



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL  
CUSCO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL  
MENCION RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE**

**TESIS**

**EFFECTO DE LA PENDIENTE DEL TERRENO Y TUBERÍAS  
TERCIARIAS EN LA UNIFORMIDAD DE RIEGO, BULBO  
HÚMEDO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARVEJA (*Pisum  
sativum*)**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INGENIERÍA  
CIVIL MENCION RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE**

**AUTOR**

Br. Edgar Condori Valverde

**ASESOR:**

Dr. Carlos Jesus Baca Garcia

CÓDIGO ORCID: 0000-0002-8284-0614

**FINANCIADO POR:**

PROGRAMA “YACHAYNINCHIS WIÑARINAMPAQ”  
- UNSAAC

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: **EFFECTO DE LA PENDIENTE DEL TERRENO Y TUBERÍAS TERCIARIAS EN LA UNIFORMIDAD DE RIEGO, BULBO HÚMEDO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARVEJA (PISUM SATIVUM)**.

Presentado por: EDGAR CONDORI VALVERDE, con DNI Nro: 43663231

Para optar el título profesional/grado académico de Maestría en Ingeniería Civil Mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente.

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por tres veces, mediante el software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de ...7....%.

**Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis**

Porcentaje	Evaluación y acciones.	Marque con una X
Del 1 al 10 %	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayores a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, ...19..... de ....febrero..... de 2024.



FIRMA

POSTFIRMA: DR. CARLOS JESUS BACA GARCIA

N° DNI. 23952035

ORCID del Asesor: 0000-0002-8284-0614

**Se adjunta:**

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: <https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:333376747?locale=es-MX>



NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DE LA PENDIENTE DEL TERREN  
O Y TUBERÍAS 19022024.pdf**

AUTOR

**EDGAR CONDORI VALVERDE**

RECUENTO DE PALABRAS

**29885 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**149274 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**191 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**15.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 19, 2024 7:38 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 19, 2024 7:40 AM GMT-5****● 7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

## DEDICATORIA

A Dios por su bendición con la sabiduría, su protección y su guía en el bien, en este mundo tan especial donde vivimos.

A mi madre Bertha Valverde Arias, por su gran afecto, cariño, amor, su confianza y la esperanza depositada en mi persona.

Quiero dedicar este logro a mi padre Carlos Condori Sánchez, por su gran humildad, por su coraje y por los momentos inolvidables. Asimismo, quiero dedicar a mis hermanos Juan Roger, Gladys, Edith, Candy Erika y Thania, decirles que les estimo muchísimo.

La vida es el regalo máspreciado y concedido por Dios; vive, ama, triunfa y construye tu hogar para ti pensando en un futuro mejor.

Perú te quiero, eres un país único, especial, lleno de riquezas en biodiversidad, turismo, gastronomía, minería y agroindustria. Sin la gobernanza de los traidores y vendepatrias serías un país desarrollado y potencia mundial.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero Agradecer a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, al programa “Yachayninchis Wiñarinanpaq”, por el cofinanciamiento de la tesis.

A Dr. Carlos Jesús Baca García, profesional de gran experiencia y trayectoria internacional, gracias por compartir sus experiencias y por el asesoramiento de la tesis.

A los dictaminadores de la tesis, por su comprensión y cooperación en la revisión y aprobación del proyecto de investigación.

A todos los profesionales del VRIN, quienes me brindaron su especial atención y apoyo incondicional en los trámites relacionados a la ejecución del presente proyecto de investigación.

A todos los profesionales de la UNSAAC, alta dirección y área administrativa, quienes de alguna manera contribuyen en el desarrollo científico de sus egresados de esta casa de estudios.

A todas las personas que me colaboraron durante la ejecución de la presente investigación, especialmente a Julián Piconá Huamanñahui, Fernando Chocata Escalante, Prof. Juan Gualberto Ccora, entre otros.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	x
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	xv
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Situación problemática .....	1
1.2. Formulación del problema.....	4
a. Problema general.....	4
b. Problemas específicos .....	4
1.3. Justificación de la investigación .....	5
1.4. Objetivos de la investigación .....	6
a. Objetivo general .....	6
b. Objetivos específicos .....	6
II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....	7
2.1. Bases teóricas .....	7
2.1.1. Suelo.....	7
2.1.1.1. Composición del suelo.....	7
2.1.1.2. Pendiente de terreno .....	9
2.1.1.3. Capacidad de campo (CC) .....	10
2.1.1.4. Punto de marchitez permanente (PMP) .....	10
2.1.2. Agua .....	10
2.1.2.1. Calidad de agua para riego .....	11
2.1.3. Riego por goteo .....	11
2.1.4. Bulbo húmedo.....	12

2.1.4.1.	Componentes del sistema de riego por goteo.....	13
2.1.5.	Diseño agronómico .....	20
2.1.6.	Diseño geométrico .....	25
2.1.7.	Diseño hidráulico .....	26
2.1.8.	Coeficiente de Uniformidad (Cu) .....	27
2.1.9.	Cultivo de arveja .....	29
2.2.	Marco conceptual.....	34
	Pendiente de Terreno .....	34
	Dureza del agua para riego .....	34
	Pérdida de carga .....	34
	El Manómetro .....	34
	Fertilización del suelo .....	35
2.3.	Antecedentes empíricos de la investigación.....	39
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	43
3.1.	Hipótesis .....	43
a)	Hipótesis general.....	43
b)	Hipótesis específicas .....	43
3.2.	Identificación de variables e indicadores .....	43
3.3.	Operacionalización de variables.....	45
IV.	METODOLOGÍA.....	46
4.1.	Ámbito de estudio: localización política y geográfica .....	46
4.2.	Tipo y nivel de investigación.....	48
4.3.	Unidad de análisis.....	49
4.4.	Población de estudio .....	49
4.5.	Tamaño de muestra .....	49
4.6.	Técnicas de selección de muestra .....	49
4.7.	Técnicas de recolección de información.....	49
4.8.	Técnicas de análisis e interpretación de la información.....	91

4.9. Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas ..	92
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	94
5.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados.....	94
5.1.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados .....	94
5.1.1.1. Procesamiento, análisis e interpretación de la composición fisicoquímico del suelo agrícola.....	94
5.1.1.2. Análisis, interpretación de los resultados de análisis fisicoquímico del agua de riego.....	96
5.1.1.3. Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados de Coeficiente de Uniformidad (CU).....	99
5.1.1.4. Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados de la formación de bulbo húmedo .....	103
5.1.2. Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados del rendimiento del cultivo de arveja .....	108
5.1.3. Discusiones .....	111
5.2. Pruebas de hipótesis.....	116
5.3. Presentación de resultados .....	121
CONCLUSIONES .....	130
RECOMENDACIONES .....	131
BIBLIOGRAFÍA .....	132
ANEXOS .....	136

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación entre velocidad de infiltración y el tipo de suelo .....	8
Tabla 2. Duración aproximada de las etapas en el ciclo vegetativo del cultivo de arveja .....	23
Tabla 3. Coeficientes de cultivo (Kc) del cultivo de arveja .....	23
Tabla 4. Velocidades de agua recomendadas en conducciones (m/s) .....	27
Tabla 5. Clasificación de los valores de Coeficiente de Uniformidad (CU) .....	29
Tabla 6. Valor nutricional de arveja por cada 100gr (81kcal) .....	30
Tabla 7. Operacionalización de las variables de estudio .....	45
Tabla 8. Diseño agronómico del cultivo de arveja con el sistema de riego .....	56
Tabla 9. Demanda Hídrica .....	57
Tabla 10. Oferta Hídrica .....	57
Tabla 11. Caracterización física de la vaina y granos de arveja cosechada. ....	89
Tabla 12. Operacionalización de diseño factorial .....	91
Tabla 13. Composición fisicoquímica del suelo agrícola .....	94
Tabla 14. Resultados de parámetros hídricos del suelo agrícola .....	96
Tabla 15. Composición fisicoquímica del agua de riego .....	96
Tabla 16. Metales del agua de riego analizado .....	97
Tabla 17. Metales tóxicos de agua de riego evaluado .....	98
Tabla 18. Resultados del Coeficiente de Uniformidad (Cu) .....	99
Tabla 19. Resultados del radio de suelo mojado (tiempo de irrigación 30min) .....	104
Tabla 20. Resultados de profundidad de bulbo húmedo (tiempo de irrigación 30min) .....	105
Tabla 21. Resultados del rendimiento de arveja en grano verde (t/ha) .....	109
Tabla 22. ANVA para Coeficiente de Uniformidad (%) .....	116
Tabla 23. Prueba de Tukey para Coeficiente de Uniformidad (%) .....	117

Tabla 24. ANVA para el radio de suelo mojado (cm) .....	117
Tabla 25. Prueba de Tukey para radio del suelo mojado (cm).....	118
Tabla 26. ANVA para profundidad de bulbo húmedo (cm).....	119
Tabla 27. Prueba de Tukey para profundidad de bulbo húmedo (cm) .....	119
Tabla 28. ANVA para rendimiento de cultivo de arveja (t/ha).....	120
Tabla 29. Prueba de Tukey para rendimiento de cultivo de arveja (t/ha) .....	121
Tabla 30. Resultados de los tratamientos evaluados.....	128

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos de la aplicación de riego por gravedad en laderas.....	3
Figura 2. Representación triangular para determinar la textura del suelo .....	8
Figura 3. Ilustración del método topográfico – planimétrico .....	9
Figura 4. Textura del suelo sobre la formación del bulbo húmedo.....	12
Figura 5. Componentes del sistema de riego por goteo.....	13
Figura 6. Cabezal de control de riego por goteo. ....	14
Figura 7. Tipos de filtro para riego por goteo. ....	15
Figura 8. Red de distribución de agua en riego por goteo. ....	16
Figura 9. Accesorios de PVC para tuberías .....	17
Figura 10. Dispositivos de control utilizados para riego. ....	18
Figura 11. Relación de caudal – presión en emisores .....	20
Figura 12. Curva general para el coeficiente del cultivo.....	23
Figura 13. Disposición de los goteros en cultivos hortícolas.....	26
Figura 14. Distribución de laterales y emisores.....	28
Figura 15. Lavado de fertilizantes por efecto de la conductividad hidráulica ....	33
Figura 16. Mapa geopolítico del departamento de Apurímac y Perú. ....	46
Figura 17. Localización geográfica del distrito de Tambobamba. ....	47
Figura 18. Parcela identificada para la investigación, localizado en la comunidad de San Andrés de Yanacca, distrito de Tambobamba.....	47
Figura 19. Corte del terreno con pendiente pronunciada y visualización 3D ....	48
Figura 20. Procesamiento de los datos, curvas de nivel y cálculo de pendientes .....	51
Figura 21. Balance hídrico para la irrigación de las parcelas. ....	57
Figura 22. Representación de las parcelas con 03 pendiente de terreno .....	58
Figura 23. Disposición de tuberías terciarias en tres formas con válvulas manuales. ....	60

Figura 24. Diseño y disposición de tuberías terciarias para su aplicación en el sistema de riego por goteo.....	61
Figura 25. Representación de las parcelas con pendientes y disposición de tuberías terciarias para la investigación .....	61
Figura 26. Diseño de la disposición de laterales con cintas de riego .....	62
Figura 27. Área total de la parcela experimental.....	62
Figura 28. Diseño del sistema de riego por goteo para la investigación .....	63
Figura 29. Sistema de riego por goteo para 09 tratamientos y control.....	63
Figura 30. Diseño completo de instalación de riego por goteo.....	64
Figura 31. Presiones calculadas en el sistema de riego por goteo .....	73
Figura 32. Comportamiento diario de parámetros hidrológicos y la evaporación de agua en el tanque clase A.....	82
Figura 33. Manómetros instalados en el sistema de riego .....	83
Figura 34. Superficie respuesta del Coeficiente de Uniformidad .....	100
Figura 35. Correlación de la pendiente del terreno y el coeficiente de uniformidad .....	101
Figura 36. Correlación de la cantidad de válvulas en la tubería terciaria y el coeficiente de uniformidad .....	102
Figura 37. Efecto de la interacción de las variables sobre el coeficiente de uniformidad. ....	103
Figura 38. Resultado de superficie respuesta para el radio de suelo mojado. ....	105
Figura 39. Resultado de superficie respuesta para la profundidad de Bulbo Húmedo .....	106
Figura 40. Correlación de la pendiente del terreno y la profundidad de bulbo húmedo .....	107
Figura 41. Correlación de la cantidad de válvulas instaladas sobre el radio de suelo mojado.....	108

Figura 42. Resultado de superficie respuesta para el rendimiento de cultivo de arveja .....	109
Figura 43. Correlación de la pendiente de terreno y el rendimiento de arveja	110
Figura 44. Correlación de la cantidad de válvulas instaladas en las tuberías terciarias y el rendimiento de arveja.....	111
Figura 45. Resultado de Coeficiente de Uniformidad en los tratamientos.....	121
Figura 46. Resultado de formación del radio de suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo en el tratamiento testigo (T0).....	122
Figura 47. Resultados de formación del radio de suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo en los tratamientos (T1, T2 y T3).....	123
Figura 48. Resultados de formación del radio de suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo en los tratamientos (T4, T5 y T6).....	125
Figura 49. Resultados de formación del radio de suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo en los tratamientos (T7, T8 y T9).....	126
Figura 50. Resultados de rendimiento de arveja en grano verde.....	127
Figura 51. Resultados de los tratamientos respecto a los variables dependientes.....	129
Figura 52. Comparativo de coeficiente de uniformidad y rendimiento.....	129

## **ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía 1. Desglaciación de las cordilleras en el Perú .....	1
Fotografía 2. Avances de la ciencia y tecnología en la agricultura del Perú. ....	5
Fotografía 3. Aplicación de agua mediante riego por goteo.....	12
Fotografía 4. Disposición de las laterales en terrenos con pendiente pronunciada. ....	25
Fotografía 5. Planta de arveja en desarrollo de floración y vainas.....	29
Fotografía 6. Planta de arveja con síntomas de antracnosis. ....	32
Fotografía 7. Planta de arveja con síntomas de oídium. ....	32

Fotografía 8. Limpieza de la parcela .....	50
Fotografía 9. Roturación del terreno agrícola.....	50
Fotografía 10. Obtención de las muestras de suelo agrícola .....	52
Fotografía 11. Obtención de muestras del agua de riego .....	53
Fotografía 12. Instrumentos utilizados en la determinación de (ET <sub>o</sub> ) .....	54
Fotografía 13. Parcelas con tres pendientes de terreno para su instalación del sistema de riego.....	59
Fotografía 14. Captación de agua, ensamblado de tuberías y accesorios.....	75
Fotografía 15. Disposición de tubería terciaria con válvulas manuales.....	76
Fotografía 16. Trabajos de evaluación del Coeficiente de Uniformidad de riego .....	77
Fotografía 17. Evaluación del diámetro mojado y formación de bulbo húmedo en el suelo irrigada.....	78
Fotografía 18. Semilla de arveja y productos agroquímicos para el cultivo .....	79
Fotografía 19. Surcado del terreno para la siembra.....	80
Fotografía 20. Siembra de arveja variedad Chinchucho .....	80
Fotografía 21. Pesado y homogenización de los fertilizantes .....	81
Fotografía 22. Riego del cultivo de arveja en las primeras semanas .....	82
Fotografía 23. Manómetros instalados para evaluar la presión de flujo de agua en el sistema de riego .....	83
Fotografía 24. Riego del cultivo de arveja, durante el crecimiento inicial de la planta .....	84
Fotografía 25. Aplicación de foliar a las plantas de arveja .....	85
Fotografía 26. Trabajos de aporque a las plantas de arveja. ....	85
Fotografía 27. Plantas de arveja aporcadas. ....	86
Fotografía 28. Limpieza del filtro de anillas en el arco de riego .....	86
Fotografía 29. Determinación de evapotranspiración del cultivo y su riego diario. ....	87

Fotografía 30. Tutorado del cultivo de arveja.....	87
Fotografía 31. Momento ideal para la cosecha de arveja en grano verde para fines comerciales .....	88
Fotografía 32. Cosecha de arveja en vaina verde de todos los tratamientos...	88
Fotografía 33. Cosecha de arveja en vaina verde de todos los tratamientos más el control.....	89
Fotografía 34. Caracterización física de las vainas y granos de arveja verde .	90
Fotografía 35. Pesado de las arvejas con tres replicas.....	91
Fotografía 36. Actividades de evaluación del Coeficiente de Uniformidad.....	99
Fotografía 37. Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 20% a un tiempo de irrigación por 30 minutos. ....	104

## RESUMEN

Los terrenos agrícolas con pendientes pronunciadas no son utilizados durante todo el año, porque, el riego tradicional conduce a la baja velocidad de infiltración, erosión de suelos, escorrentía, pérdida de los fertilizantes aplicados y baja eficiencia de riego. El objetivo fue evaluar el efecto de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias sobre la uniformidad de riego y el rendimiento del cultivo de arveja. Se acondicionaron tres parcelas con pendientes de 10%, 20% y 40%; y en cada parcela se instalaron tres subunidades de riego, insertando 0, 2 y 6 válvulas manuales en las tuberías terciarias, teniendo un total de 09 tratamientos. Las parcelas se instalaron con cintas de riego de 1.6 l/h de descarga a 20cm entre goteros y a 60cm entre laterales. Los resultados del coeficiente de uniformidad (CU) con mayor valor fue para el T7 (Pendiente de terreno 40% con instalación de 6 válvulas en tubería terciaria) con un CU=96.30%; respecto al rendimiento de arveja el T3 (pendiente de terreno 10% con instalación de 2 válvulas en tubería terciaria) presentó 10.75 t/ha, seguido del T1 (pendiente de terreno 10% sin instalación de válvulas en tubería terciaria) con 9.50 t/ha. Existe diferencia significativa entre los grupos para un p-valor < 0.05. La variación de la pendiente del terreno influye mínimamente en forma positiva sobre el CU y presenta un efecto negativo sobre el rendimiento. La disposición de válvulas en tuberías terciarias influye positivamente en el CU y no influye en el rendimiento.

Palabras Clave: Agua, suelo, planta, erosión, cultivo.

## ABSTRACT

Agricultural lands with steep slopes are not used throughout the year, because traditional irrigation leads to low infiltration rate, soil erosion, runoff, loss of applied fertilizers and low irrigation efficiency. The objective was to evaluate the effect of the slope of the land and the arrangement of tertiary pipes on the uniformity of irrigation and the yield of the pea crop. Three plots were conditioned with slopes of 10%, 20% and 40%; and in each plot three irrigation subunits were installed, inserting 0, 2 and 6 manual valves in the tertiary pipes, having a total of 09 treatments. The plots were installed with irrigation tapes with a discharge of 1.6 l/h at 20cm between drippers and 60cm between laterals. The results of the uniformity coefficient (CU) with the highest value were for T7 (40% terrain slope with installation of 6 valves in tertiary pipe) with a CU=96.30%; Regarding pea yield, T3 (10% land slope with installation of 2 valves in tertiary pipe) presented 10.75 t/ha, followed by T1 (10% land slope without installation of valves in tertiary pipe) with 9.50 t/ha. There is a significant difference between the groups for a p-value < 0.05. The variation in the slope of the terrain has a minimal positive influence on the CU and has a negative effect on the performance. The arrangement of valves in tertiary pipelines positively influences the CU and does not influence the performance.

Keywords: Water, soil, plant, erosion, cultivation.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación inicia al observar el efecto del cambio climático que viene produciendo la desglaciación de los polos y las cordilleras, donde estos fenómenos a futuro producirán la escasez del agua dulce; por otro lado, se tiene a terrenos con pendientes pronunciadas en su mayoría específicamente en la región sierra del Perú. Dichas tierras no son utilizadas en el cultivo durante todo el año, esto por las limitaciones que se da al aplicar el riego tradicional por gravedad que conduce a la baja velocidad de infiltración, erosión de suelos, formación de escorrentía, lixiviación de los fertilizantes aplicados, baja eficiencia de riego y la disminución en el rendimiento del cultivo. Sin embargo, estos aspectos pueden ser controlados con la aplicación de otros métodos y la aplicación de las nuevas tecnologías como el riego por goteo.

