de 40%, (dato: Fuentes Yagüe) cálculo de la lámina neta.

$26,5 \text{ mm} \times 0.40 = 10,6 \text{ mm}$ (lámina neta)

aplicando la fórmula de ET_o

ET_o = K_p x Eb

ET_o = $0,67 \times 3 = 2,01 \text{ mm/día}$

ET_c = ET_o x K_c = $2,01 \times 1,15 = 2,31 \text{ mm/día}$

ET_c = $10,6 / 2,31 = 4,58$ es decir cada 5 días debería regarse el cultivo del maíz.

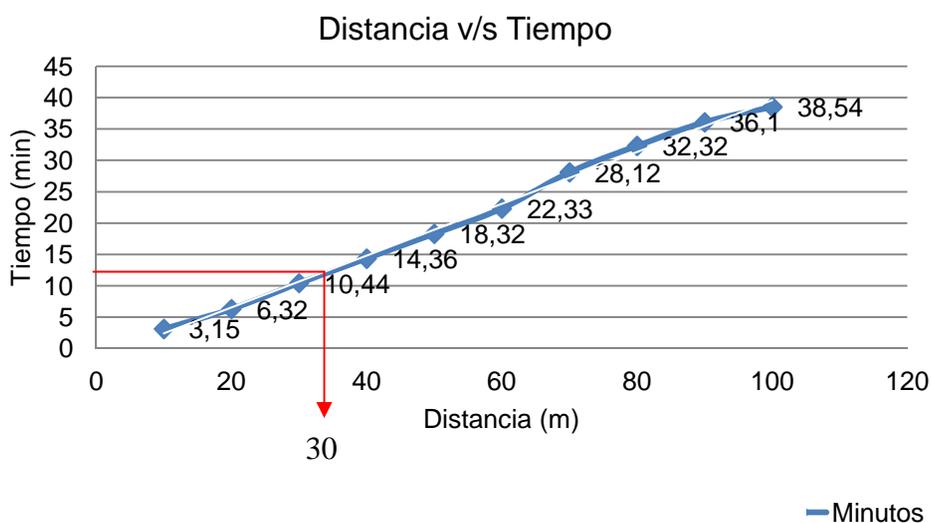
8.3.1. - Memoria de Cálculo del diseño por surcos.

- Caudal máximo no erosivo: $36/0,28 = 2,1 \text{ L/s}$
- Caudal infiltrado: $26,4 \text{ L/min} - 18 \text{ L/min} = 8,4 \text{ L/min} = 504 \text{ L/hrs}$
- Velocidad de infiltración: Caudal infiltrado/velocidad de infiltración entonces sería: $504 \text{ L/hrs} / (0,35\text{m} \times 38\text{m}) = 37,89 \text{ L/m}^2 \times \text{Hrs} = 37,89 \text{ mm/Hrs}$.
- El caudal permanente: caudal infiltrado del surco /largo del surco $8,4 \text{ L/min} / 38 \text{ m} = 0,22 \text{ L/min} \times 30 \text{ m} = 6,6 \text{ L/min} = 0,11 \text{ L/s}$

- Tiempo de riego= agua fácilmente disponible / velocidad de infiltración
(26,5 / 37,89 mm/hrs) = 0,69 hrs = 42 minutos
- Se estima el tiempo de mojado, es decir el tiempo que tarda en llegar el agua al final del surco) ha de ser $\frac{1}{4}$ de tiempo de riego:
- Tiempo de mojado: $42/4 = 10,5$ minutos

Interpolando en el gráfico de la curva de avance (Libro: Fuentes Yagüe, 2013 entonces el largo de los surcos sería de:

14,36 min ----- 10,5 min = 3,86 min
 14,36 min ----- 40 m
 10,44 min ----- 30 m
 3,92 min ----- 10 m 40 m - 9,84 = 30 metros
 3,86 min ----- x
 x = 9,84

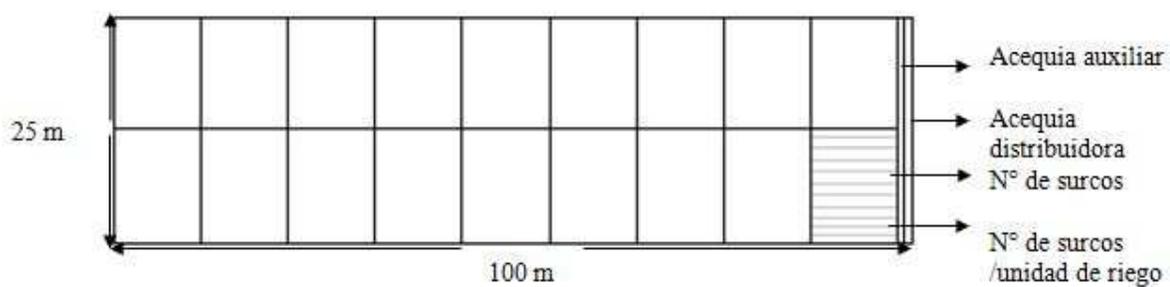


(Fuente: elaboración propia)