Por consiguiente, el presente proyecto de investigación, consistió en evaluar los efectos que produce la pendiente del terreno y la disposición de las tuberías terciarias en el coeficiente de uniformidad de riego, formación de bulbo húmedo y el rendimiento del cultivo de arveja.

La ejecución de los tratamientos se realizó en el campo experimental localizado en la comunidad campesina de San Andrés de Yanacca, distrito de Tambobamba, provincia de Cotabambas, región Apurímac; en donde se pudo contrastarse que los resultados brindan un aporte y beneficios a los pequeños y medianos productores de la región sierra del Perú.

Finalmente, se puede concluir, que, en los terrenos que presentan pendientes hasta un 40%, se pueden aprovechar normalmente para fines agrícolas empleando la técnica del riego localizado por goteo; previamente para ello, se

deberá garantizar un adecuado diseño agronómico, geométrico e hidráulico del sistema de riego.

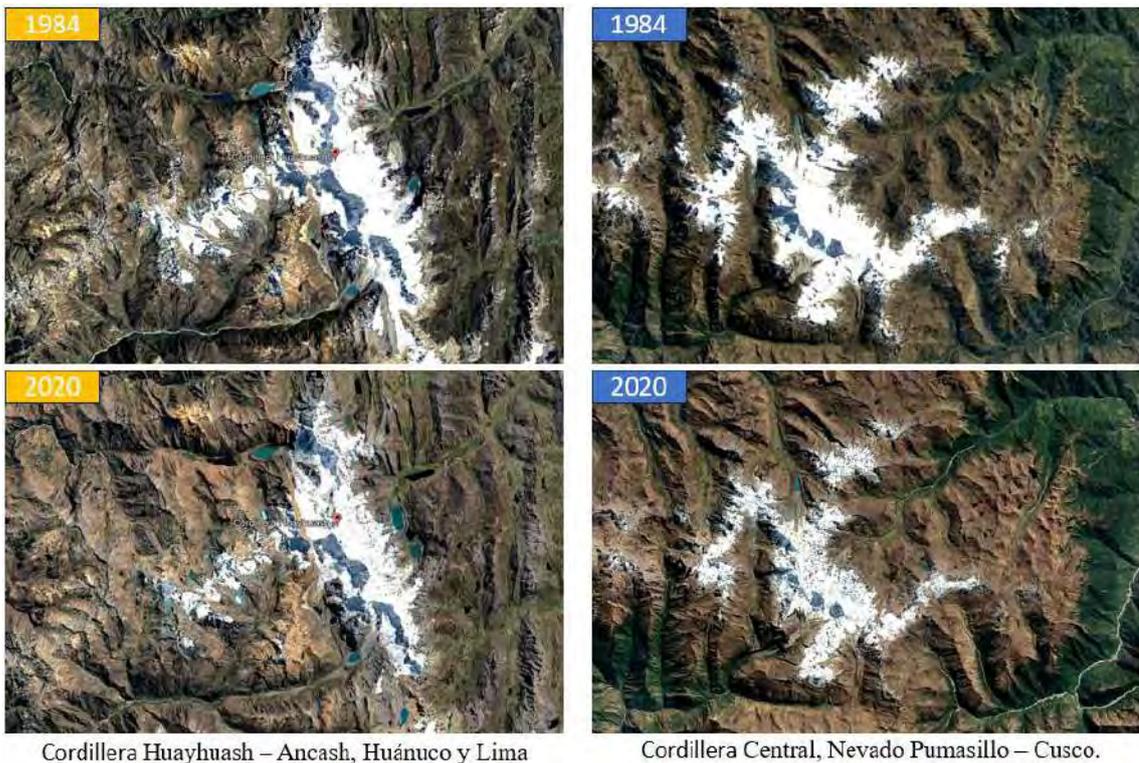
El Autor.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Situación problemática

#### 1.1.1. Efectos del cambio climático en las cordilleras del Perú

El proyecto de investigación inicia al observar el efecto del cambio climático que viene produciendo la desglaciación de los polos y las cordilleras, donde estos fenómenos a futuro producirán la escasez del agua dulce, tal como reporta (Granados Alegre, 2019), en sus estudios, que, por efecto de la variación de la temperatura, se ha reducido el área y el volumen glaciar de la cordillera de Huayhuash - Perú.



**Fotografía 1. Desglaciación de las cordilleras en el Perú**

Según las Naciones Unidas (2022), el planeta tierra, presenta un cambio climático, por el uso excesivo de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) empleadas en las industrias manufactureras, minería, transporte que

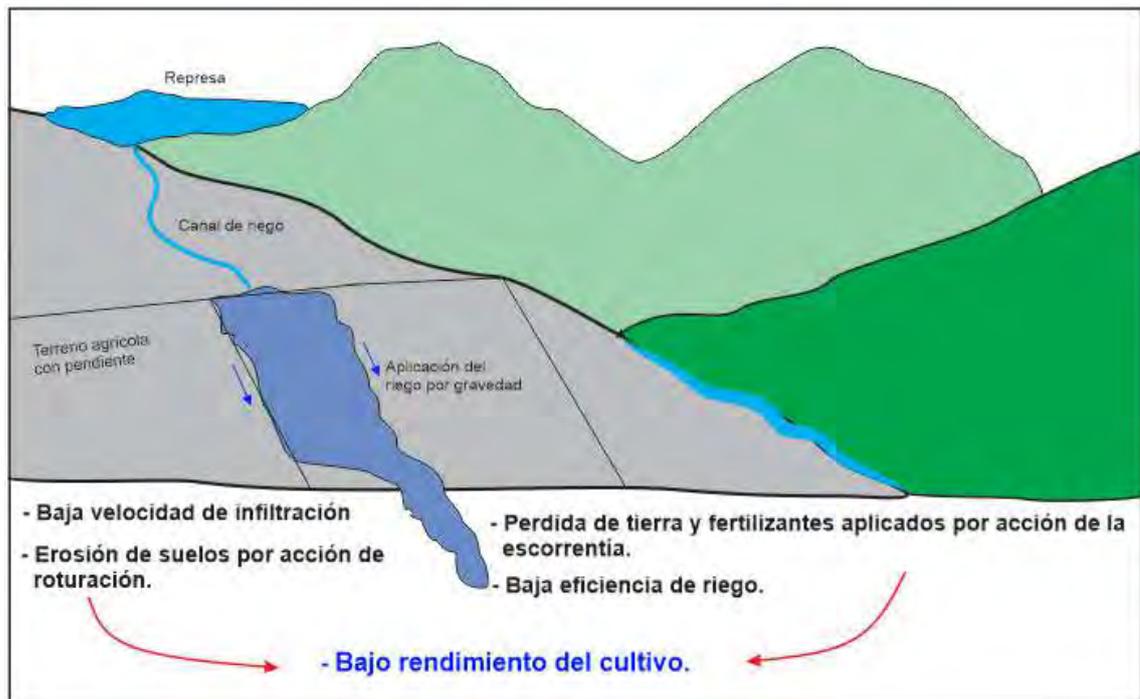
representa más del 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero y el 90% del anterior corresponde a CO<sub>2</sub>. Cuando los gases de efecto invernadero cubren la tierra, absorben el calor del sol, se produce el calentamiento global y el cambio climático. Esta variación del clima afecta el equilibrio normal de la naturaleza y conlleva muchos riesgos para los seres humanos y todas las demás formas de vida en la tierra.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA - 2020), informó que las cordilleras del Perú perdieron el 51% de su superficie glaciar en los últimos 50 años, por efecto del cambio climático; por consecuencia se vienen generando el origen de nuevas lagunas, ríos y manantes, por tanto; si el estado y la población no realiza acciones y medidas preventivas al respecto, existirá limitaciones en el uso normal de agua para fines agrícolas. Finalmente, para prevenir dichas problemáticas en el sector agrario, se optará a mediano plazo, proponer y aplicar nuevas tecnologías y métodos de riego eficientes que requieran poca cantidad de agua en la agricultura.

### **1.1.2. Topografía del suelo agrícola en la región sierra del Perú**

El Perú posee 38,742,464.68 hectáreas de superficie agropecuaria, de los cuales 57.5% corresponde a la región sierra, 31.0% a selva y 11.5% a la costa. Del anterior 22,269,271 hectáreas se ubican en la sierra, su superficie agrícola productiva representa el 15%, pastos naturales el 70% y bosques el 7%. Se precisa que, de 3,296,008 hectáreas de la superficie agrícola, el 60% comprende a terrenos con pendientes y solamente el 38% es bajo riego y restante es seco (INEI - IV Censo Nacional Agropecuario 2012).

En la región sierra del Perú, los terrenos agrícolas con pendientes pronunciadas (laderas) conforman más de 60% del total de tierras cultivables, estas después de la siembra bajo lluvia, no se vuelven a cultivar hasta el siguiente año.



**Figura 1. Efectos de la aplicación de riego por gravedad en laderas.**

Fuente: Elaboración propia.

Baker y Laflen (1983), reportaron que los terrenos con pendientes pronunciadas en laderas andinas, tienden a perder sus nutrientes por percolación del perfil del suelo, solución en el agua y la sedimentación formada en la escorrentía; por estas razones no pueden ser irrigadas por el método de riego por gravedad, además existe baja velocidad de infiltración, erosión de suelos, solución y arrastre de los fertilizantes aplicados, baja eficiencia de riego, resultando así una baja productividad del cultivo. Castelán Vega R., y Otros (2017), informan que el nivel de la

precipitación pluvial influye directamente en la erosión y la escorrentía de suelos agrícolas. Sin embargo, para reducir estas desventajas en suelos con topografía variada, existen otros métodos de riego tecnificado que permiten mejorar estos aspectos, como es el riego por goteo.

## **1.2. Formulación del problema**

### **a. Problema general**

¿Cuál es el efecto de la pendiente del terreno y tuberías terciarias en la uniformidad de riego, bulbo húmedo y rendimiento del cultivo de arveja?

### **b. Problemas específicos**

P.E.1. ¿Cómo influye la variación de la pendiente de terreno en la uniformidad de riego por goteo?

P.E.2. ¿Cómo influye la variación de la pendiente de terreno en la formación de bulbo húmedo?

P.E.3. ¿Cómo influye la variación de la pendiente del terreno en el rendimiento del cultivo de arveja?

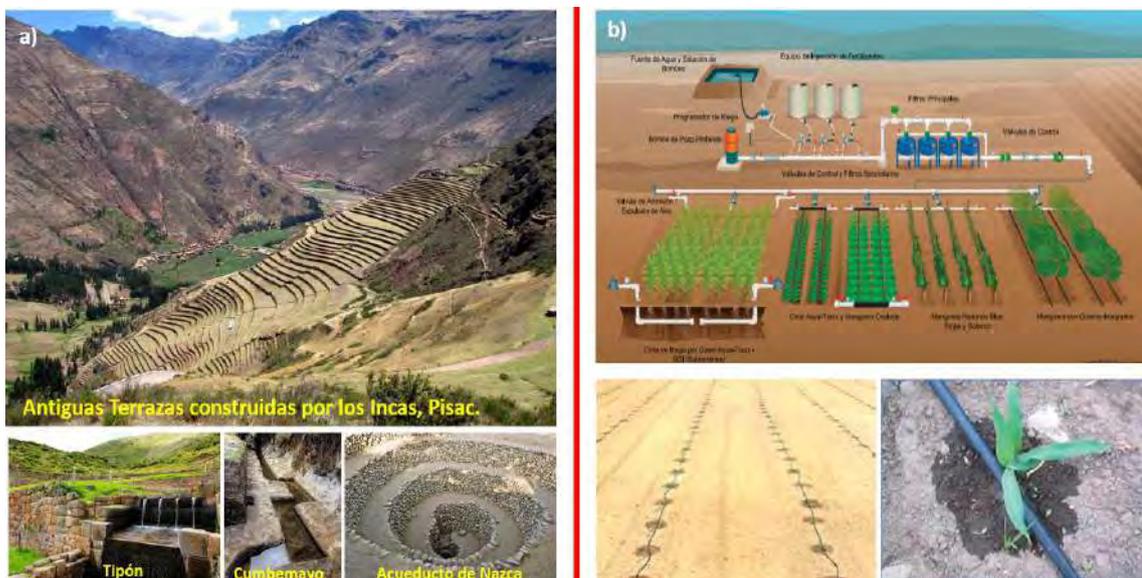
P.E.4. ¿Cómo es la influencia de la disposición de tuberías terciarias en la uniformidad de riego por goteo?

P.E.5. ¿Cómo es la influencia de la disposición de tuberías terciarias en la formación de bulbo húmedo?

P.E.6. ¿Cómo es la influencia de la disposición de tuberías terciarias en el rendimiento del cultivo de arveja?

### 1.3. Justificación de la investigación

Que, teniendo problemáticas del cambio climático y suelos agrícolas con topografías variadas en las zonas andinas, se ha propuesto evaluar a diferentes pendientes del terreno y con varias formas de disposición de tuberías terciarias, la aplicación del riego por goteo en el presente proyecto de investigación; para así generar el aporte en conocimiento y algunos parámetros reales para su instalación del sistema de riego en la región sierra del Perú.



**Fotografía 2. Avances de la ciencia y tecnología en la agricultura del Perú.**

**a) Avances de la agricultura en la antigüedad 1438, b) Avances de la agricultura en la actualidad.**

En la fotografía a) se aprecia las extensiones de tierra situadas en laderas aprovechadas mediante el sistema de andenerías por la cultura Inca en los años 1438 a 1532; en la fotografía b) se tiene un sistema de riego por goteo de alta eficiencia aplicado en las costas peruanas. Sin embargo, actualmente los agricultores de los valles interandinos del departamento de Apurímac y la región sierra del Perú; por el limitado inversión del estado

peruano en riego tecnificado aún desconocen el manejo, instalación y continúan aplicando los sistemas de riego tradicionales por gravedad en sus diferentes modalidades como: riego por inundación, surcos, melgas y multicompuertas que tiene baja eficiencia menor a 40%.

El riego por goteo presenta alta eficiencia en su aplicación y consumo de agua, se puede regar tres veces del área que el riego por gravedad y dos veces que el sistema de riego por aspersión (Mendoza A. 2013). Por otro lado, según Keller (1974), hace más de 50 años ya se conocían la aplicación del sistema de riego por goteo en los países como Estados Unidos, California, Israel y entre otros, mientras que; en nuestro país, principalmente en las zonas alto andinas hasta ahora poco o nada se ejecutaron este tipo de proyectos de riego con aplicación de ciencia y tecnología, razón por el cual, es necesario realizar ensayos y pruebas hidráulicas para las condiciones topográficas propuestas y así aportar el conocimiento y la tecnología en beneficio de los agricultores.

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **a. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la pendiente del terreno y tuberías terciarias en la uniformidad de riego, bulbo húmedo y rendimiento del cultivo de arveja.

##### **b. Objetivos específicos**

O.E.1. Evaluar la variación de la pendiente del terreno y su influencia en la uniformidad de riego por goteo.

O.E.2. Evaluar la variación de la pendiente del terreno y su influencia en la formación de bulbo húmedo.

O.E.3. Evaluar la variación de la pendiente del terreno y su influencia en el rendimiento del cultivo de arveja.

O.E.4. Determinar la influencia de la disposición de tuberías terciarias en la uniformidad de riego por goteo.

O.E.5. Determinar la influencia de la disposición de tuberías terciarias en la formación de bulbo húmedo.

O.E.6. Determinar la influencia de la disposición de tuberías terciarias en el rendimiento del cultivo de arveja.

## **II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

### **2.1. Bases teóricas**

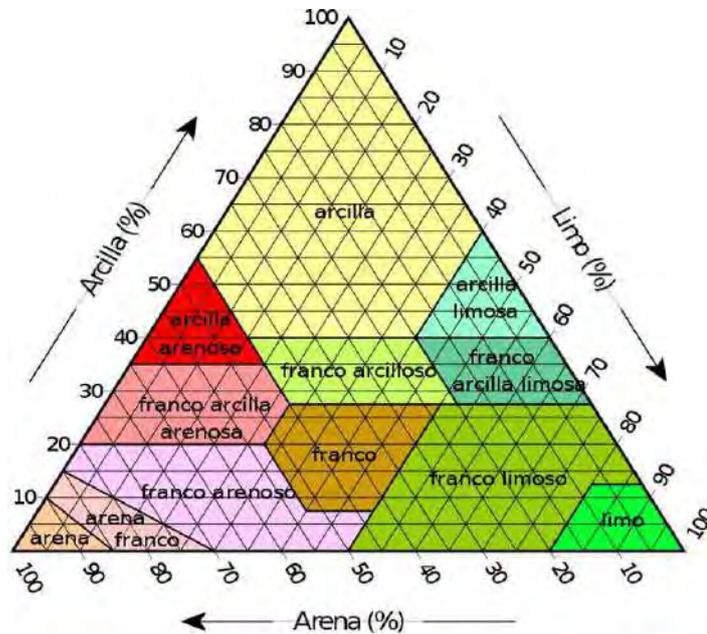
#### **2.1.1. Suelo**

Navarro (2003), señala que el suelo, deriva de latín solum, que significa piso, que se refiere a la capa superior de la tierra que está en contacto con las rocas sólidas y que en ellas crecen las plantas.

##### **2.1.1.1. Composición del suelo**

Según los reportes realizados por Monge (2018), el suelo se compone fundamentalmente de partículas minerales, materia orgánica, humedad y aire que queda retenido en sus poros. La descomposición de los restos de los seres vivos forma la materia orgánica. En los suelos, la red de poros ocupa un volumen

que oscila entre 30% hasta 50% del total. La porosidad de un suelo está muy relacionada con su textura del mismo.



**Figura 2. Representación triangular para determinar la textura del suelo**

Fuente: USDA (1977).

La textura del suelo, está conformada de arcillas, limos y arenas (Figura 2). Esta composición afectara principalmente en su productividad, capacidad de retener el agua y en su aireación, del mismo modo en la velocidad de infiltración (Tabla 1). Mientras que la estructura del suelo se refiere al tamaño, también a la forma que tienen las partículas. La estructura afecta a la permeabilidad, a la aireación y a la compactación del suelo (Monge, 2018).

**Tabla 1. Relación entre velocidad de infiltración y el tipo de suelo**

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración (cm/h)
Arenoso	1.5 – 25.0
Franco – arenoso	1.0 – 6.0

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración (cm/h)
Franco	0.8 – 1.2
Franco – arcilloso	0.5 – 0.8
Arcilloso	0.1 – 0.5

Fuente: Monge, (2018).

### 2.1.1.2. Pendiente de terreno

Es el grado de inclinación de un suelo, que entre 2 puntos dados forman un ángulo con el plano horizontal respecto al plano tangente a la superficie del terreno, (Jiménez C. G., 2007).

La pendiente se calcula con el grado de inclinación del terreno y la tangente de la superficie. En planimetría, se expresa como el porcentaje de pendiente y se estima con la Ecuación 1.

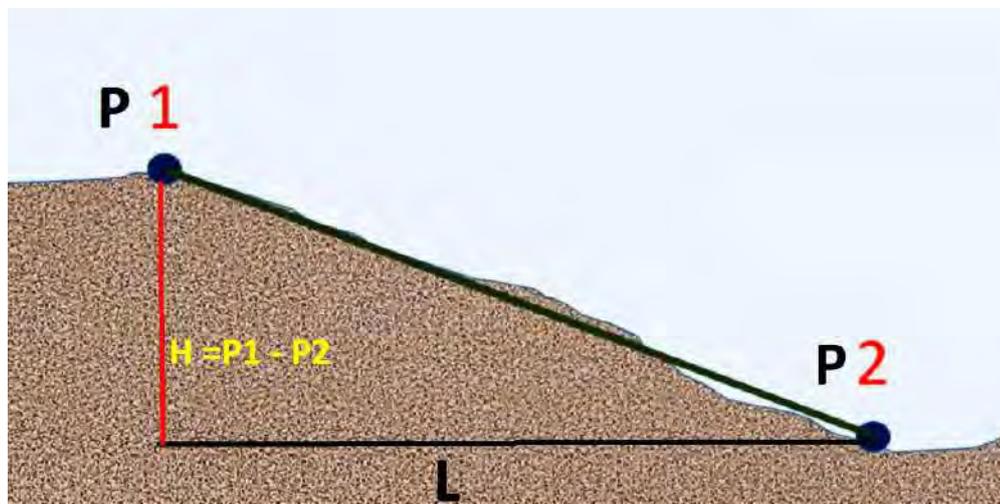


Figura 3. Ilustración del método topográfico – planimétrico

$$\text{Pendiente (\%)} = \frac{\text{Diferencia de cotas}}{\text{Distancia horizontal}} * 100$$

$$\text{Pendiente (\%)} = \frac{P1-P2}{L} * 100$$

Ecuación 1

Para el cálculo de real de la pendiente, se debe proceder con el levantamiento topográfico utilizando un GPS diferencial u otro instrumento, para medir los puntos, distancias y procesar información para obtener las curvas de nivel y determinar las pendientes en porcentaje (Martínez M., y col., 2011).

#### **2.1.1.3. Capacidad de campo (CC)**

Es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de la gravedad. Es decir, es la cantidad de agua que se puede utilizar para el desarrollo de las plantas, se mide en porcentaje y esta proporción se debe aplicarse en las raíces, para que no exista desperdicios ni falte agua a la planta (Sandoval, 2007).

#### **2.1.1.4. Punto de marchitez permanente (PMP)**

Sandoval (2007), indica como el porcentaje de humedad del suelo al cual las plantas no logran captar suficiente agua para satisfacer sus requerimientos de transpiración. Por consiguiente, cuando el suelo presenta este valor de PMP las plantas se marchitan y no son capaces de recuperarse aun cuando se mejoren las condiciones del ambiente.

#### **2.1.2. Agua**

Mendoza (2013), menciona que el agua para riego se puede captar de varias fuentes superficiales como ríos, lagos y también se pueden extraer aguas subterráneas a través de pozos. El caudal de agua que pasa por la corriente, generalmente se mide en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ).

### **2.1.2.1. Calidad de agua para riego**

Conocer la calidad del agua para riego es fundamental para la elección de las técnicas de riego, para el diseño, manejo del sistema y la selección de cultivares a sembrar. Asimismo, la calidad de agua es afectada por las sales, su naturaleza y de sus concentraciones que contiene está. Por tanto, para una adecuada operación del sistema de riego y desarrollo de las plantas, se deben conocerse los parámetros de salinización (las sales que mayormente influye provienen del agua y la existente en los suelos como: calcio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, magnesio y potasio), sodificación (Los problemas más frecuentes por exceso de sodio es la velocidad de infiltración muy baja y deteriora su estructura, provoca una reacción alcalina muy fuerte, para su evaluación se utiliza el índice denominado RAS), toxicidad (el exceso de sodio produce quemaduras en los bordes exteriores de las hojas, por exceso de cloruro se manifiestan quemaduras en las puntas de las hojas alcanzando hasta los bordes y por la toxicidad de boro se produce el amarillamiento en la punta de las hojas, para evitar este problema, se debe realizar lavado de sales o trabajar cultivos tolerantes. Por otra parte, conlleva a las obturaciones del gotero en riego por goteo afectas por materias físicas, químicas y biológicas (Mendoza, 2013).

### **2.1.3. Riego por goteo**

Según Fernández et al. (2010), el riego localizado por goteo consiste en la aplicación de agua mediante tuberías a presión de menor diámetro con goteros sobre la superficie del suelo o bajo éste, de esta forma se consigue el humedecimiento en una parte del suelo muy cerca o junto a la planta, como se muestra en la Fotografía 3.

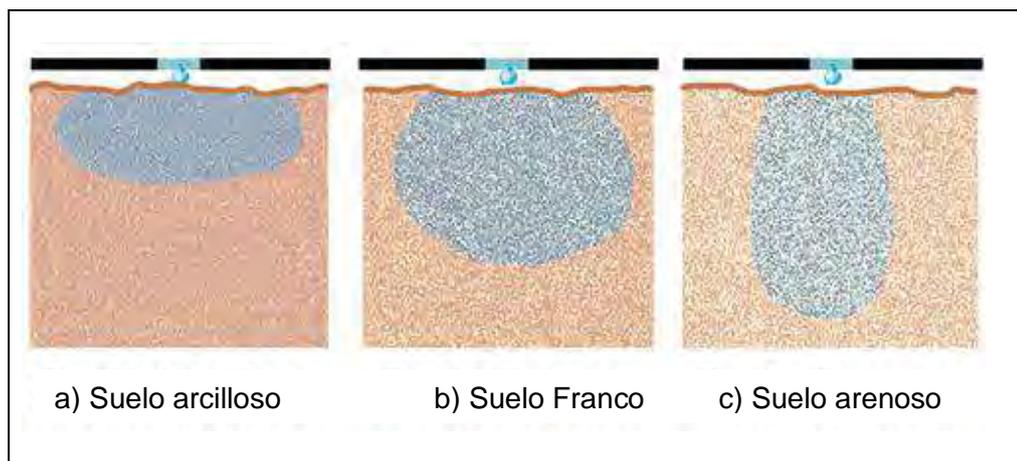


**Fotografía 3. Aplicación de agua mediante riego por goteo.**

Fuente: Fernández et al., (2010).

#### **2.1.4. Bulbo húmedo**

Es el humedecimiento de los goteros sobre el interior del suelo. Fernández 2010, señala que el agua vertida por cada emisor en el suelo se denomina bulbo húmedo. La forma del bulbo húmedo está condicionada en gran parte por el tipo de suelo, que puede variar el movimiento y la dirección del agua. En suelos de textura arcillosa (a), la velocidad de infiltración es menor que en suelos de textura arenosa c), generando un mayor diámetro del suelo mojado y que el bulbo se extienda horizontalmente más que la profundidad.



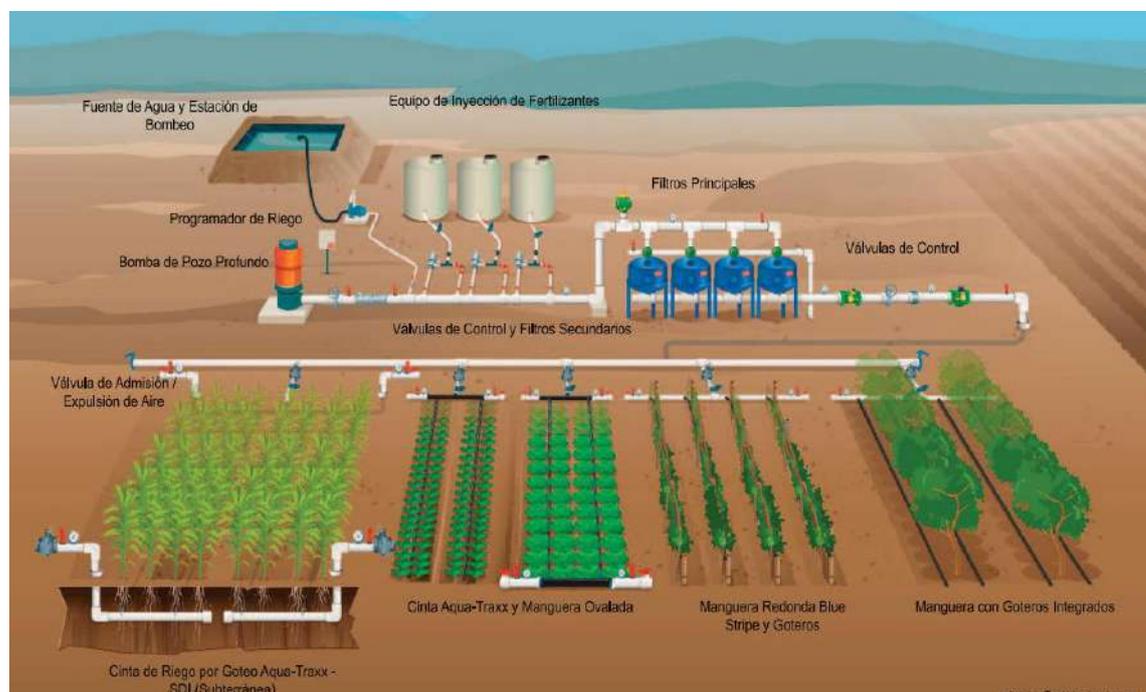
**Figura 4. Textura del suelo sobre la formación del bulbo húmedo.**

Fuente: Fernández (2010).

Al aplicar el mismo volumen de agua en tres suelos con texturas diferentes, la forma del bulbo húmedo varía aproximadamente de la forma como se presenta en la figura 4; por tanto, es necesario evaluar este parámetro para conocer su comportamiento en un terreno con pendientes pronunciadas.

#### 2.1.4.1. Componentes del sistema de riego por goteo

Este sistema comprende desde la toma de captación del agua para riego, seguido del tratamiento preliminar del agua dependiendo de tipo de fuente, en caso de captación del agua sea desde un río, obligatoriamente deberán construirse un desarenador y posteriormente los sistemas de prefiltros junto con los componentes de cabezal, otros accesorios como medidor de caudal, presión, válvulas, llaves y sistema de fertirrigación si fuese el caso, como se detalla en la siguiente Figura 5.

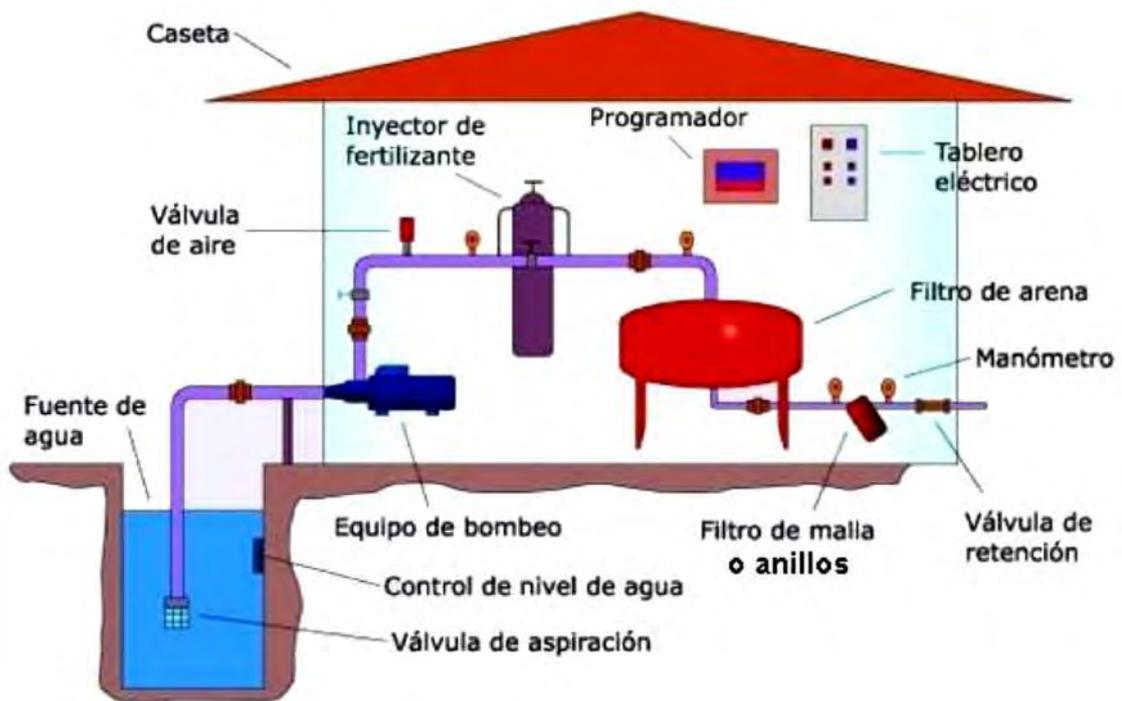


**Figura 5. Componentes del sistema de riego por goteo**

Fuente: Campos y Cruz, (2018).

### a) Sistema de filtrado

Según Mendoza (2013), es el componente principal del cabezal de riego, estas pueden operar con distintos tipos de filtros según la calidad del agua que se disponga, entre los más utilizados son: filtros de hidrociclón, tipo arena, de malla y filtro de anillos, Figura 6.



**Figura 6. Cabezal de control de riego por goteo.**

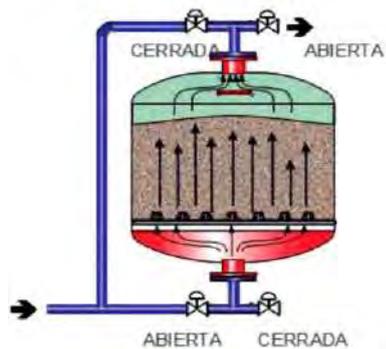
Fuente: Mendoza (2013).

Según Monge (2018), el filtro hidrociclón; se utiliza cuando el agua presenta residuos de arena, y que estas cumplen la función de prefiltrado, que provoca al agua un movimiento rotacional y que los sólidos al tener mayor peso son desplazados y estas chocan contra las paredes del filtro, posteriormente caen al colector de impurezas. El Filtro de arena; se utiliza cuando el agua de canaletas, presas y lagunas que tienen restos de arena o algas, este sistema se combina con filtro de anillos, son tanques de

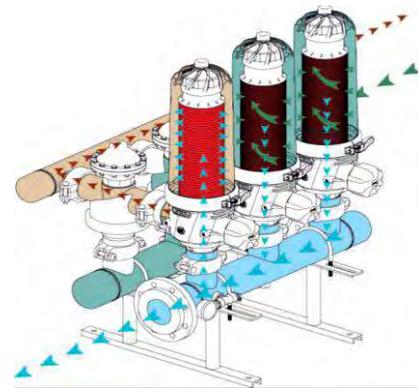
fabricación metálica, con contenido de arena, grava y de partículas de vidrio, la velocidad de filtración varía entre 40 – 62 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup> variando del estado físico del agua a tratar. El Filtro de discos; pueden retener sólidos en suspensión, generalmente se combina con filtro de arena o hidrociclón, según las propiedades fisicoquímicas del agua a filtrar, ver Figura 7. Los residuos son retenidos entre unos discos ranurados, pueden limpiarse a mano o en forma automática a través de un flujo en dirección invertida que aprovecha la misma presión para expulsar las impurezas, en este sistema, las pérdidas de presión en filtro nuevo varía de 1 a 3 mca, y debe limpiarse cuando estas pérdidas alcancen unos 5.0 mca.



a) Filtro hidrociclón



b) Filtro de arena.



c) F. de anillos o discos

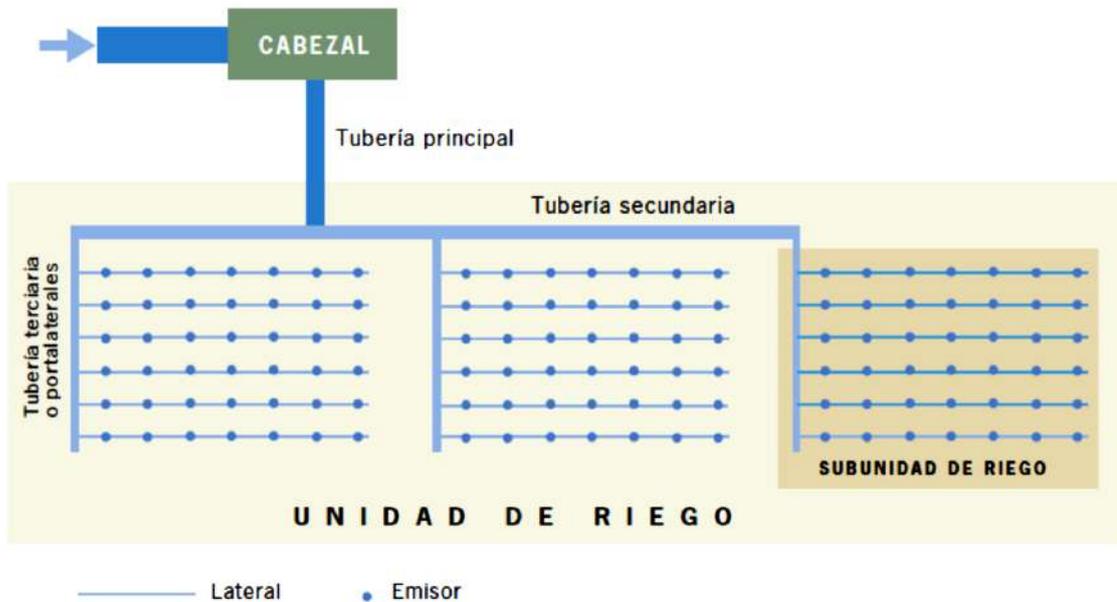
**Figura 7. Tipos de filtro para riego por goteo.**

Fuente: Monge, (2018).

### **b) Distribución de agua**

Este sistema está conformada por tres tipos de tuberías, que transportan el agua filtrada limpia desde el cabezal de riego, integra todas las piezas y accesorios en las sub unidades de riego, según la topografía de la

parcela a regar, en este componente se encuentran las líneas de conducción llamadas tubería principal, tuberías secundarias, tuberías terciarias o porta-laterales y finalmente se encuentran unidas a laterales o cintas de riego que vienen incorporados con los goteros, Figura 8 (Fernández, 2010).



**Figura 8. Red de distribución de agua en riego por goteo.**

Fuente: Fernández et al., (2018).

### c) Tuberías

Según Pizarro (1996), las tuberías más empleadas en conducciones de agua son de diferentes materiales: polietileno PE, policloruro de vinilo PVC, hormigón, fibrocemento, fundición y acero de estas, solamente se utilizan en PVC y PE, los otros se emplean para grandes caudales o grandes presiones. Para las instalaciones en campo, se deben conocer las normativas de cada país y en base a la presión nominal y la presión

de trabajo se podrá determinar qué clase de tuberías se utilizarán para el ensamblado en campo.

En las tuberías de plástico, el diámetro nominal se refiere al exterior, conocido también como diámetro teórico por el fabricante. Vale precisar que el diámetro interior, es el dato con el cual se realiza el cálculo de la pérdida de energía en el diseño de sistemas de riego localizado por goteo y se recomienda trabajar con los catalogo o fichas técnicas de las tuberías utilizadas.

Medina (2010), señala que accesorios de PVC pueden ser lisos, roscados o también mixtos entre ambas. Las tuberías lisas se conectan por ambos lados con pegamento; y las piezas roscadas, y el accesorio mixto con cola por un lado y las roscadas por el otro (Figura 9).



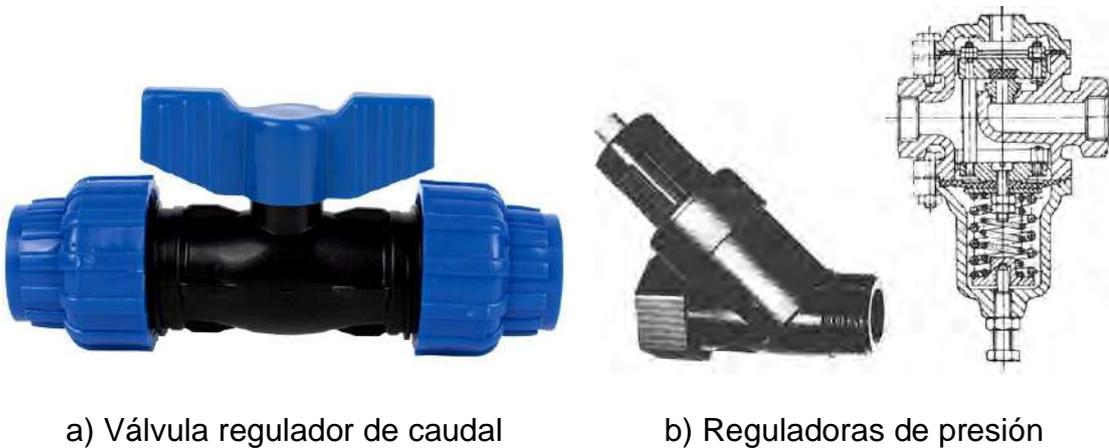
**Figura 9. Accesorios de PVC para tuberías**

Fuente: Medina, (2010).