- El número de surcos que posee el predio :
 Caudal de abastecimiento: 18 L/s
 Caudal de abastecimiento / Caudal máx. no erosivo
 Unidades de riego: 18 L/s / 2,1 L/s = 9 surcos.
- N° de unidades de riego que se riegan al mismo tiempo:
 caudal máx. no erosivo/caudal permanente
 2,1 L/s / 0,12 L/s = 18 = 18 unidades de riego
- Postura de Riego= número de unidades por regar / unidades que se riegan al mismo tiempo.

Entonces el número de posturas sería de= $18/9 = 2$ número de posturas
 42 (tiempo de riego) X 2 (número de posturas) = 84 min.= 1,4 horas.
 Es decir que el tiempo que demora en regarse el predio es de 1,4 hrs (84 mín.)

Diseño agronómico distribución de surcos en la superficie del terreno

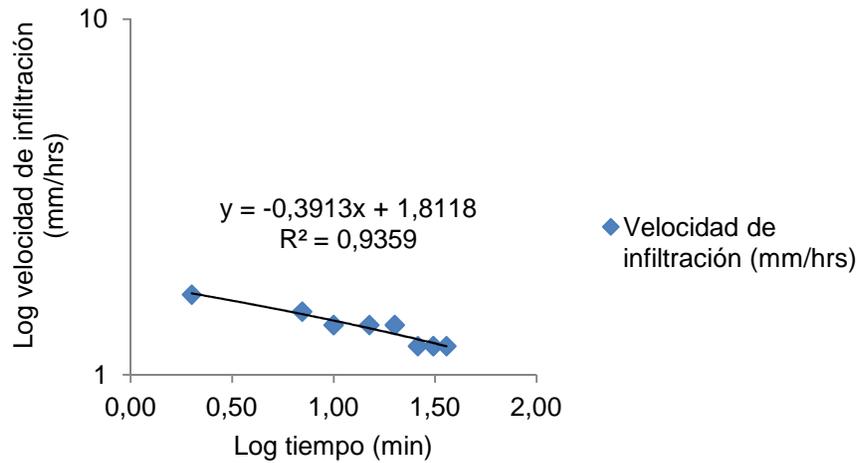


(Fuente: elaboración propia).

La figura muestra donde se trazan los surcos, el largo máximo de los surcos sería de 30 metros. El número de surcos/unidad de riego corresponde a 9, sin contar las acequias auxiliares y de distribución. El predio cuenta con 18 unidades de riego, se riegan 2 unidades de riego a la misma vez. El predio tiene una superficie de 0,5 ha demora 84 minutos en regarse.

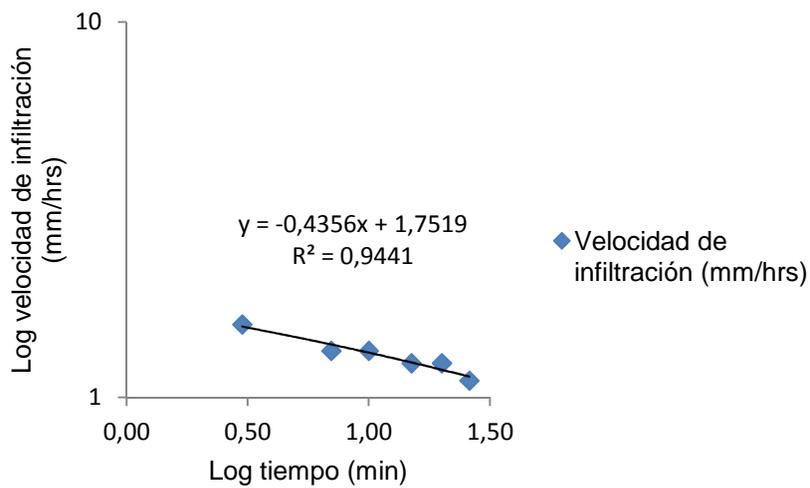
8.4.- Curvas de velocidad de infiltración

Gráfico N°9.- Velocidad de infiltración v/s tiempo en el sector "Valle hermoso" Km. 4.