#### d) Dispositivos de Control

Está conformado por varios elementos que permite regular la operación del sistema, con el cual se logra mejorar la uniformidad en la distribución, eficiencia de aplicación, lográndose fundamentalmente el rendimiento. Corresponde desde los manómetros para la medición de las presiones, válvulas que permiten controlar el caudal en las líneas de conducción (Medina, 2010).

Las reguladoras de caudal, para fines del presente proyecto se empleó de material de plástico de operación manual dejando pasar un caudal constante requerido; para otros estudios también se recomienda considerar reguladoras de presión.



**Figura 10. Dispositivos de control utilizados para riego.**

Fuente: Medina, (2010).

Por otra parte, los reguladores de presión presentan una forma cilíndrica, metálica o plástica, en cuyo interior se desplaza un pistón. Cuando la presión de esta incrementa, vence la resistencia del muelle generando el desplazamiento del pistón, de la misma forma se reduce el tamaño del

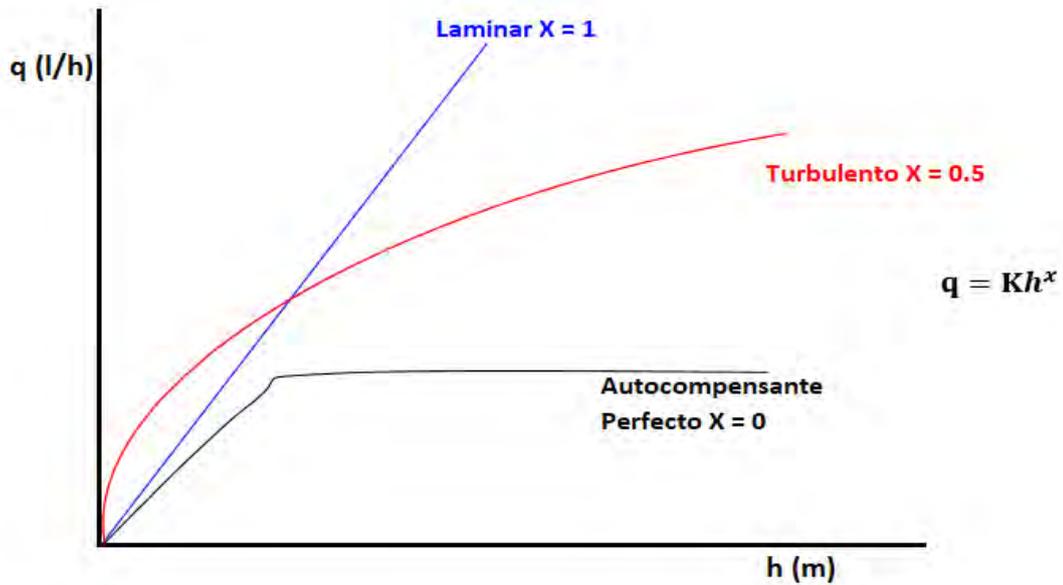
orificio de entrada de la válvula; por lo que disminuye la presión de salida del agua. En el mercado se puede encontrar reguladoras de presión que no se puede variar, y también manipulables para poder cambiar la presión de acuerdo a las necesidades.

#### **e) Emisores**

Pizarro (1996), describe a emisores como los elementos más principales de las instalaciones de riego localizado por goteo, estos deben proporcionar un caudal bajo. La presión en los emisores no debe ser muy baja, para garantizar la uniformidad de riego que se producen en los desniveles del suelo y las pérdidas de carga en la red de las tuberías terciarias y laterales. Un caudal bajo y presión alta conducen a los emisores para que el paso del agua sea pequeño. La mayoría de los emisores operan con una presión de 10m.c.a, sin embargo, en caudales altas pueden realizarlo a 20m.c.a.

- **Relación caudal – presión**

En todo modelo o clase de emisor, el caudal emitido y la presión existe una relación, ver Ecuación 2.



**Figura 11. Relación de caudal – presión en emisores**

Fuente: Pizarro, (1996).

$$q = Kh^x$$

Ecuación 2

$q$ : Caudal del emisor (l/h)

$K$ : Coeficiente de descarga.

$x$ : Exponente de descarga.

$h$ : Presión a la entrada del emisor (m.c.a.)

Según el gráfico de la ecuación del emisor, podemos indicar que el gotero autocompensante mantiene la igualdad entre ambos, por lo que este tipo de emisor mejora la uniformidad de riego.

### 2.1.5. Diseño agronómico

Según Mendoza (2013), el diseño agronómico es muy importante del sistema de riego, un mínimo error en el diseño afectará en los resultados,

por ejemplo, si se calculan necesidades de riego menores que lo real, afectará en la producción por la insuficiencia de agua para riego.

### **Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)**

Para la determinación de ET<sub>o</sub>, existen varios métodos de diferentes investigadores como Hargreaves, Linacre, Papadakis, Serruto, García; pero, sin embargo, los más aplicados son de las propuestas por FAO como el método de tanque evaporímetro y con la ecuación de Penman – Monteith.

#### **a) Metodología de FAO Penman - Monteith**

Para estimar la ET<sub>o</sub>, los datos se obtienen de una estación meteorológica, dichos reportes se procesan en el software CropWat, aplicando la ecuación de Penman - Monteith (FAO, Riego y Drenaje N° 56).

#### **b) Método del tanque evaporímetro**

Este método consiste en medir la tasa de evaporación en el tanque clase A, contendidas de agua. Cuando no precipita la lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un tiempo (mm/día) corresponde a la reducción de la altura del agua en el tanque de ese tiempo. Para su estimación se requiere conocer los datos velocidad del viento y humedad relativa del ambiente. Sin embargo, para la determinación de ET<sub>o</sub>, se requiere del coeficiente del tanque evaporímetro (K<sub>p</sub>), según el caso A o B que dependerá de las condiciones y la ubicación de las mismas (FAO, Riego y Drenaje N° 24).

### c) Método de Hargreaves

Es un método propuesto por el Dr. G. Hargreaves (1975) quien diseñó el cálculo de la evapotranspiración potencial obteniendo los datos como la temperatura media del aire, humedad relativa media y los datos de la radiación solar. Para evaluar la radiación solar extraterrestre (Ra) existen varias tablas, y todas ellas en función de la latitud y del mes.

#### Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>)

La ET<sub>c</sub> se estimará bajo condiciones estándar, que se refiere a la evapotranspiración de un cultivo que se viene desarrollando libre de enfermedades, con buen manejo de fertilización además crece en campos de extensiones considerables bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo. El valor de K<sub>c</sub> es obligatorio para la estimación de ET<sub>c</sub>, ver Ecuación 3.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad \text{Ecuación 3}$$

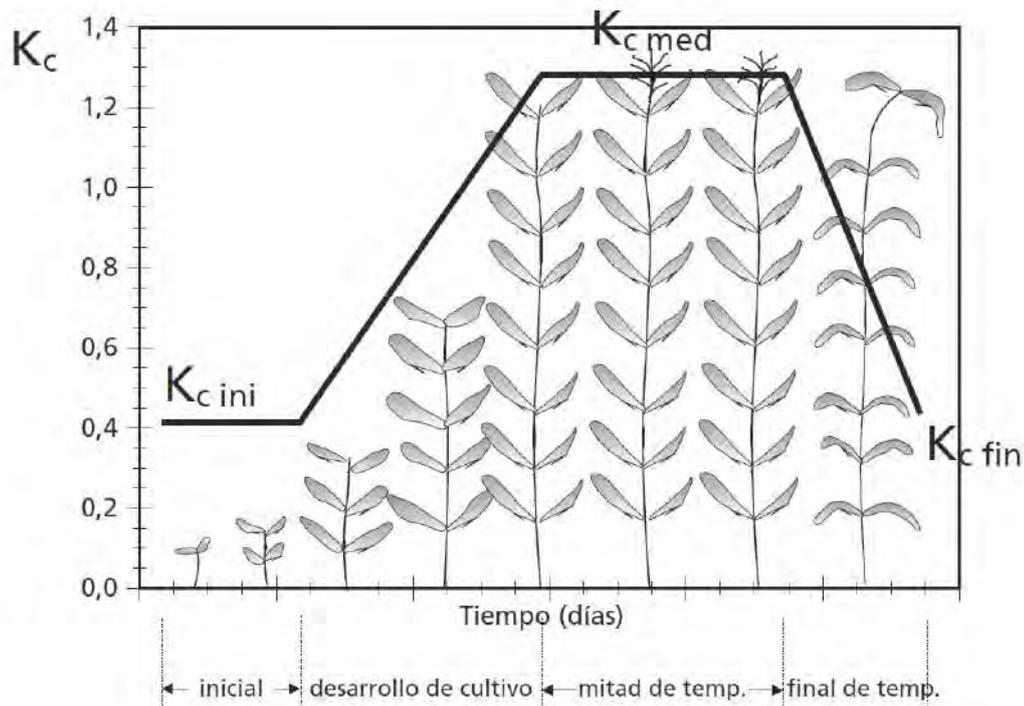
Donde:

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiración de referencia.

ET<sub>c</sub> = Evapotranspiración del cultivo.

K<sub>c</sub> = Coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>).

**El coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>)** es un valor adimensional que indica las variaciones de la cantidad de agua que fueron extraídas del suelo por las plantas. El valor de K<sub>c</sub> varía según el estado fisiológico de la planta, que inicia desde la siembra culminando con la cosecha, además este valor es independiente para cada tipo de cultivo (Figura 12).



**Figura 12. Curva general para el coeficiente del cultivo.**

Fuente: Estudios FAO: Riego y Drenaje (56)

Para calcular el requerimiento de agua en cultivo arveja en el presente trabajo, se utilizará los valores estimados de la Tabla 2, con dichos datos se determinará utilizando una planilla de Excel para manejo de riego en parcela.

**Tabla 2. Duración aproximada de las etapas en el ciclo vegetativo del cultivo de arveja**

Cultivo	Total (días)	Primera etapa	Segunda etapa	Tercera etapa	Cuarta etapa
Guisante (Arveja)	90 – 100	15 – 20	25 – 30	35 – 35	15 - 15

Fuente: Fuentes Y., José Luis (2003).

**Tabla 3. Coeficientes de cultivo (Kc) del cultivo de arveja**

Cultivo	Primera etapa	Segunda etapa	Tercera etapa	Cuarta etapa
---------	---------------	---------------	---------------	--------------

Guisante (Arveja)	0.45	0.80	1.15	1.05
----------------------	------	------	------	------

Fuente: Fuentes Y., José Luis (2003).

**Necesidades netas del cultivo (Nn)**, la estimación de las necesidades netas de agua para cultivos es el siguiente paso, para calcular la cantidad de agua que será necesario aportar en el riego. Por tanto, según los estudios FAO, se utilizará la siguiente Ecuación 4.

$$N_n = ET_c \times KI \times Kr \times Ka \quad \text{Ecuación 4}$$

**Nn:** Necesidades netas del cultivo, (mm / día).

**KI:** Coeficiente de corrección por la localización.

**Kr:** Coeficiente de corrección por variación climática.

**Ka:** Coeficiente de corrección por advección.

**Necesidades totales de riego**, según Monge (2018), las necesidades totales de agua serán mucho mayor que las necesidades netas, por tanto, se debe aumentar cantidades adicionales para compensar las pérdidas producidas por infiltración profunda, la salinidad (si existe ese riesgo) y por la uniformidad de riego. Para el cálculo de las (Nt) utilizaremos la siguientes Ecuación 5.

$$N_t = \frac{N_n}{E_a \cdot (1 - NL) \cdot 0.90} \quad \text{Ecuación 5}$$

**Nt:** Necesidades totales, en mm/día (l/m<sup>2</sup> día).

**Nn:** Necesidades netas, en mm/día (l/m<sup>2</sup> día).

**Ea:** Eficiencia de aplicación de riego.

**NL:** Necesidades de lavado.

## 2.1.6. Diseño geométrico

### a) Disposición de las tuberías

Según Mendoza (2013), menciona que una de los criterios a observar en el diseño e instalación de un sistema de riego localizado por goteo es la adecuada disposición de las tuberías de acuerdo al pendiente del terreno.

Para minimizar los efectos de la variación de presión en las tuberías laterales se sugiere que se distribuyan siguiendo las curvas a nivel, y las tuberías portallaterales, en sentido de la pendiente del terreno y de existir pendientes muy pronunciadas, se recomienda instalar los reguladores de presión.

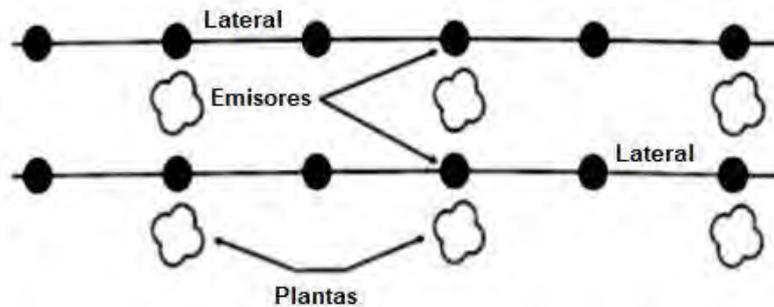


**Fotografía 4. Disposición de las laterales en terrenos con pendiente pronunciada.**

Fuente: Mendoza, (2013).

### b) Disposición de los goteros

Según Monge (2018), la disposición de los goteros, se dispone de acuerdo al tipo de plantación de cultivos, ya sea para cultivos leñosos o hortícolas, donde para este último se recomienda utilizar un lateral de riego por fila de plantas.



**Figura 13. Disposición de los goteros en cultivos hortícolas.**

Fuente: Monge, (2018).

### c) Caudal de los goteros

Los caudales para goteros o emisores de riego varía generalmente desde 0.5 hasta 8.0 L/h. Se selecciona según el volumen de suelo a humedecer; para cultivos hortícolas y herbáceos se emplean generalmente caudales desde 0.5 a 4.0 L/h (Monge, 2018).

#### 2.1.7. Diseño hidráulico

Monge (2018), la velocidad del flujo de agua en tuberías principales y secundarias debe ser como máximo de 2.5 - 3.0m/s, mientras que, en tuberías terciarias y laterales, la máxima velocidad comprende entre 1.5 - 2.0m/s, las mayores pérdidas de carga que se dan en tubos de menor diámetro. La mínima velocidad deberá ser mayor o igual a 0.5m/s para evitar la sedimentación en el interior de las tuberías, mientras que la pérdida de presión en las tuberías generales de distribución hacia parcela

será inferior al 5% (Tabla 4), los procedimientos y fórmulas para el diseño hidráulico se adjuntan en los anexos.

**Tabla 4. Velocidades de agua recomendadas en conducciones (m/s)**

Velocidad del agua	Tuberías primarias y secundarias	Laterales de riego	Gravedad	Impulsiones
Velocidad máxima	2.5 – 3.0	1.5 – 2.0	3.0	1.5 – 2.0
Velocidad mínima	0.5	0.5	0.5	1.0

Fuente: Monge, (2018).

#### **2.1.8. Coeficiente de Uniformidad (Cu)**

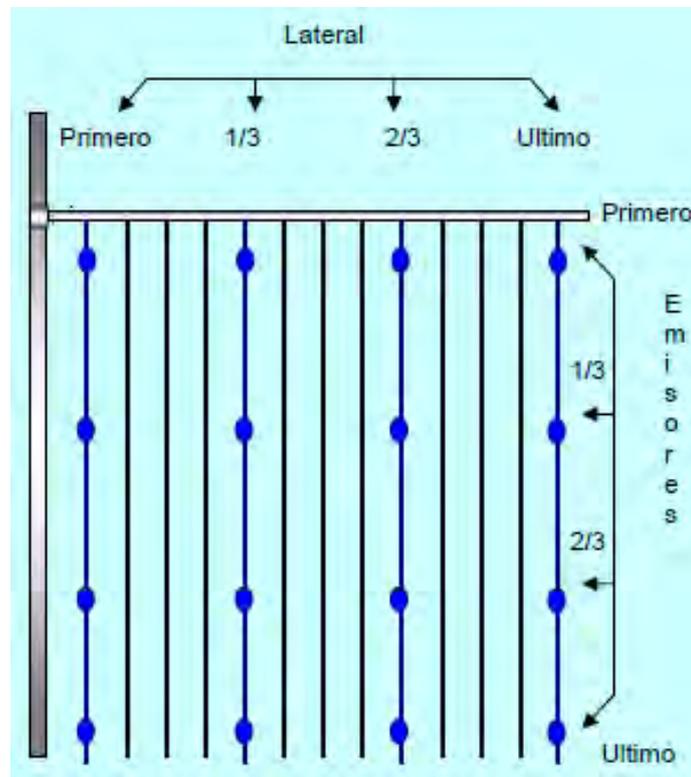
La uniformidad de emisión del agua por los goteros, se mide a través del Coeficiente de Uniformidad (Mendoza, 2013).

Según Pizarro (1996), la uniformidad es un parámetro que caracteriza a todo sistema de riego y que depende del diseño agronómico (cálculo de las necesidades totales del agua) e hidráulico (se definen el caudal del emisor y la presión requerida en el sistema).

Para calcular el coeficiente de uniformidad, se elige una cantidad determinada de emisores existentes en la subunidad de riego. Se sugiere la selección de 16 emisores, 04 goteros en emisores y 04 unidades en los laterales como se representa en la figura 14.

Además, Mendoza (2013), describe que empleando una probeta se mide el volumen descargado de los emisores seleccionados en un tiempo de 3

a 5 minutos para goteros y 1 minuto para cintas y tuberías exudantes, aproximadamente.



**Figura 14. Distribución de laterales y emisores.**

Con los resultados de caudal obtenidos, se calcula el valor del (CU) para la subunidad de riego, aplicando el método propuesto por Keller y Karmeli (1974); a partir de varias pruebas en la parcela, se calcula con la media de la cuarta parte de los caudales más bajos (Q25%) entre el caudal medio del total de emisores (Qm), y la fórmula es la siguiente.

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_m} * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

CU: Coeficiente de Uniformidad.

q<sub>25%</sub>: Caudal medio del 25% de emisores con menor caudal (l/h).

$q_m$ : Caudal medio de la muestra de emisores operados a presión de referencia (l/h).

**Tabla 5. Clasificación de los valores de Coeficiente de Uniformidad (CU)**

CU (%)	Calificación
> 95	Excelente
85 - 95	Buena
80 - 85	Aceptable
70 - 80	Pobre
< 70	Inaceptable

Fuente: Merrian y Keller (1978).

### 2.1.9. Cultivo de arveja

#### a) Arveja

La arveja es un cultivo que se adapta fácilmente en la sierra peruana, presenta alto valor nutricional; es fuente de proteína, algunos microelementos y vitaminas, se consume en grano verde y también en granos secos (INIA, 2004).



**Fotografía 5. Planta de arveja en desarrollo de floración y vainas**

## b) Taxonomía

Vilcapoma (1991) señala que la arveja (*Pisum sativum* L.) presenta la siguiente clasificación taxonómica:

División : Magnoliophyta.

Clase : Magnoliopsida

Sub clase: Rosidae.

Orden : Fabales

Familia : Fabaceae

Sub familia: Faboideae.

Tribu : Vicia

Género: *Pisum*.

Especie: *Pisum sativum* L.

**Tabla 6. Valor nutricional de arveja por cada 100gr (81kcal)**

Elemento	Cantidad
Carbohidratos	14.45 g
Azúcares	5.67 g
Fibra alimentaria	5.1 g
Grasas	0.4 g
Proteínas	5.42 g
Retinol (vit. A)	35 µg (4%)
β-caroteno	449 µg (4%)
Tiamina (vit. B1)	0.266 mg (20%)
Riboflavina (vit. B2)	0.132 mg (9%)
Niacina (vit. B3)	2.09 mg (14%)
Vitamina B6	0.169 mg (13%)
Vitamina C	40 mg (67%)

Vitamina E	0.13 mg (1%)
Vitamina K	24.8 µg (24%)
Calcio	25 mg (3%)
Hierro	1.47 mg (12%)
Magnesio	33 mg (9%)
Manganeso	0.41 mg (21%)
Fósforo	108 mg (15%)
Potasio	244 mg (5%)
Sodio	5 mg (0%)
Zinc	1.24 mg (12%)

---

Fuente: United States Department of Agriculture USDA (2014)

### c) Requerimientos de clima y suelo

La temperatura para su germinación varía desde 4.5 a 29°C, en ambientes normales las plantas emergen en promedio desde 8 a 12 días después de la siembra; son para climas fríos, con temperatura óptima variable desde 16 a 20°C, recomendable para suelos de buen drenaje, textura arenosa, pH 6.5 a 7.0, requiere de calcio, y puede tolerar hasta 2.0mS/cm de sales (Portugal, 2009).