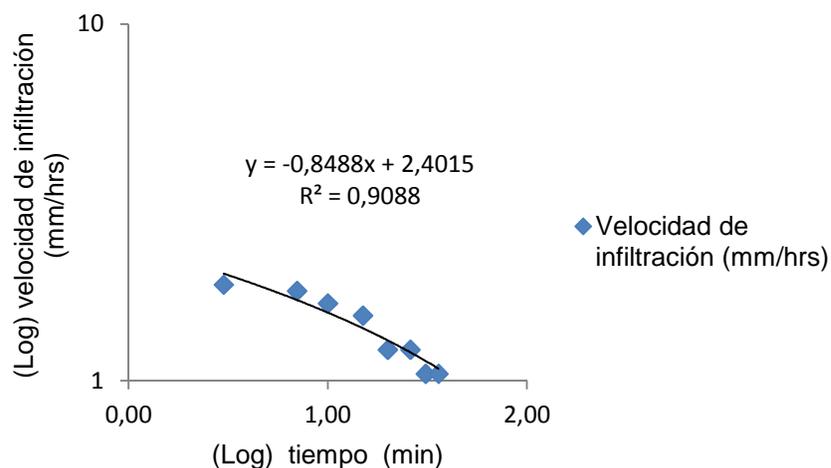
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°10.- Velocidad de infiltración v/s tiempo en el sector "Porvenir" Km. 7.



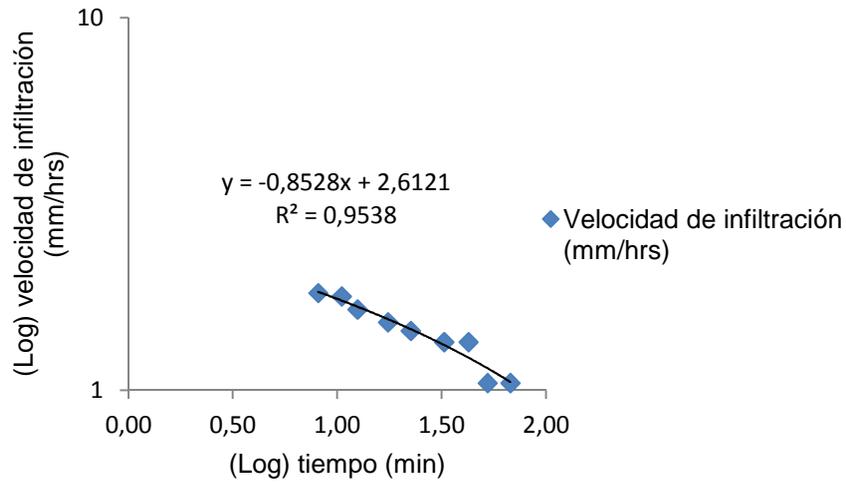
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°11.- Velocidad de infiltración v/s tiempo en el sector "El morro" Km. 10.



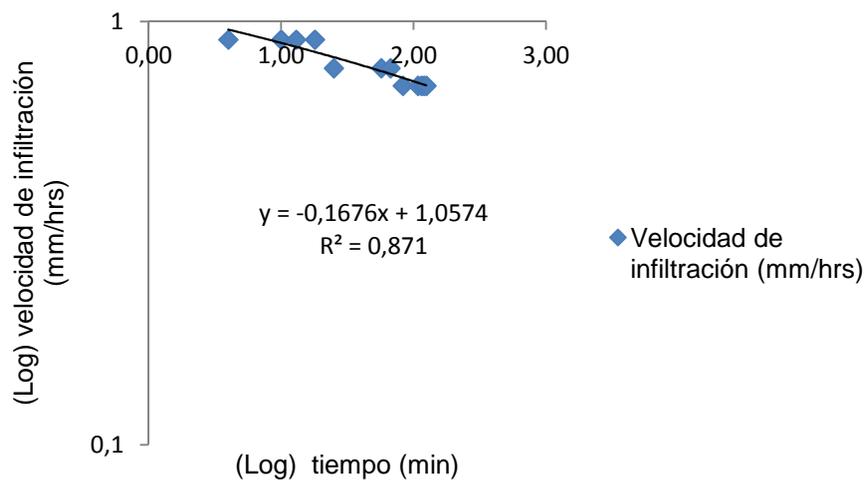
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°12.- Velocidad de infiltración v/s tiempo o en el sector "Alberto Jordán" Km. 16.