### d) Principales enfermedades en el cultivo de arveja

**La Antracnosis**, es un síntoma de enfermedad causada por un hongo que puede ser generalmente de los géneros *Colletotrichum*, *Gloeosporium*, se pueden prevenir aplicando Bayfidan 720 SC, con dosis de 5ml por mochila de 20 litros.



**Fotografía 6. Planta de arveja con síntomas de antracnosis.**

**El Oidium**, este síntoma es producida por varios géneros de hongos ectoparásitos de la familia de las erisifáceas, que atacan principalmente hojas y tallos jóvenes; se pueden prevenir aplicando Pantera mojable con dosis de 30 gr. por mochila de 20 litros.



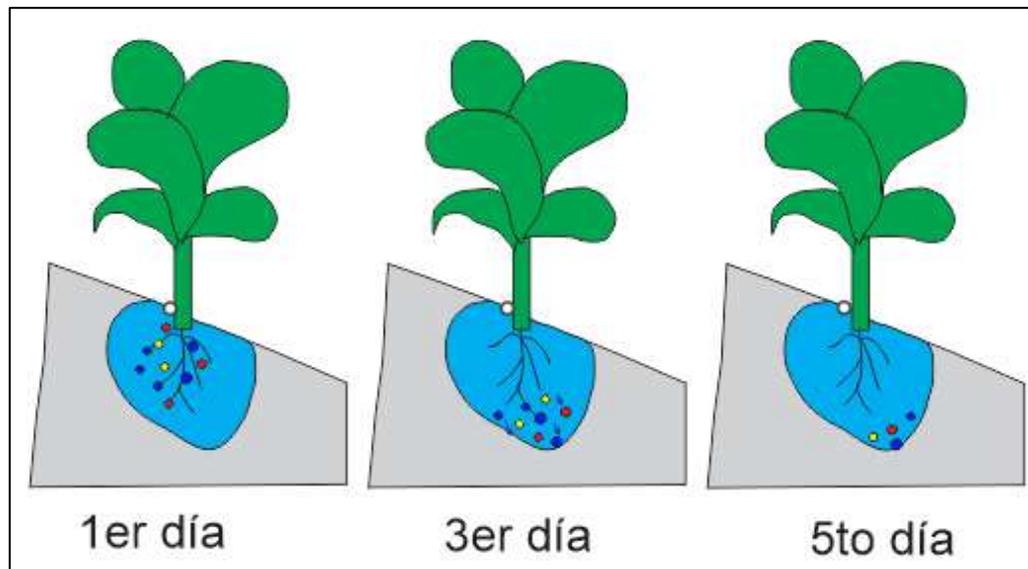
**Fotografía 7. Planta de arveja con síntomas de oídium.**

#### **e) Conductividad hidráulica del suelo**

La conductividad hidráulica (CH) del suelo es la capacidad de éste para transportar el agua hacia sus perfiles inferiores, esta propiedad

física es un indicador de la estabilidad de la estructura y el grado de compactación del suelo (Castellanos, 2000).

La conductividad hidráulica está relacionada con el gradiente hidráulico y la permeabilidad del suelo. Durante el riego en terrenos con pendientes o laderas se generan el efecto de la lixiviación de los fertilizantes aplicados en la planta, de esta forma algunos nutrientes son desaprovechados y afectan en el desarrollo fisiológico de la planta que afectan sobre el rendimiento.



**Figura 15. Lavado de fertilizantes por efecto de la conductividad hidráulica**

Por tanto, la conductividad hidráulica es mayor en suelos agrícolas con pendientes pronunciadas y disminuye el rendimiento del cultivo.

## **2.2. Marco conceptual**

### **Pendiente de Terreno**

Es la inclinación del terreno, que tiene relación con su forma y naturaleza de relieve del suelo. Es la relación que existe entre el desnivel de alturas respecto a la distancia horizontal, se expresa en porcentaje o en grados.

### **Dureza del agua para riego**

Es la concentración de minerales existentes en el agua, que está contenida por carbonatos, sulfatos, nitratos y otros. Esta propiedad es indeseable en sistemas para riego por goteo, donde los precipitados formados como los carbonatos ocasionan la obstrucción de los goteros afectando la uniformidad de riego.

### **Pérdida de carga**

Es la pérdida de energía por unidad de peso de fluido entre los puntos 1 y 2, por efecto de rozamiento o fricción en el interior de una tubería, válvulas, codos, uniones y entre otros accesorios.

### **El Manómetro**

Es un instrumento que sirve para medir la presión manométrica de un fluido (como gas o líquido) que circula por un recipiente o ducto cerrado.

## **Fertilización del suelo**

Consiste en incorporar fertilizantes de tipo orgánico o inorgánico, con la finalidad de aumentar elementos químicos al suelo, para un balance nutricional y así estimular un mayor crecimiento de las plantas cultivadas.

## **Hidrología**

es la ciencia que estudia la distribución del agua en la tierra, sus reacciones físicas y químicas con otras sustancias existentes en la naturaleza, y su relación con la vida en el planeta.

## **Hidrogeología**

La hidrogeología o hidrología subterránea es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, así como su movimiento y características físicas, químicas y biológicas.

## **Precipitación**

Las precipitaciones se producen cuando el vapor de agua de la atmósfera se condensa en las nubes y cae en la tierra. Las precipitaciones pueden ser de diversas formas, entre ellas, lluvia, nieve, pedrisco y granizo.

## **Aguas Subterráneas**

Son aguas que existen bajo la superficie terrestre. El agua se infiltra a través de la superficie del suelo y luego se mueve verticalmente hasta cuando encuentra una capa impermeable que no permite el paso y obliga a la formación de un almacenamiento de agua en los espacios porosos del

suelo. El límite superior de este almacenamiento se denomina Nivel Freático.

El volumen de agua que se almacena como agua subterránea constituye la fuente principal de alimentación de manantiales, lagos y ríos en periodos de estiaje.

### **Acuífero**

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero no permite que el agua circule a través de ella, ya que es porosa pero su conductividad hidráulica es baja.

### **Manantiales**

Un manantial (ojo de agua, manante, afloramiento de agua) es un flujo natural de agua procedente de las aguas subterráneas, que pueden aparecer en tierra, cursos de agua, lagunas o lagos.

### **Infiltración**

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En este proceso influyen una gran cantidad de factores, como la condición de la superficie y propiedades del suelo, la cubierta vegetal y la humedad inicial del mismo.

### **Escorrentía**

Se denomina escorrentía al agua de lluvia que se desplaza por una superficie. El término también hace referencia a la corriente que se forma cuando un cauce, ya sea artificial o natural, no alcanza a contener el agua.

### **Erosión hídrica**

La erosión hídrica es el escurrimiento superficial de tierra causado por el agua de riego, la lluvia, el deshielo, la escorrentía y la mala gestión del riego. En última instancia, el agua de lluvia es la principal responsable de este problema. El caudal del agua mueve las partículas orgánicas e inorgánicas del suelo por la capa superficial del suelo, dejándolas a niveles más bajos.

**AutoCAD.-** Es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D; es usado para el diseño de bocetos, dibujos, planos, estructuras y piezas que deben cumplir con ciertos parámetros. AutoCAD es un programa multifacético que permite desarrollar proyectos de índole arquitectónico, industrial, mecánicos, de diseño gráfico y de ingeniería.

**Global Mapper.-** Es un software de procesamiento de datos SIG (Sistema de Información Geográfica) que incluye todo tipo de información cartográfica y de mapas. Una aplicación SIG robusto y de bajo costo que combina una gama completa de herramientas de procesamiento de datos espaciales con acceso a una gran variedad de los formatos de datos. En la investigación se realizó para definir las pendientes y las curvas de nivel del terreno.

**CoreIDRAW.-** Es un software para realizar un diseño gráfico, es el más conocido en el mercado y su aplicación es amplio como el marketing, se pueden realizar dibujos personalizados, diagramación, ilustraciones para un fácil manejo y comprensión del cliente. En el proyecto de investigación se empleó para graficar los resultados de bulbos húmedos con vistas frontal y desde arriba.

**Google SketchUp.-** Es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones basado en caras. Es utilizado para el modelado de entornos de planificación urbana, arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, diseño escénico. En el presente trabajo, se ha utilizado para la diagramación de los pendientes de terreno en 3D, los 09 tratamientos y el testigo.

**Statistica.-** Es un paquete estadístico usado en investigación, minería de datos y en el ámbito empresarial. Lo creó StatSoft, empresa que lo desarrolla y mantiene. StatSoft nació en 1984 de un acuerdo entre un grupo de profesores universitarios y científicos. En el trabajo se aplicó para el procesamiento y análisis de los resultados, se graficó la superficie respuesta en 3D de las variables dependientes, se analizó el ANVA para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos, prueba de Tukey para la contratación de la hipótesis formulada.

**Statgraphics.-** Es un paquete de estadísticas que realiza y explica funciones estadísticas básicas y avanzadas; además permite cambiar y mostrar gráficos en 2D y 3D de los resultados analizados. En el trabajo de

investigación se aplicó para el análisis de correlación de las variables estudiadas y conocer los efectos entre dos variables analizadas.

### **2.3. Antecedentes empíricos de la investigación**

Bedoya et al. (2018), estudio el efecto de la pendiente en el coeficiente de uniformidad en un lateral de riego por goteo. Se determinó el efecto que tenía la pendiente sobre el coeficiente de uniformidad en un lateral de riego por goteo en 10m de longitud, empleando tres tipos de goteros de 2l/h, separados cada 20cm, utilizando tuberías con diámetros exteriores de 12mm y 16mm, en pendientes de 3%, 0%, -1% y -3%; para evaluar el comportamiento de los laterales, se usó cuatro métodos para estimar el Coeficiente de Uniformidad (CU). Se encontró que los métodos aplicados no presentan diferencias estadísticamente significativas para cada metodología empleada, reportándose para el gotero tipo A (12 mm) por el método Keller y Karmeli (1974), para una pendiente 3% el resultado de CU = 90.42% y en una pendiente -3% el resultado de CU = 90.92%.

Gavilán et al. (2018), evaluó el efecto de la pendiente sobre la calidad del riego y la producción de un cultivo de frambuesa. El objetivo fue conocer los efectos de la pendiente del terreno sobre la uniformidad de distribución en sistemas de riego localizado y la producción de frambuesa. El ensayo se realizó en invernaderos semitunel 78x7.2m., con pendiente longitudinal <1%, mientras que la transversal fue ligeramente ascendente <2% en el sentido de circulación del riego, empleo cinta de riego de 16 mm de diámetro. La eficiencia del riego del tratamiento optimo fue de 85%.

Quispe (2018), estudio la continuidad del bulbo húmedo en sistemas de riego por goteo subsuperficial – San José de Ticllas. El objetivo fue evaluar el efecto del sistema de riego por goteo subsuperficial, aplicando un diseño de completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Para evaluar la forma y dimensión del bulbo húmedo producido por un gotero auto compensado de 1.6 l/h, se incorporó agua por las cintas de goteo a profundidades de (6, 12 y 18cm.) con tiempos de riego 1.4, 1.6 y 1.8 horas respectivamente y 2 horas para testigo o riego por goteo superficial. El comportamiento del CU (%), para el inicio de campaña fue de 93% y para el final 92%, ambos valores obtenidos para este índice, se clasifican como categoría excelente según Merriam y Keller (1978). En cuanto al rendimiento del cultivo de arveja fue 13.43 Tm/Ha, con 6 cm profundidad de aplicación de riego.

Mamani (2016), realizó la evaluación del uso eficiente del agua de riego en el cultivo de arveja (*pisum sativum l.*). El objetivo fue evaluar el uso eficiente del agua de riego en el cultivo de arveja. Los resultados de frecuencia y tiempo de riego según el seguimiento con tensiómetro en cada fase fenológica de arveja fueron: germinación (cada 7 días, por 1.5 horas), crecimiento (cada 8 días, por 1.5 horas), crecimiento – floración (cada 7 días, por 2.5 horas), y floración - maduración de vainas (cada 7 días, por 3 horas). Los rendimientos variaron según la variedad desde 06 hasta 10 Tm/Ha.

Laura y López (2016), evaluaron el CU de un sistema de riego por goteo para cultivos en zonas altas de Bolivia. El objetivo fue evaluar el CU de un sistema de riego presurizado por goteo. Los valores de la uniformidad de

riego fueron determinados con el método de Merriam y Keller, (1978). Las variables estudiadas fueron: el comportamiento hidráulico del emisor, la uniformidad del caudal y presión. Las medidas del diámetro del suelo mojado fueron de 14cm de ancho y 18cm de largo y una profundidad de 10cm/h, a una descarga 1.4l/h del emisor. La eficiencia de aplicación encontrada para el sistema de riego por goteo fue de 81.95%, valor cercano a lo teórico que varía entre 90% - 95%.

Canovas et al. (2015), investigaron las influencias de las pendientes del terreno en la uniformidad de distribución de caudal en cintas de riego localizado. El objeto fue estudiar la influencia de la pendiente del terreno, la uniformidad de distribución (UD) del riego en la carga y descarga de cintas de riego. Se calcularon la UD en ramales de riego con pendientes variables desde 0 a 5%, tanto en sentido ascendente como descendente. Los valores de coeficiente de uniformidad (CU) sufrieron una elevada disminución desde 95% hasta 83% cuando se trabajó con pendientes de terreno diferentes.

Ruiz et al. (2014), evaluaron la uniformidad de cintas de riego en condiciones de campo. Su objetivo fue analizar la uniformidad de distribución del agua usando cintas de riego de diferente caudal (2.5, 3.8 y 5.0l/h) y control a distintos tiempos de riego (30, 20 y 15 minutos respectivamente). Los resultados evidencian, que cuando se incrementa el tiempo de riego mejora la uniformidad de distribución (UD); para obtener valores  $UD \geq 90\%$ , el tiempo mínimo de riego para las cintas con caudales de 5, 3.8 y 2.5l/h sería de 15, 13 y 20min. Por consiguiente, los tiempos de

riego son 10 a 15min para cinta de 5 l/h, de 7 a 20min para cinta de 3.8 l/h y de 10 a 30min para cinta de 2.5 l/h.

Tuya (2020), en su investigación sobre rendimiento del cultivo de la arveja variedad Usui. Evaluó el rendimiento de arveja con aplicación de tres láminas de riego al 100%, 80% y 60% respectivamente. Los resultados fueron de 7.10, 5.30 y 3.75 t/ha de arveja grano verde, para un tipo de suelo franco arenoso aplicados con riego por goteo.

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **a) Hipótesis general**

La pendiente del terreno y tuberías terciarias afectan significativamente en la uniformidad de riego, bulbo húmedo y el rendimiento del cultivo de arveja.

##### **b) Hipótesis específicas**

H.E.1. El incremento de la pendiente del terreno disminuye la uniformidad de riego por goteo.

H.E.2. El incremento de la pendiente del terreno afecta en la formación de bulbo húmedo.

H.E.3. El incremento de la pendiente del terreno afecta mínimamente en el rendimiento del cultivo de arveja.

H.E.4. La disposición de tuberías terciarias mejora en la uniformidad de riego por goteo.

H.E.5. La disposición de tuberías terciarias influye en la formación de bulbo húmedo.

H.E.6. La disposición de tuberías terciarias influye en el rendimiento del cultivo de arveja.

#### **3.2. Identificación de variables e indicadores**

##### **Variables independientes (V.I.)**

### **V.I.1. Pendiente del terreno**

**Indicador:** Pendiente de terreno con variación en porcentaje (P1, P2, P3)

### **V.I.2. Disposición de tuberías terciarias**

**Indicador:** Cantidad de válvulas a instalar para regular el caudal (TT1, TT2, TT3)

## **Variables dependientes (V.D.)**

### **V.D.1. Uniformidad de riego**

**Indicador:** Coeficiente de uniformidad del riego.

### **V.D.2. Formación de bulbo húmedo**

**Indicador:** Diámetro del suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo.

### **V.D.3. Rendimiento del cultivo**

**Indicador:** Rendimiento de arveja en grano verde.

## **Variables intervinientes:**

- Propiedades fisicoquímicas del suelo donde se instala los tratamientos.
- Propiedades fisicoquímicas del agua de riego que se aplica en el cultivo.
- Diseño agronómico para el cultivo de arveja.
- Diseño geométrico de las áreas de cultivo.
- Diseño hidráulico del sistema de riego.

### 3.3. Operacionalización de variables

La Operacionalización de las variables de estudio se detalla en la Tabla 7.

**Tabla 7. Operacionalización de las variables de estudio**

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>
<b>Independientes</b>			
Pendiente de terreno	Pendiente de terreno	Pendiente de terreno	%
Disposición de tuberías terciarias	Válvulas para regular el caudal	Cantidad de válvulas	Unid
<b>Dependientes</b>			
Uniformidad de riego	Uniformidad de riego	Coeficiente de Uniformidad	%
Formación de bulbo húmedo	Diámetro del suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo	Diámetro y profundidad	cm
Rendimiento del cultivo	Rendimiento del cultivo	Rendimiento de arveja en grano verde	t/ha

## IV. METODOLOGÍA

### 4.1. Ámbito de estudio: localización política y geográfica

El presente proyecto de investigación se desarrolló en una parcela acondicionada para fines experimentales localizado en la comunidad San Andrés de Yanacca del distrito de Tambobamba, Provincia de Cotabambas, región Apurímac – Perú, ubicado a 4.5 Km de la ciudad de Tambobamba, sus coordenadas corresponden a  $13^{\circ}57'49.05''$  S y  $72^{\circ} 11'31.51''$  O, encontrándose a 3,405 msnm.