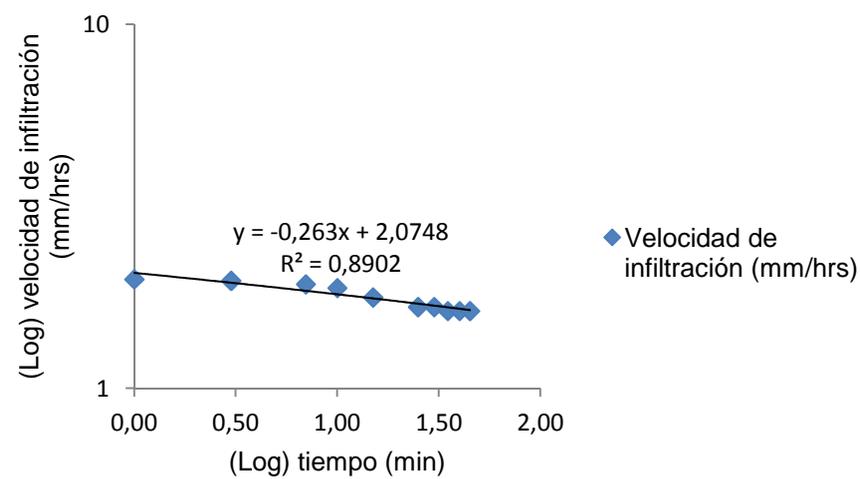
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°13.- Velocidad de infiltración v/s tiempo o en el sector "Rosario" Km. 17.



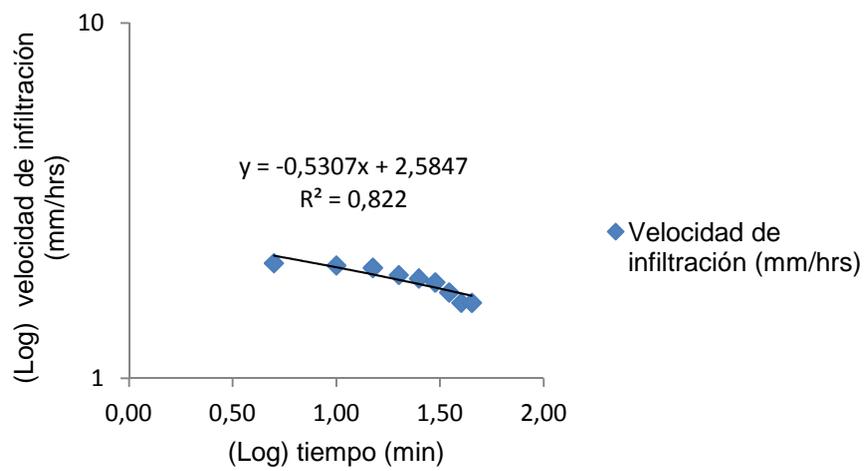
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°14.- Velocidad de infiltración v/s tiempo o en el sector "Molinos" Km. 44.



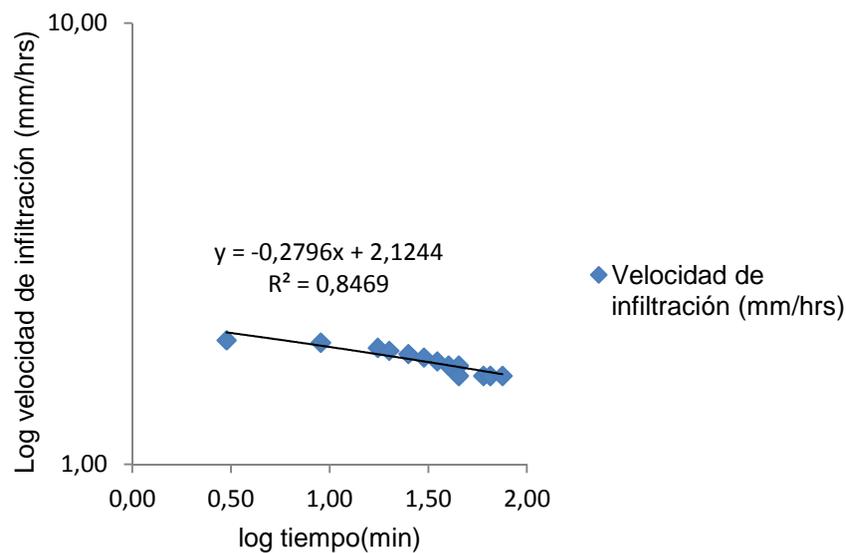
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°15.- Velocidad de infiltración v/s tiempo o en el sector "Molinos" Km. 45.



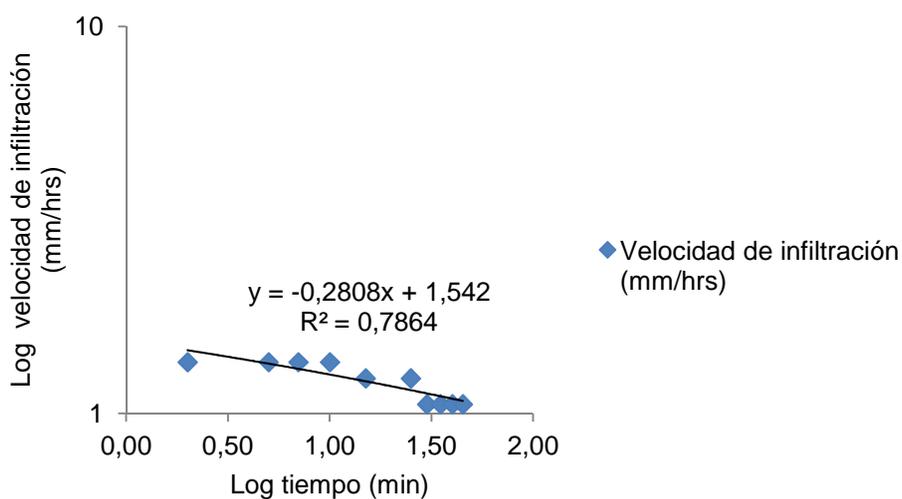
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°16.- Velocidad de infiltración v/s tiempo o en el sector "Molinos" Km. 47.



(Fuente: elaboración propia)

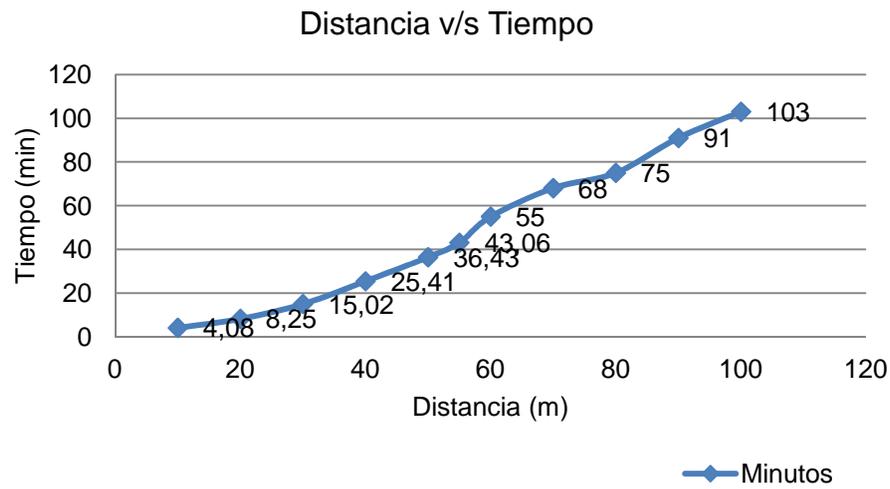
Gráfico N°17- Velocidad de infiltración v/s tiempo o en el sector "Chapisca" Km. 54.



(Fuente: elaboración propia)

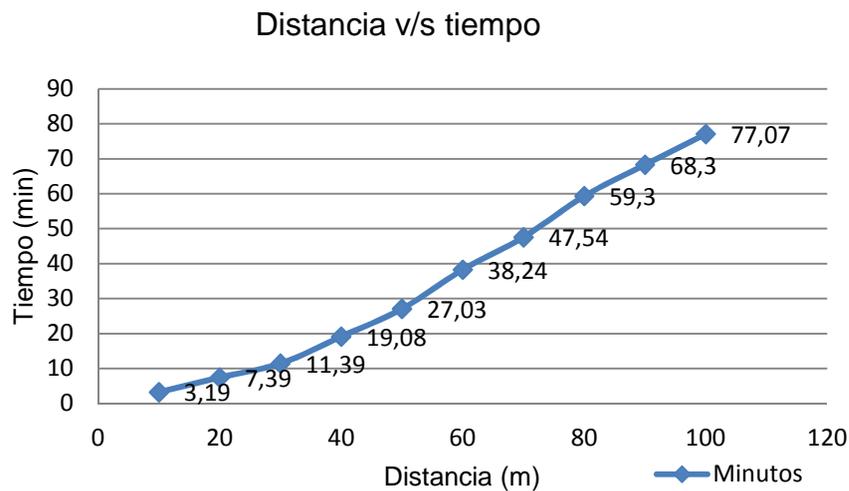
8.5.- Curvas de avance

Gráfico N°18.- Tiempo que demora el agua en llegar al final del surco en el sector "Valle hermoso" Km 4.