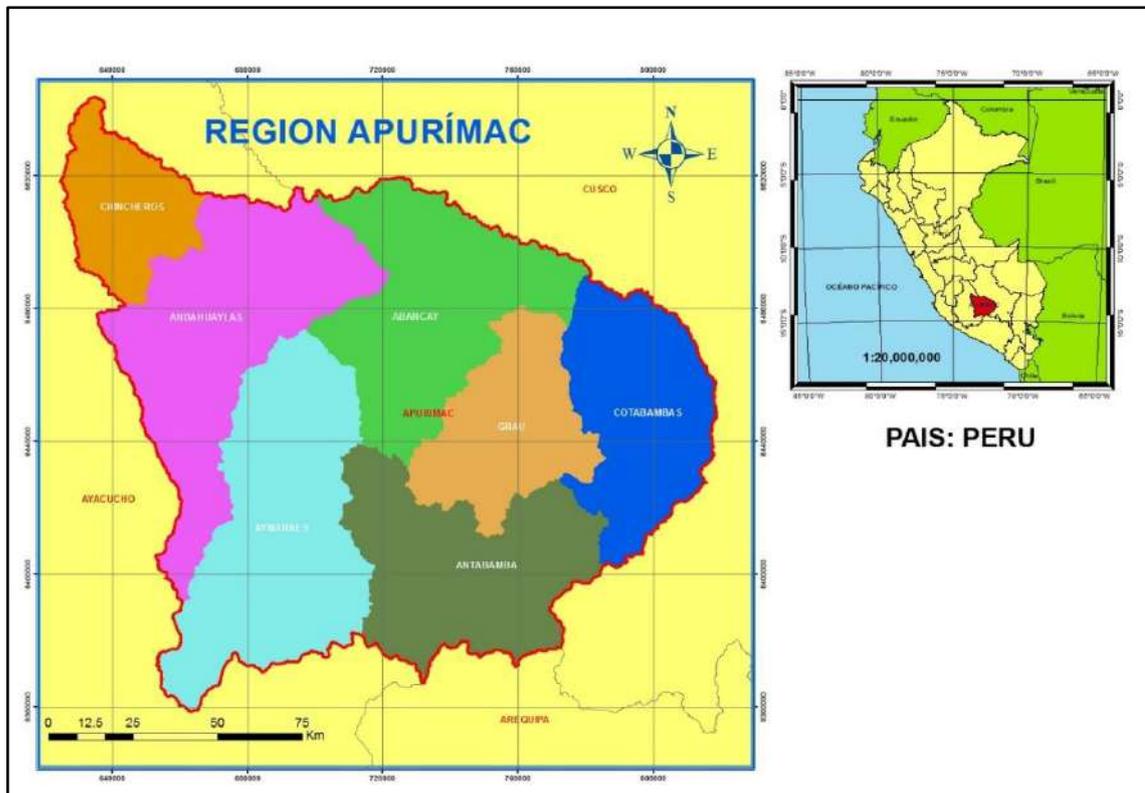
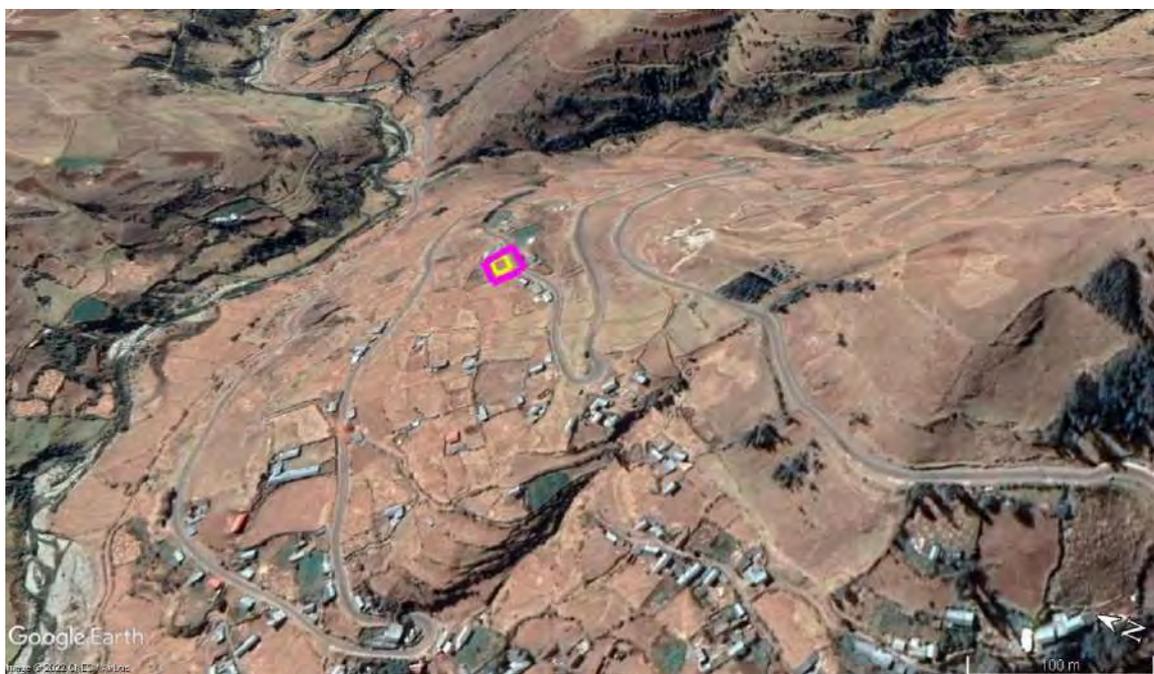


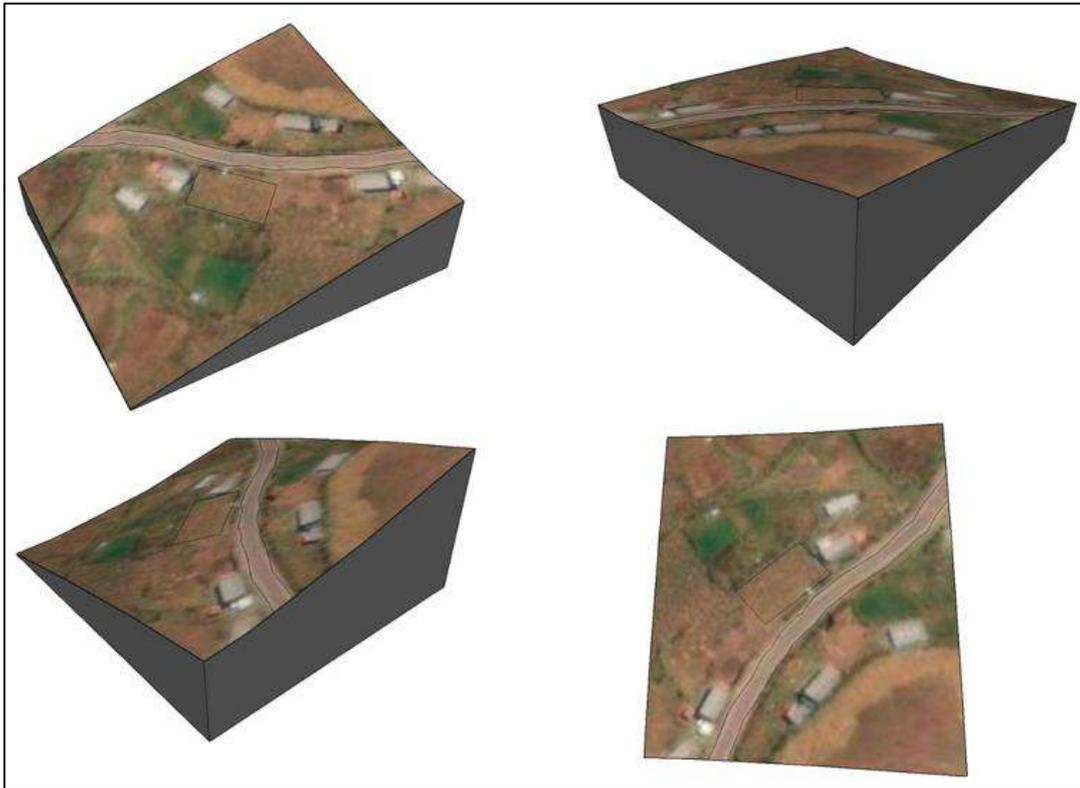
Figura 16. Mapa geopolítico del departamento de Apurímac y Perú.



**Figura 17. Localización geográfica del distrito de Tambobamba.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 18. Parcela identificada para la investigación, localizado en la comunidad de San Andrés de Yanacca, distrito de Tambobamba**  
Fuente: Elaboración propia, obtenido de Google Earth, (2022).



**Figura 19. Corte del terreno con pendiente pronunciada y visualización 3D**

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2. Tipo y nivel de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, en investigación cuantitativa clasificada como experimental, porque se han manipulado en el campo dos variables independientes (pendiente de terreno y disposición de tuberías terciarias), con el fin de evaluar el coeficiente de uniformidad de riego, formación de bulbo húmedo y el rendimiento del cultivo de arveja.

El nivel de investigación corresponde a tratamientos múltiples, por su naturaleza de manipular dos variables con distintos niveles de estudio, que generan los posibles efectos en los resultados de las variables dependientes (Palella S., y Martins P., 2012).

#### **4.3. Unidad de análisis**

Son los 09 tratamientos y el control establecidas para el estudio y evaluación del coeficiente de uniformidad de riego, formación de bulbo húmedo y el rendimiento de cultivo de arveja.

#### **4.4. Población de estudio**

Es el campo experimental, que comprende a un área total de 330 m<sup>2</sup>.

#### **4.5. Tamaño de muestra**

Son los 09 tratamientos experimentales más el control, y de cada tratamiento tiene un área de 25m<sup>2</sup> y de ellas se ha extraído las muestras a criterio del investigador.

#### **4.6. Técnicas de selección de muestra**

Se aplicó el muestreo probabilístico, con el método del muestreo estratificado para los tratamientos y el muestreo aleatorio para la determinación del análisis del suelo, evaluación del CU, formación de bulbo húmedo y rendimiento de arveja.

#### **4.7. Técnicas de recolección de información**

Para la recolección de la información, se emplearon varios instrumentos como equipos, materiales diversos, laboratorios, softwares, y fichas para registro de resultados. Además, se realizó los cálculos matemáticos aplicando diferentes métodos, formulas o técnicas validadas para el diseño agronómico, geométrico e hidráulico.

**a. Acondicionamiento de las parcelas con diferentes pendientes**

Para determinar los pendientes de terreno, se realizó la limpieza de la parcela, seguidamente la roturación del suelo, posteriormente se desarrolló el levantamiento topográfico de los puntos, trazos aplicando la geometría y propiedades trigonométricas; y finalmente se realizó la nivelación de los suelos con 10%, 20% y 40% de pendiente de terreno respectivamente.



a) Terreno, antes de la ejecución



b) Terreno limpio para fines de roturación

**Fotografía 8. Limpieza de la parcela**

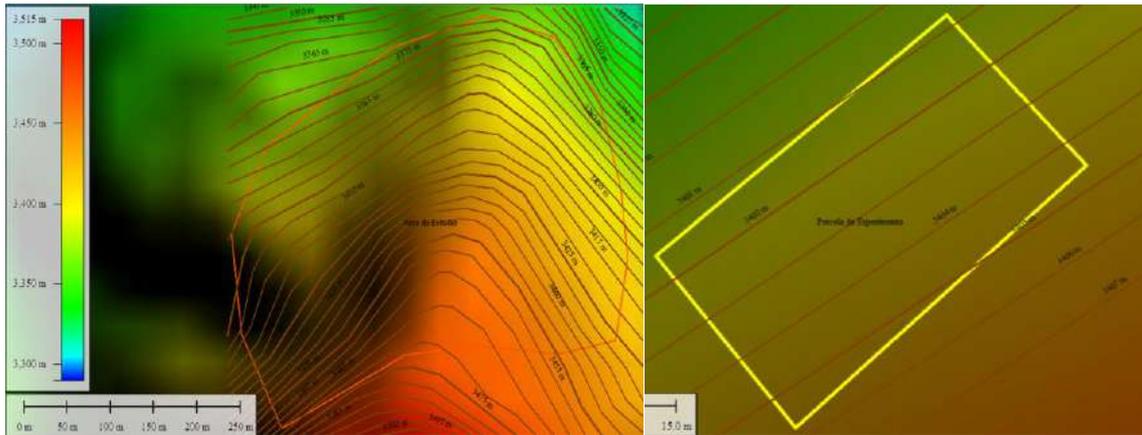


c) Roturación de terreno agrícola



d) Herramienta ch'akitaqlla utilizado en la roturación de terreno agrícola.

**Fotografía 9. Roturación del terreno agrícola.**



**Figura 20. Procesamiento de los datos, curvas de nivel y cálculo de pendientes**

Una vez roturada el suelo agrícola, se volvió a realizar el levantamiento topográfico para determinar la pendiente final y se calculó el grado de inclinación del terreno, con la tangente de la superficie. Generalmente en planimetría, se expresa como el porcentaje de pendiente y se determinó utilizando la Ecuación 1; los puntos obtenidos con equipo GPS diferencial se procesó en una computadora aplicando el Software de AutoCAD y otras herramientas como el Global Mapper. Los resultados se adjuntan en el anexo 02.

**b. Determinación de análisis fisicoquímico del suelo**

Para el presente proyecto de investigación, las muestras del suelo agrícola se obtuvieron empleando la técnica de rejilla triangular en las tres parcelas con pendiente de 10%, 20% y 40%; estas se enviaron a laboratorio de la empresa denominada Sistema de Servicios y Análisis Químicos SLAB S.A.C.



a) Punto definido y extracción de la muestra



b) Obtención de la muestra a un toldo



c) Homogenización de la muestra de suelo.



d) Muestras extraídas de 03 parcelas.



e) Rotulado de 1.0 kg de muestra de suelo agrícola.



f) 03 unidades de muestras diferentes, para su envío a laboratorio SLAB SAC.

### Fotografía 10. Obtención de las muestras de suelo agrícola

En el anexo 03, se adjunta el INFORME DE ENSAYO IE-080722-01, donde se informa los parámetros y los métodos que se emplearon para la determinación de los resultados de análisis fisicoquímicos, cationes cambiables y parámetros hídricos de las 03 muestras de suelo agrícola, en cada parcela se instaló 03 subunidades de riego.

Según los resultados, el suelo agrícola es bueno para la siembra y producción del cultivo de arveja, sin embargo, se deberá realizar un plan de fertilización adecuada, según el requerimiento del cultivo de arveja.

### **c. Determinación de análisis fisicoquímico del agua**

Las muestras del agua de riego, se tomaron en tres ocasiones del hidrante de riego, que está ubicado a 30m de la parcela experimental, posteriormente se homogenizaron y se tomaron en un recipiente de botella plástica, para luego enviarlos a laboratorio de la empresa de SLAB S.A.C.



**Fotografía 11. Obtención de muestras del agua de riego**

En el anexo 04, se adjunta el INFORME DE ENSAYO IE-090722-01, donde se informa los ensayos y métodos que se emplearon para la determinación de los resultados de análisis fisicoquímicos, metales y metales tóxicos de muestra de agua de riego para fines agrícolas, en este caso, el uso de agua para el cultivo de arveja.

Los resultados del agua de riego se encuentran dentro de los parámetros para fines agrícolas, por otra parte, existe una moderada concentración de metales como hierro y sólidos en suspensión que excede mínimamente, los cuales fueron controlados durante la operación del sistema de riego.

#### d. Diseño agronómico

##### Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)

La ET<sub>o</sub> para la presente investigación, se calculó empleando el método del tanque evaporímetro, midiendo diariamente los resultados de Humedad Relativa (%HR), velocidad del viento (m/s), con estos valores se determina el coeficiente del tanque (K<sub>p</sub>). Finalmente teniendo el valor de la evaporación del agua en el tanque clase A (mm/día) multiplicado con K<sub>p</sub> se obtiene la ET<sub>o</sub>.



**Fotografía 12. Instrumentos utilizados en la determinación de (ET<sub>o</sub>)**

a) Tanque Evaporímetro clase A, b) Equipo Anemómetro, c) regla milimétrica de metal.

### **Evapotranspiración de cultivo (ETc)**

La evapotranspiración del cultivo, se determinó empleando la siguiente formula:  $ETc = ETo \times Kc$ , como el riego es por goteo, las necesidades netas del agua para el cultivo se determinan conociendo los diversos factores de corrección, los cuales se adjuntan en los anexos al presente proyecto de investigación.

### **Requerimiento de las necesidades de agua**

Se determino empleando la tabla de planilla de cálculo para manejo de riego, los resultados se adjuntan en el anexo 05.

### **Selección de emisor**

Se utilizó una cinta de riego con gotero de caudal del emisor 1.6l/h, distancia entre goteros 20cm, presión de operación 0.8bar, diámetro externo de cinta 17mm de marca Akona.

### **Frecuencia de riego**

En las parcelas experimentales, el riego se aplicó diariamente, según la necesidad de agua a reponer al suelo, en promedio vario desde 2 a 7.16mm/día, según el crecimiento o desarrollo fisiológico de las plantas de arveja.

### **Tiempo de riego**

El tiempo de riego vario desde 2.5 a 8.9 minutos, según el crecimiento y desarrollo fisiológico de las plantas, el tiempo de riego se determinó

diariamente, empleando la planilla de hoja Excel, aplicando el método del tanque evaporímetro Clase A, según el agua perdida a reponer.

**Tabla 8. Diseño agronómico del cultivo de arveja con el sistema de riego**

Descripción	Unidad	Valores
Tipo de Suelo (Análisis de suelos)		Franco-Arenoso
Infiltración básica permitida	mm/hr	25.00
Densidad aparente (Da)	gr/cm <sup>3</sup>	1.35
Capacidad de Campo (CC)	%	31.00
Punto de Marchitez Permanente (PMP)	%	17.94
Profundidad radicular (z)	cm	30.00
% Fracción de Agotamiento (P ó f)	%	0.25
Lamina Neta de Riego en Suelo y Cultivo	mm	13.22
Eto	mm/día	5.20
Kc		0.45
Kl	mm/día	0.37
Kcl	mm/día	1.20
Kad	mm/día	1.00
Etc	mm/día	1.05
Pe, es aporte de agua por la Precipitación Efectiva,	mm/día	0.00
Ac, es aporte de agua capilar (Cuando el nivel freático este próximo)	mm/día	0.00
Aa, es aporte del agua almacenada	mm/día	0.00
Necesidad Neta de Riego (Nn)	mm/día	1.05
Perdida de agua por percolación o lavado de sales (K)		0.07
Eficiencia aplicación (CU)	%	90.0%
Necesidad Totales de Riego (Nt)	mm/día	1.25

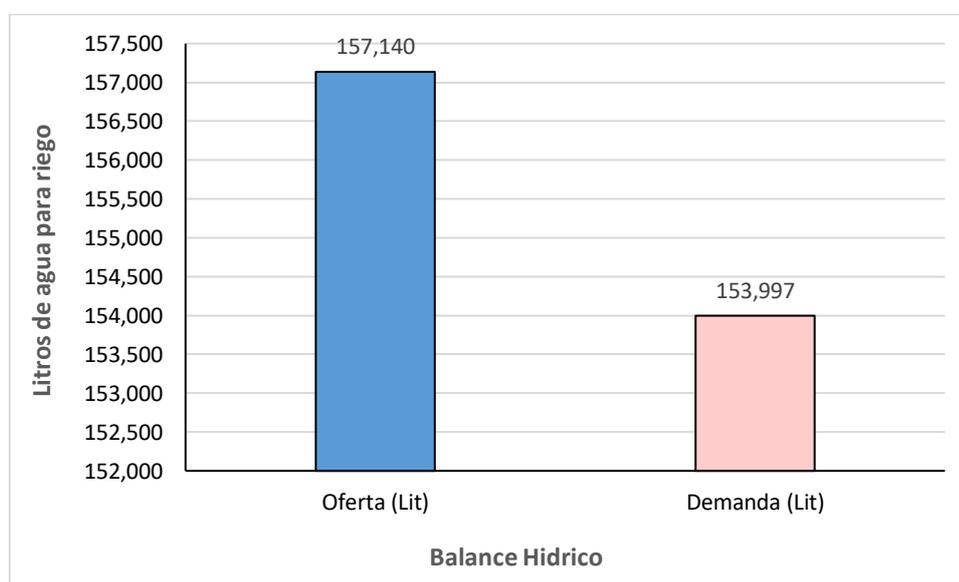
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9. Demanda Hídrica**

Volumen de agua requerida por planta (Lit)	Total Plantas en parcela experimental	Total de días a irrigar (Agost, Set, Nov)	Demanda de agua para riego (Lit)
1.05	1,512.00	97.00	<b>153,997.20</b>

**Tabla 10. Oferta Hídrica**

Caudal de agua (Lit/s)	Caudal de agua (Lit/h)	Caudal de agua (Lit/min)	Tiempo de riego prom. (min)	Total de días a irrigar (Agost, Set, Nov)	Oferta de agua de riego (Lit)
3	10,800	180.00	9.00	97.00	<b>157,140.00</b>



**Figura 21. Balance hídrico para la irrigación de las parcelas.**

**e. Diseño Geométrico**

**Pendiente de terreno.** Es la primera variable independiente, para el ensayo, primero se midieron las distancias utilizando una cinta métrica, después se procedió con el levantamiento topográfico empleando un GPS diferencial, dichos datos se procesaron en una computadora para analizar las cotas, procesar las curvas de nivel y así se trazaron y nivelaron en pequeñas parcelas con tres pendientes (P1: 10%, P2: 20%, P3: 40%), a estas se denominan como sub unidad de riego.