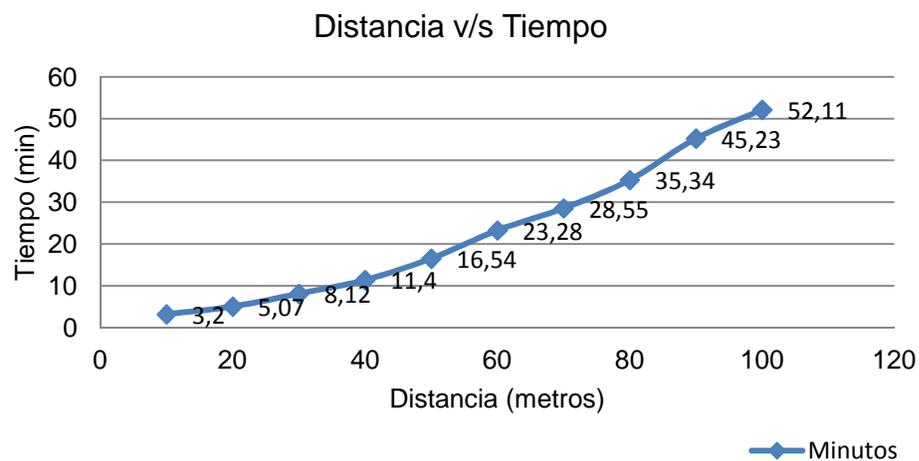
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°19.- Tiempo que demora el agua en llegar al final del surco en el sector "Porvenir" Km 7 .



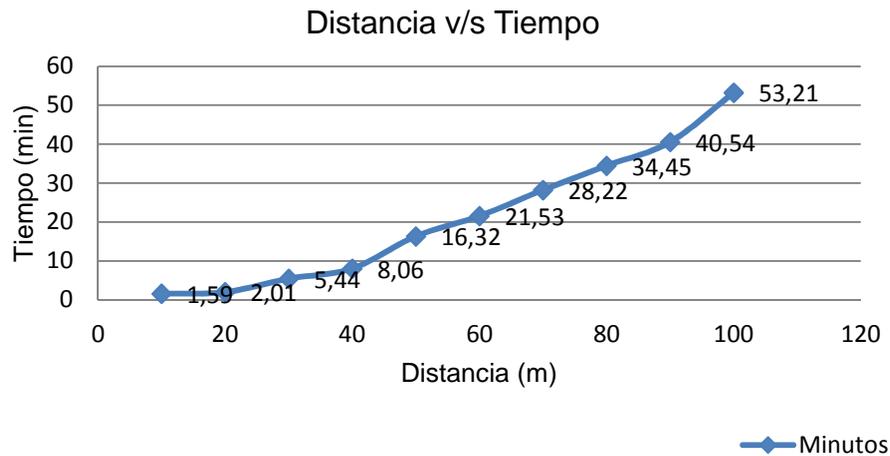
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°20.- Tiempo que demora el agua en llegar al final del surco en el sector "El morro" Km 10.



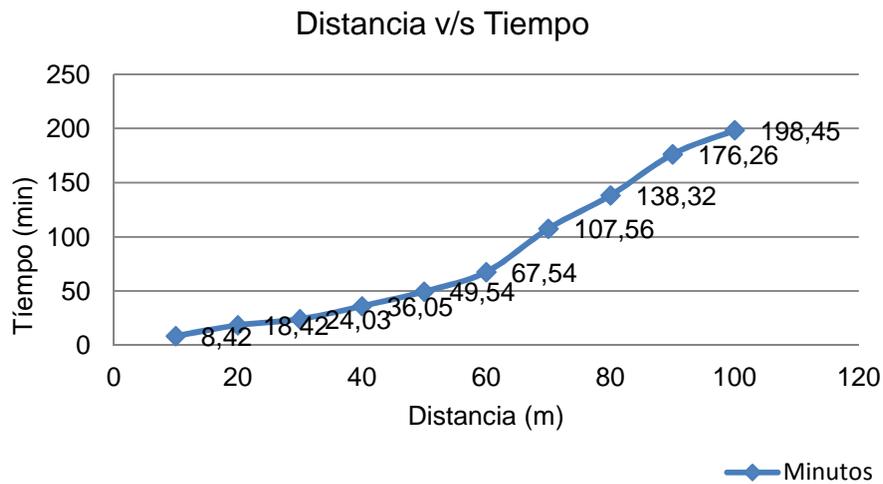
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°21.- Tiempo que demora el agua en llegar al final del surco en el sector "Alberto Jordán" Km16.