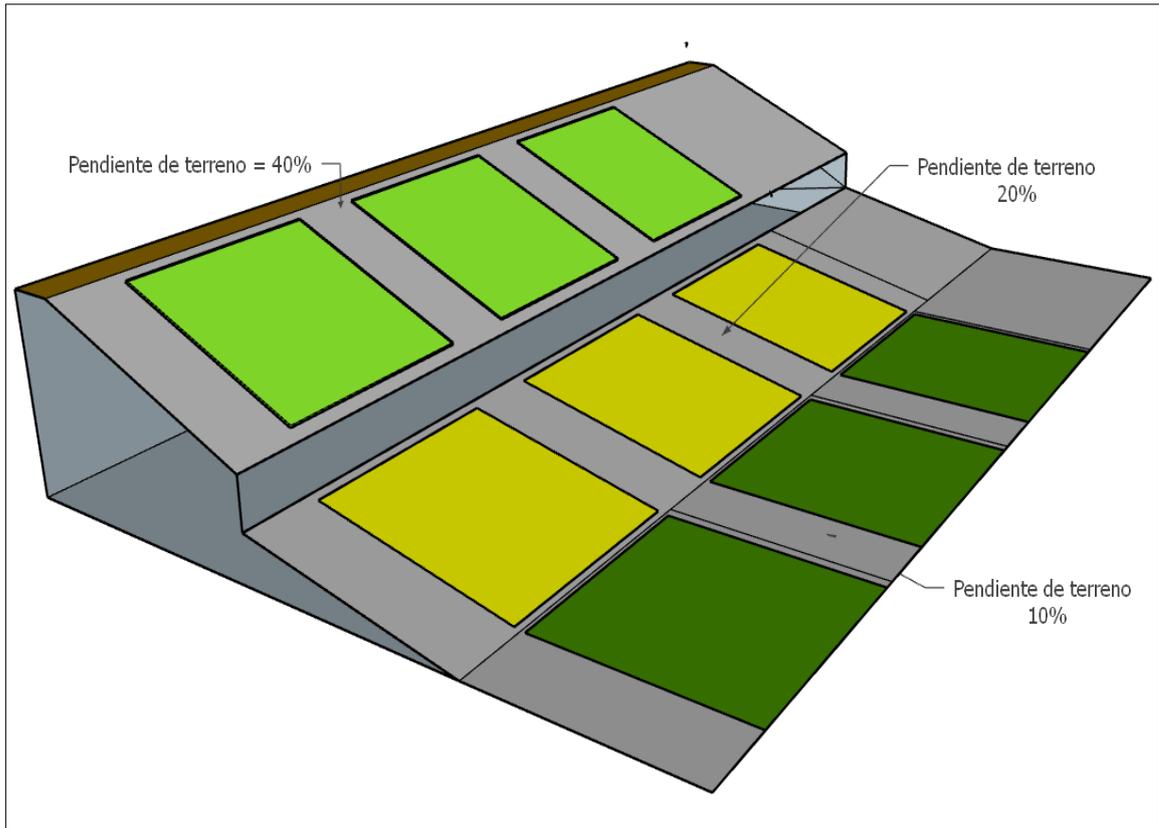
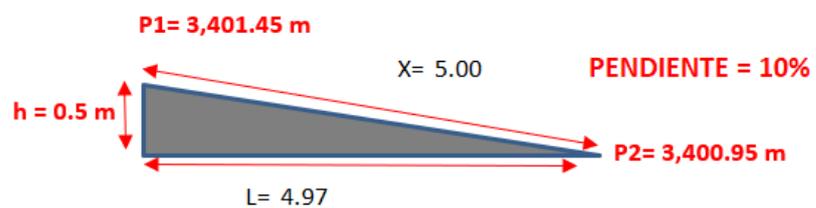
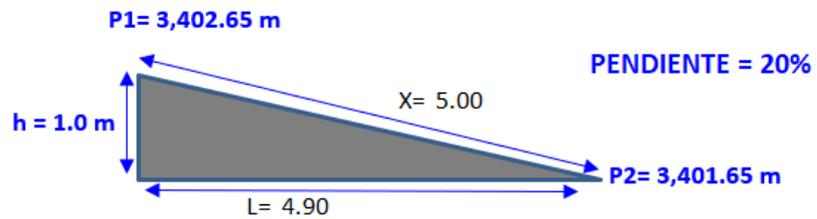
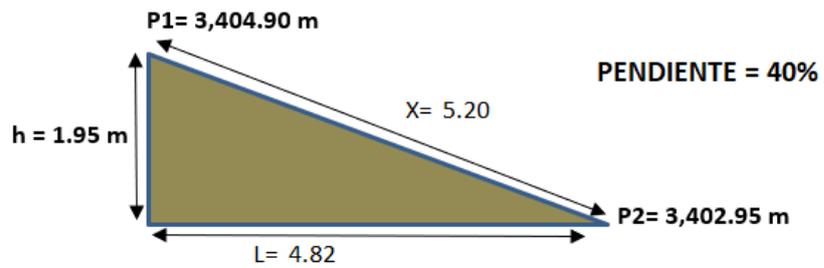


Figura 22. Representación de las parcelas con 03 pendiente de terreno

Fuente: Elaboración propia.

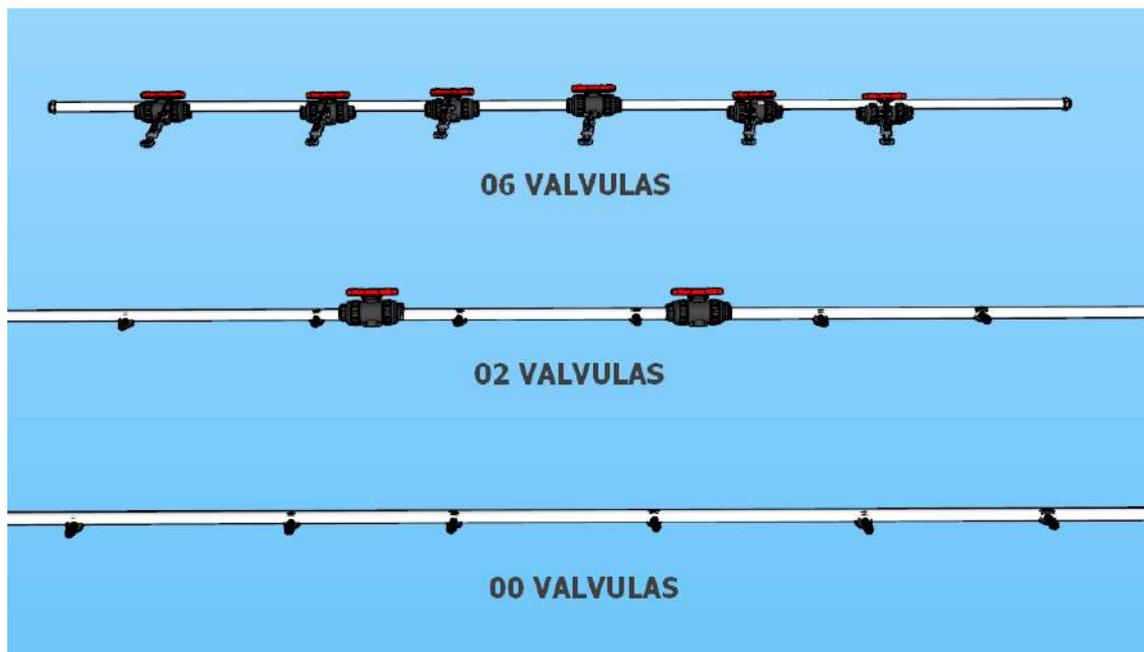




**Fotografía 13. Parcelas con tres pendientes de terreno para su instalación del sistema de riego.**

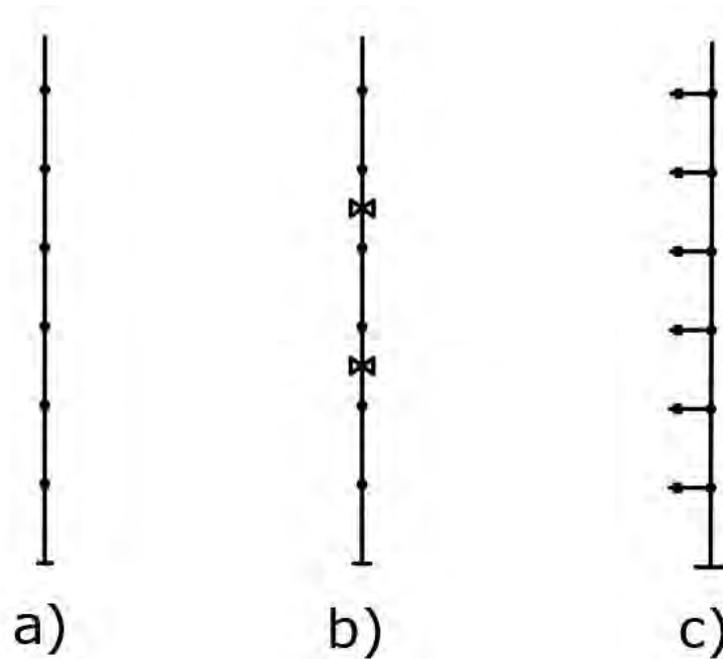
En la región sierra del Perú, la mayor área geográfica de las zonas andinas son laderas que poseen tierras fértiles para la agricultura, sin embargo, bajo estas condiciones actualmente no existen investigaciones o inversiones privadas que desarrollen a gran escala la aplicación de riego por goteo como en la costa que cuenta con tierras llanas o pampas aptas para todo tipo de riego tecnificado. En ese contexto, bajo las condiciones reales del suelo y agua en la región Apurímac, se procede a investigar la aplicación del riego por goteo en terrenos con pendientes de 10%, 20% y 40%, y teniendo un control de referencia a 0%, para obtener diferentes resultados en las variables dependientes como: la uniformidad de riego, formación de bulbo húmedo y finalmente evaluar la instalación del sistema de riego en el cultivo de arveja para determinar los rendimientos en grano verde.

**Disposición de tuberías terciarias.** Es la segunda variable independiente, donde se evaluará su comportamiento hidráulico bajo las condiciones de parcelas con pendientes propuestas. Para ello, se insertó válvulas manuales en las tuberías terciarias (TT), para regular el caudal de tres formas distintas (TT1: 0 ó sin válvulas, TT2: 02 válvulas, TT3: 06 válvulas manuales) respectivamente.



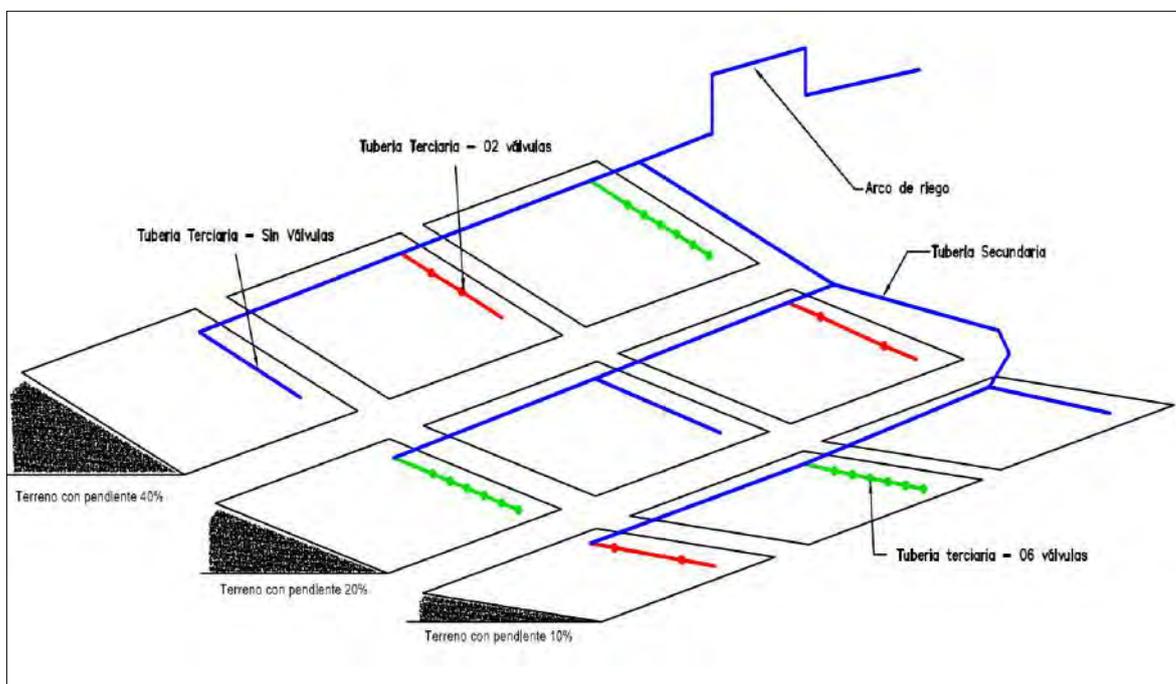
**Figura 23. Disposición de tuberías terciarias en tres formas con válvulas manuales.**

Como las parcelas varían en sus pendientes desde 10% hasta 40%, otro variable a controlar sería el caudal en las tuberías terciarias o portales, para así garantizar una buena uniformidad de riego; existe evidencias que cuando hay fuga de agua en la parte baja de un sistema, las partes altas son afectadas con la salida de menos caudales, por tanto; en la presente investigación es necesario considerar la inserción de válvulas reguladoras de caudal en las tuberías terciarias.

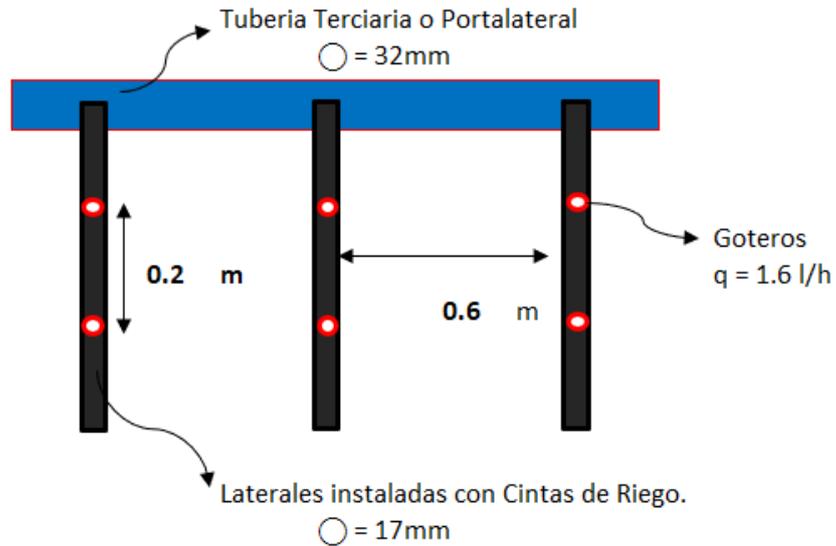


**Figura 24. Diseño y disposición de tuberías terciarias para su aplicación en el sistema de riego por goteo.**

a) Tubería terciaria sin válvulas, b) Tubería terciaria con 02 válvulas manuales, y c) Tubería terciaria con 06 válvulas manuales.

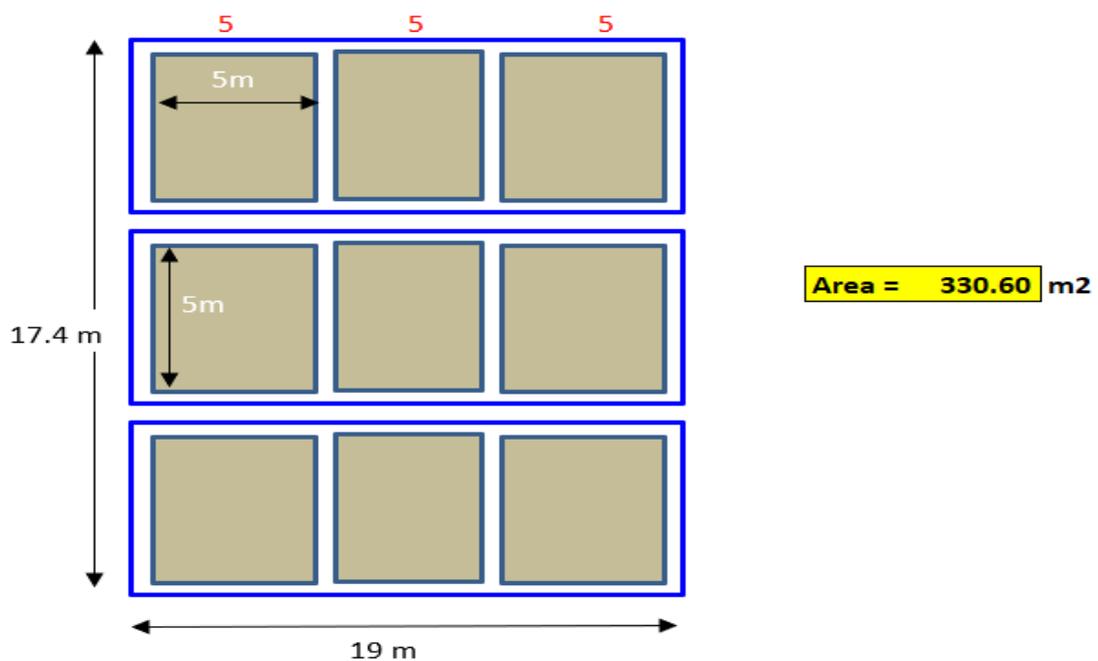


**Figura 25. Representación de las parcelas con pendientes y disposición de tuberías terciarias para la investigación**

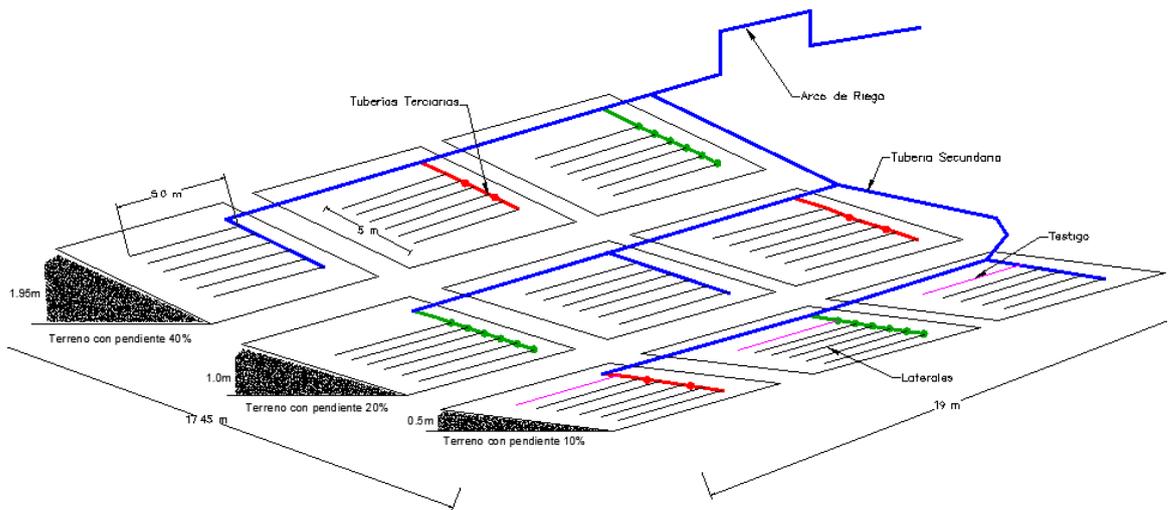


**Figura 26. Diseño de la disposición de laterales con cintas de riego**

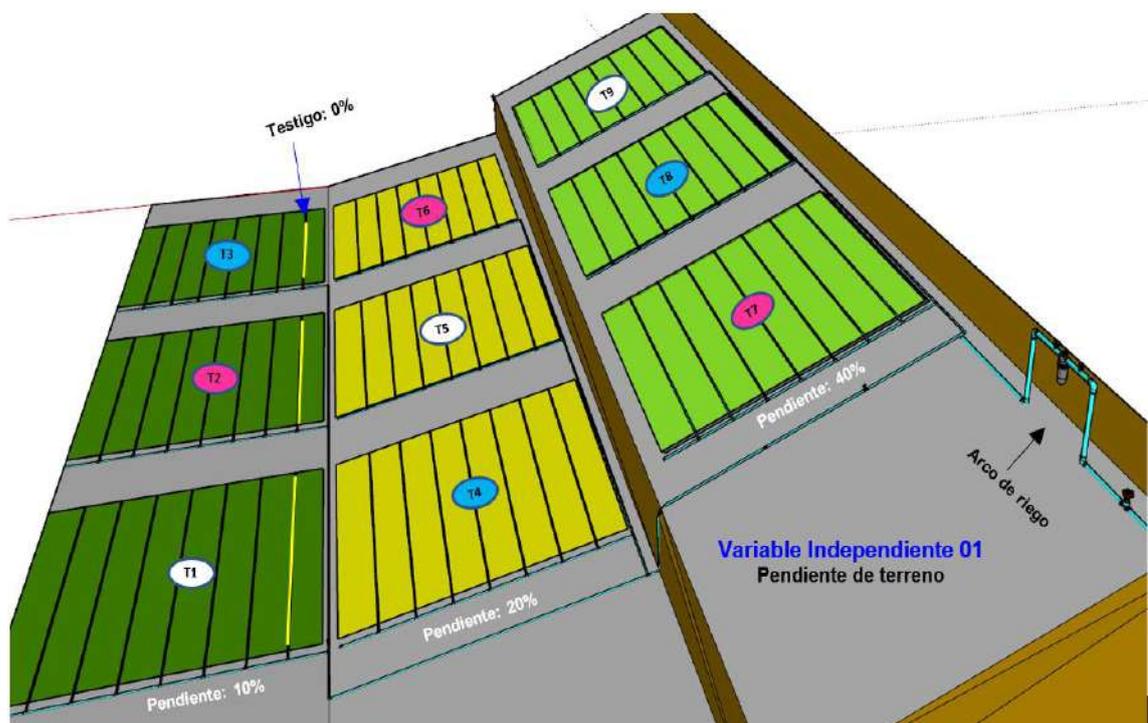
Para el cultivo de arveja variedad Chinchucho, se aplicó una densidad de siembra de 20cm entre planta y 60cm de distanciamiento entre laterales, esto debido a que esta variedad de arveja es precoz y crece un tamaño máximo de 60cm de altura y también ramifica en forma regular.