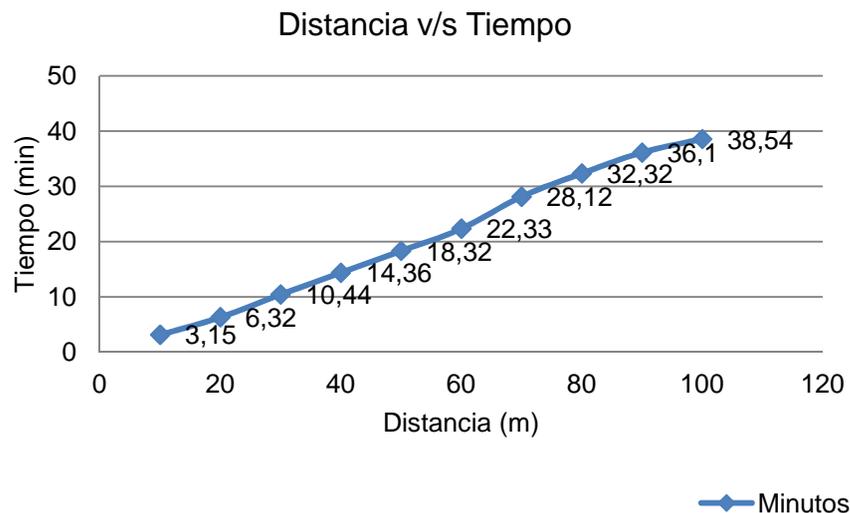
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°22.- Tiempo que demora el agua en llegar al final del surco en el sector "Rosario" Km 17.



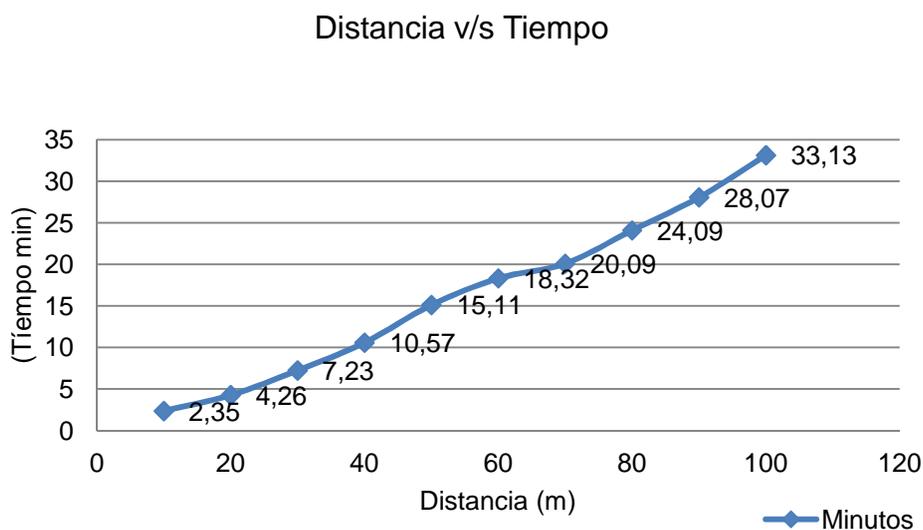
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°23.- Tiempo que demora el agua en llegar al final del surco en el sector "Molinos" Km 44.



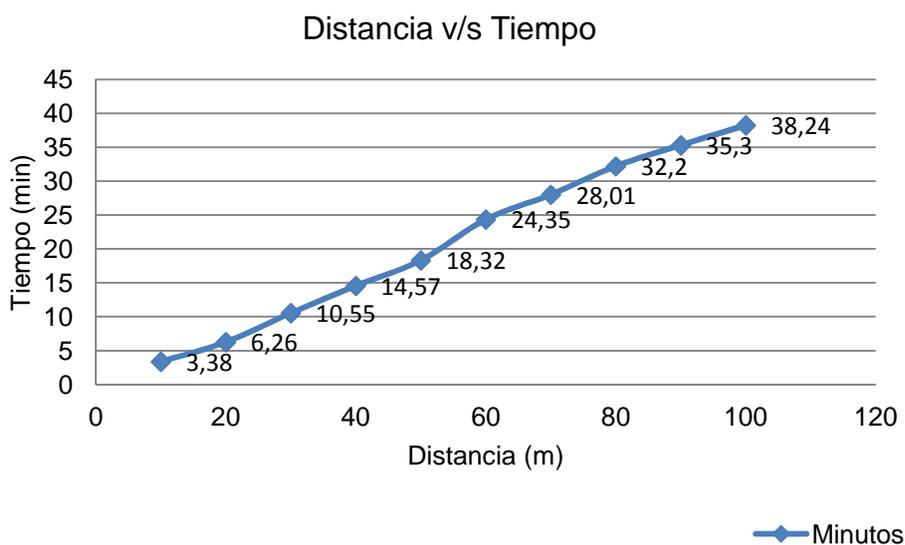
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°24.- Tiempo que demora el agua en llegar al final del surco en el sector “Molinos” Km 45.



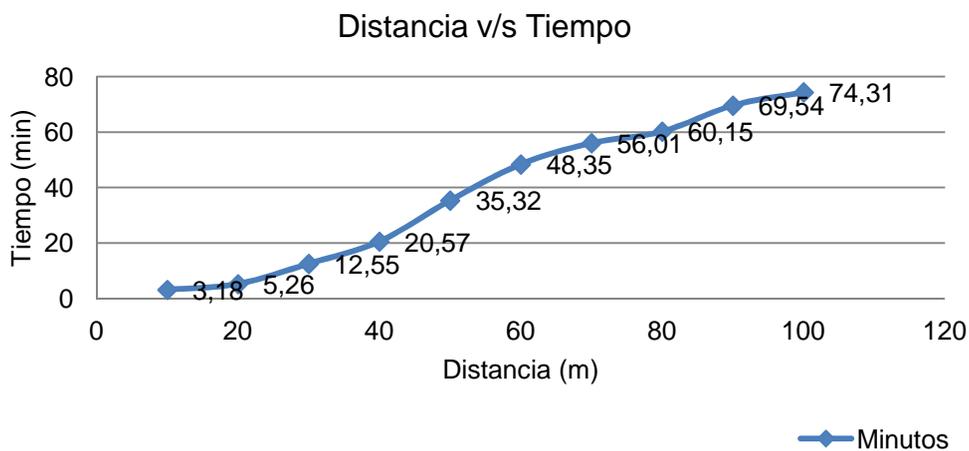
(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°25.- Tiempo que demora el agua en llegar al final del surco en el sector “Molinos” Km 47.



(Fuente: elaboración propia)

Gráfico N°26.- Tiempo que demora el agua en llegar al final del surco en el sector “Chapisca” Km 54.



(Fuente: elaboración propia)

8.6.- Características físicas de suelos de los sectores estudiados.

Tabla N°16.- Características físicas del suelo en el sector “Valle hermoso” Km 4.

Profundidad	CC	H*	D.ap	H	Textura
0-15	27	11	1,3	15	Franco arcilloso
15-40	28	13	1,33	25	Franco arcilloso
40-70	26	12	1,25	30	Franco arcilloso

(Fuente: elaboración propia)

Tabla N°17.- Características físicas del suelo en el sector “Porvenir” Km 7.

Profundidad	CC	H*	D.ap	H	Textura
0-15	26	14	1,48	15	Franco
15-40	22	11	1,40	25	Franco
40-70	24	12	1,50	30	Franco

(Fuente: elaboración propia)

Tabla N°18.- Características físicas del suelo en el sector “El morro” Km 10.

Profundidad	CC	H*	D.ap	H	Textura
0-15	15	8	1,51	15	Franco arenoso
15-40	14	7	1,49	25	Franco arenoso
40-70	16	10	1,48	30	Franco arenoso

(Fuente: elaboración propia)

Tabla N°19.- Características físicas del suelo en el sector “Alberto Jordán” Km 16

Profundidad	CC	H*	D.ap	H	Tipo suelo
0-15	23	17	1,58	15	Franco arenoso
15-40	27	19	1,54	25	Franco arenoso
40-70	28	23	1,48	30	Franco arenoso

(Fuente: elaboración propia)

Tabla N°20.- Características físicas del suelo en el sector “Rosario” Km 17.

Profundidad	CC	H*	D.ap	H	Tipo suelo
0-15	27	11	1,25	15	Arcillo arenoso
15-40	25	10	1,35	25	Arcillo arenoso
40-70	27	10	1,20	30	Arcillo arenoso

(Fuente: elaboración propia)

Tabla N°21.- Características físicas del suelo en el sector “Molinos” Km 44.

Profundidad	CC	H*	D.ap	H	Tipo suelo
0-15	5	2	1,62	15	Arenoso
15-40	7	4	1,70	25	Arenoso
40-70	6	3	1,68	30	Arenoso

(Fuente: elaboración propia)

Tabla N°22.- Características físicas del suelo en el sector "Molinos" Km 45.

Profundidad	CC	H*	D.ap	H	Tipo suelo
0-15	7	3	1,60	15	Arenoso
15-40	8	3	1,60	25	Arenoso
40-70	3	2	1,67	30	Arenoso

(Fuente: elaboración propia)

Tabla N°23.- Características físicas del suelo en el sector "Molinos" Km 47.

Profundidad	CC	H*	D.ap	H	Tipo suelo
0-15	9	4	1,70	15	Arenoso
15-40	13	9	1,65	25	Arenoso
40-70	5	3	1,68	30	Arenoso

(Fuente: elaboración propia)

Tabla N°24.- Características físicas del suelo en el sector "Chapisca" Km 54.

Profundidad	CC	H*	D.ap	H	Tipo suelo
0-15	24	12	1,50	15	Franco
15-40	27	16	1,52	25	Franco
40-70	27	16	1,60	30	Franco

(Fuente: elaboración propia)