**Figura 27. Área total de la parcela experimental**



**Figura 28. Diseño del sistema de riego por goteo para la investigación**



**Figura 29. Sistema de riego por goteo para 09 tratamientos y control**

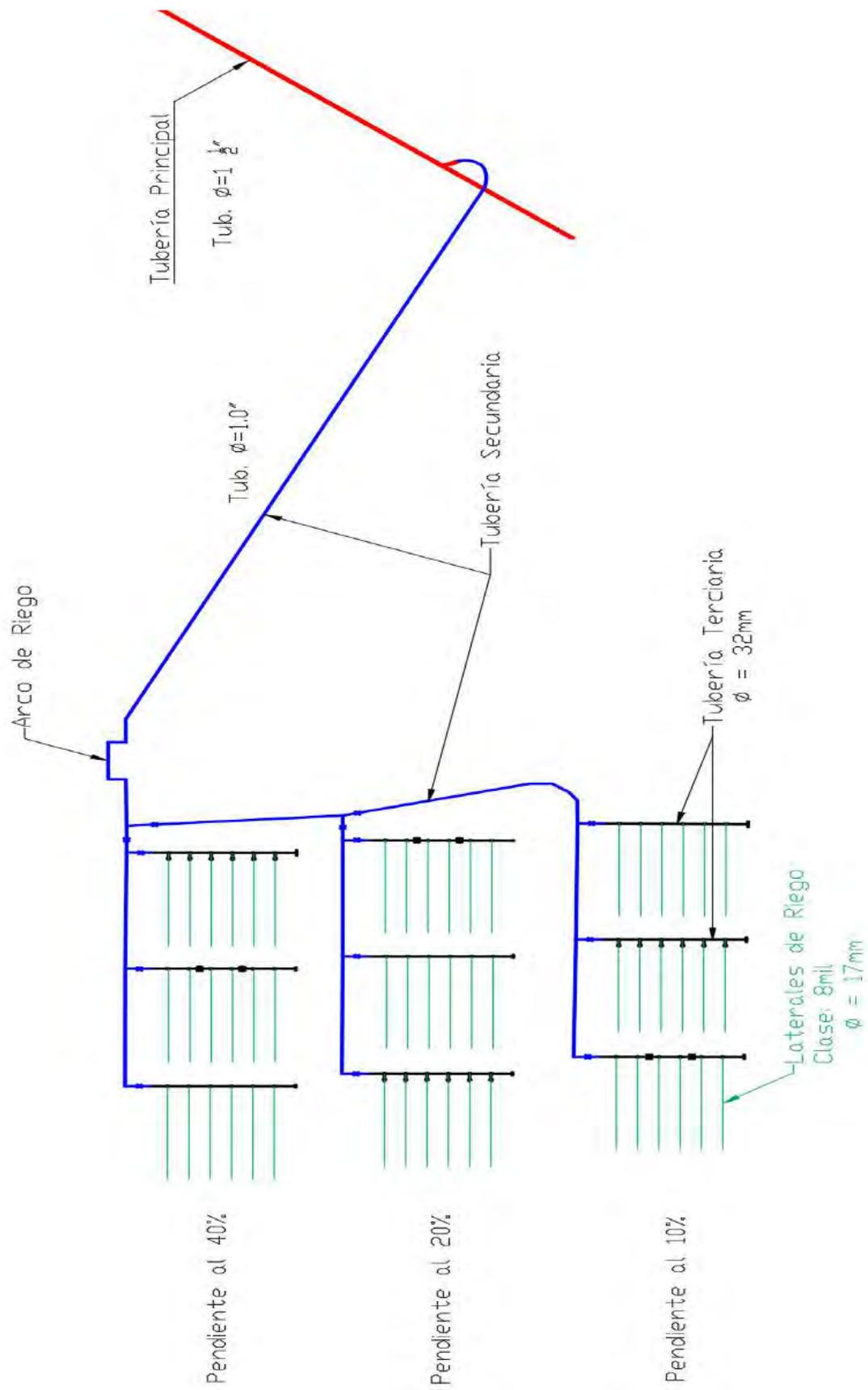


Figura 30. Diseño completo de instalación de riego por goteo

## f. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico en sistema de riego por goteo, inicia con la determinación del caudal de agua, diámetros de la tubería y la presión del fluido, desde el ingreso a la tubería secundaria, arco de riego, tuberías terciarias y laterales de riego, para determinar la pérdida de energía y la distribución de presiones, utilizando diferentes métodos matemáticos, los cálculos y resultados se adjuntan en el anexo 06.

### **Diseño hidráulico en las tuberías secundarias.**

Estas son ductos cuya función es el transporte del agua de riego hacia los diferentes tratamientos instalados en el campo experimental.

Para la instalación de las tuberías secundarias se utilizó manguera HDPE de 1" PN-8; diámetro nominal de 32mm, para este fin se determinó las pérdidas de energía, con el método de Hazen Williams.

$$h_f = 10.67 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.87}} * L \quad \text{Ecuación 7}$$

$h_f$ : Pérdida de carga en la tubería (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

C: Coeficiente de rugosidad de H. W.

D: Diámetro interno de la tubería (m)

L: Longitud de la tubería (m)

Para determinar y evaluar la velocidad del flujo, se utilizó la siguiente ecuación.

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad \text{Ecuación 8}$$

Los resultados de la pérdida de energía para cada tramo, se adjunta en el cuadro siguiente.

CALCULO HIDRAULICO DE LA TUBERIA SECUNDARIA (HIDRANTE - ARCO DE RIEGO - TRATAMIENTOS 01 - 09)																				
Tramo	Longitud Tramo (m)	Caudal Salida / tramo (m³/s)	Caudal de la Red		Rugosidad C	Diámetro Nominal (Dn) (mm)	Diámetro Interno (Di) (mm)	Diámetro Interno (Di) (m)	Velocidad (V) (m/s)	Pérdida Unitaria (J) (mca/m)	Pérdidas Principales Tramo (Hf) (mca)	Pérdidas Accesorios (Hfs) (mca)	Pérdidas Totales Tramo (HFt) (mca)	Pérdidas Totales Acumulada (mca)	Cota		Desnivel Tramo (ΔZ) (m)	Desnivel Acumulado (m)	Presión Estática (Pz) (mca)	Presión Dinámica (Pd) (mca)
			L/s	m³/s											Inico (m.c.a)	Final (m.c.a)				
Hidrante - Arco	25.10	0.00	2.00	0.0020	140.00	32	28.00	0.0280	3.25	0.4144	10.40	0.00	10.40	10.40	3403.00	3405.00	-2.00	-2.00	0.00	30.00
Arco de riego	2.00	0.00	2.00	0.0020	140.00	32	28.00	0.0280	3.25	0.4144	0.83	0.04	0.87	0.87	3405.00	3405.00	0.00	0.00	2.00	21.60
AR - Tee01	1.60	0.00	2.00	0.0020	140.00	32	28.00	0.0280	3.25	0.4144	0.66	0.00	0.66	0.66	3405.00	3405.00	0.00	0.00	2.00	20.07
Tee01 - V5	11.15	0.667	0.67	0.0007	140.00	32	28.00	0.0280	1.08	0.0542	0.60	0.01	0.61	0.61	3405.00	3404.80	0.20	0.20	1.80	19.92
Tee01 - Tee02	6.10	0.000	1.333	0.0013	140.00	32	28.00	0.0280	2.17	0.1956	1.19	0.00	1.19	1.19	3405.00	3402.65	2.35	2.35	-0.55	16.38
Tee02 - V9	11.54	0.667	0.667	0.0007	140.00	32	28.00	0.0280	1.08	0.0542	0.63	0.01	0.63	0.63	3402.65	3402.55	0.10	0.10	-0.65	15.64
Tee02 - V12	16.65	0.667	0.667	0.0007	140.00	32	28.00	0.0280	1.08	0.0542	0.90	0.01	0.91	0.91	3402.65	3401.00	1.65	1.65	-2.20	13.82
	74.16												Hf1	15.28		ΔZt	2.30			

## Diseño hidráulico en tuberías terciarias y laterales de riego

La pérdida de carga de la unidad de riego es suma de la pérdida de carga producida en el lateral, hl, más la pérdida producida en la tubería terciaria, ht:

$$\Delta H_u = h_l + h_t$$

Ecuación 9

## Diseño hidráulico en laterales

Los laterales de riego se calcularon con diferentes metodologías, criterios técnicos, además considerando las cotas en las pendientes del terreno, y otros factores que se emplean en el diseño de la instalación.

Existen condiciones y criterios en el diseño hidráulico y se limita la variación máxima del caudal a un 10% en el lateral y por extensión a la unidad de riego. El criterio de diseño se determina a partir de la ecuación de descarga de un gotero, con la siguiente formula:

$$dp = \frac{0.1}{x} P$$

Ecuación 10

x: exponente de descarga.

P: presión de funcionamiento del gotero.

La pérdida de presión en la unidad de riego está definida adicionalmente por la diferencia de cotas en terrenos con pendiente, esta diferencia representa una altura de presión.

$$\Delta H_u \pm Z_j \pm Z_t \leq \frac{0.1}{x} P \quad \text{Ecuación 11}$$

Z tendrá signo (+) cuando la pendiente sea ascendente y signo (-) cuando sea descendente.

### **Distribución de las pérdidas de presión en la unidad de riego**

T. Montalvo y J. Arbiza (1990), propusieron una expresión para determinar el reparto óptimo de presiones R, definido por el coeficiente de forma de la unidad CF, como:

$$CF = \frac{L_l}{L_t} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,  $L_l$ : longitudes de lateral, y  $L_t$ : longitud de la tubería terciaria.

El reparto óptimo ( R), es la relación entre las pérdidas de presión en el lateral y las perdidas en el total de la unidad de riego.

$$R = \frac{h_l}{\Delta H_u} \quad \text{Ecuación 13}$$

Según el tipo de alimentación de los tubos laterales se utilizó la fórmula siguiente.

a) laterales alimentados por un extremo

$$R = \frac{0.842 * CF^{0.1577}}{S^{0.060}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Por tanto, la pérdida de presión en lateral, despejando de la Ecuación 13 se tiene.

$$h_l = R * \Delta H_u \quad \text{Ecuación 15}$$

En todos los casos la variación máxima de caudal en la unidad será, como ya sabemos, de un 10% de caudal.

El diámetro de la tubería interna se estimó con la siguiente ecuación.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = 0.5947 \sqrt{\frac{Q}{v}} \quad \text{Ecuación 16}$$

Q: caudal (l/h),

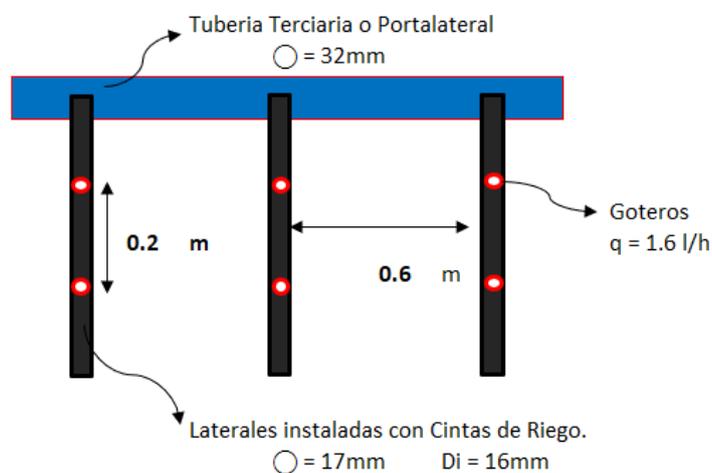
v: velocidad (m/s) y

D: Diámetro interior de la tubería (mm).

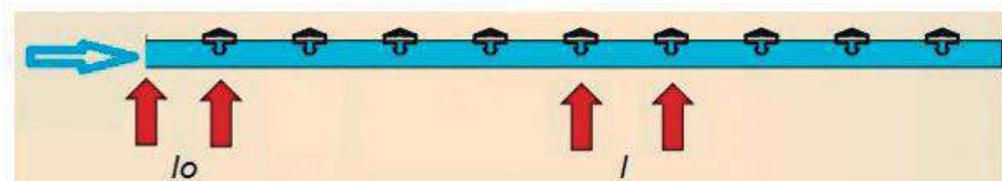
Las pérdidas de carga continuas en el lateral de goteo se calcularon con la fórmula de Blasius.

$$J = 0.473 \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} \quad \text{Ecuación 17}$$

J: pérdida de carga en mca/m de tubo.



La pérdida de presión continua del tubo lateral no es real, porque en la longitud total de la tubería existen salidas de agua por los goteros y se tiene una disminución progresiva del caudal en el tubo. Por consiguiente, la pérdida de presión real a lo largo de toda la longitud de la tubería se obtendrá aplicando el Coeficiente Reductor de Christiansen (CR). Entonces este criterio es aplicado cuando el primer gotero se encuentra a una distancia  $l_0$  igual a la distancia entre el resto de goteros  $l$ , es decir  $l_0 = l$ .



$$CR = \frac{1}{e+1} + \frac{1}{2n} + \sqrt{\frac{e-1}{6n^2}} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde  $e$ , es un factor que dependerá del material con el que se fabrique la tubería y que toma los valores 1,75 para PE (HDPE) y 1,80 para PVC;  $n$  representa el número de emisores conectados al lateral de riego.

Como el primer gotero se encuentra a una distancia distinta entre los demás goteros, se ha calculado con la ecuación propuesto por (T. Montalvo, 1989).

$$Fr = \frac{r+n*CR-1}{r+n-1} \quad \text{Ecuación 19}$$

Por tanto,  $r$  es la relación entre la longitud del primer emisor  $l_0$  al inicio del lateral y la distancia entre emisores  $l$  dentro del lateral; ( $r = l_0/l$ ),  $n$  es el número de emisores del lateral.

La longitud ficticia del lateral ( $L_f$ ), es la suma de la longitud real ( $L$ ) más la longitud equivalente ( $L_e$ ) producida por la inserción de los goteros. Los goteros producen pérdidas de carga en el lateral y se cuantificó como una longitud equivalente de tubería.

$$L_f = L + L_e \quad \text{Ecuación 20}$$

La pérdida de carga en el lateral, en mca, se estimó:

$$h_l = J * CR * L_f \quad \text{Ecuación 21}$$

$J$  = Ecuación de Blasius

$CR$  = Coeficiente Reductor de Christiansen.

$L_f$  = Longitud ficticia del lateral

### **Diseño de las tuberías terciarias**

Para conocer el diámetro de la tubería terciaria se requieren los siguientes datos:

- **Caudal en el origen**, es igual al  $N^0$  de laterales conectados a la tubería terciaria por el caudal de un lateral, o, en el caso de varias unidades la suma de caudales de todos los laterales de la unidad.

- **Pérdida de carga admisible**, esta pérdida en la terciaria es igual a la pérdida máxima admisible en la unidad de riego menos la pérdida real producida en un lateral. Se debe tener en cuenta el reparto de pérdidas de carga entre lateral y terciaria, donde además se considerará la pendiente del terreno.

- **Longitud ficticia** (Lf). La longitud ficticia de la tubería será la suma de la longitud real (L) más la longitud equivalente (Le) producida por la inserción de los laterales.

Por otra parte, la longitud ficticia se puede calcular como  $L_f = L \cdot a$ , siendo L: longitud real de la tubería terciaria y (a), coeficiente de pérdidas. Sin embargo, a falta de datos concretos, la longitud ficticia por la inserción de los laterales en la tubería terciaria se puede estimar entre 10% al 15% de la longitud de la terciaria,  $L_f = L \cdot (1.10 \sim 1.15)$ .

La longitud real de la tubería terciaria será:

$$L = S_0 + S (n-1) \quad \text{Ecuación 22}$$

$S_0$ : distancia del primer lateral al inicio de la terciaria.

S: distancia entre laterales.

n: El número total de laterales conectados a la terciaria.

Como las tuberías terciarias al igual que laterales, presentan múltiples salidas, se procede a calcular el Coeficiente reductor Christiansen.

$$CR = \frac{1}{e+1} + \frac{1}{2 \cdot n} + \sqrt{\frac{e-1}{6 \cdot n^2}} \quad \text{y} \quad Fr = \frac{r+n \cdot CR-1}{r+n-1}, \text{ este segundo aplicamos}$$

porque la distancia del primer salida es diferente a los restantes en las tuberías terciarias.

Las pérdidas en la tubería terciaria ( $h_t$ ), se expresan como:

$$h_t = J \cdot F_r \cdot L_f \quad \text{Ecuación 23}$$

La ecuación de Hazen-Williams es:

$$J = \frac{10.67}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} \quad \text{Ecuación 24}$$

J: Pérdida de presión en el ducto (mca/m).

C: Coeficiente reductor del material del ducto.

D: diámetro interior de la tubería, en m.

Q: caudal de entrada en m<sup>3</sup>/s.

Sustituyendo la Ecuación 24 en 23, se tiene:

$$h_t = \frac{10.67}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} * F_r * L_f \quad \text{Ecuación 25}$$

La presión en el inicio de la tubería terciaria está representada por:

$$P_o = P + h_t \pm Z \quad \text{Ecuación 26}$$

P<sub>o</sub> = presión en el origen de la tubería terciaria (m)

P = presión de entrada en el lateral más alejado del punto de alimentación (m)

h<sub>t</sub> = pérdida de presión en la terciaria (m), y

Z = desnivel con signo positivo o negativo según sea la pendiente ascendente o descendente respectivamente.

Los materiales elegidos y utilizados según el diseño hidráulico y productos comerciales fueron.

Tubería principal: PVC, clase 10, Ø=1 ½"

Tubería en arco de riego y conectores: PVC, clase 10, Ø=1"

Tubería secundaria y terciaria: Manguera HDPE Ø=1" PN-8.

Codos, Tee, enlace recto, tapón compres. HDPE, Ø=1" PN-16.

Filtro de anillas de 1" rm 120 mesh de tipo "Y"

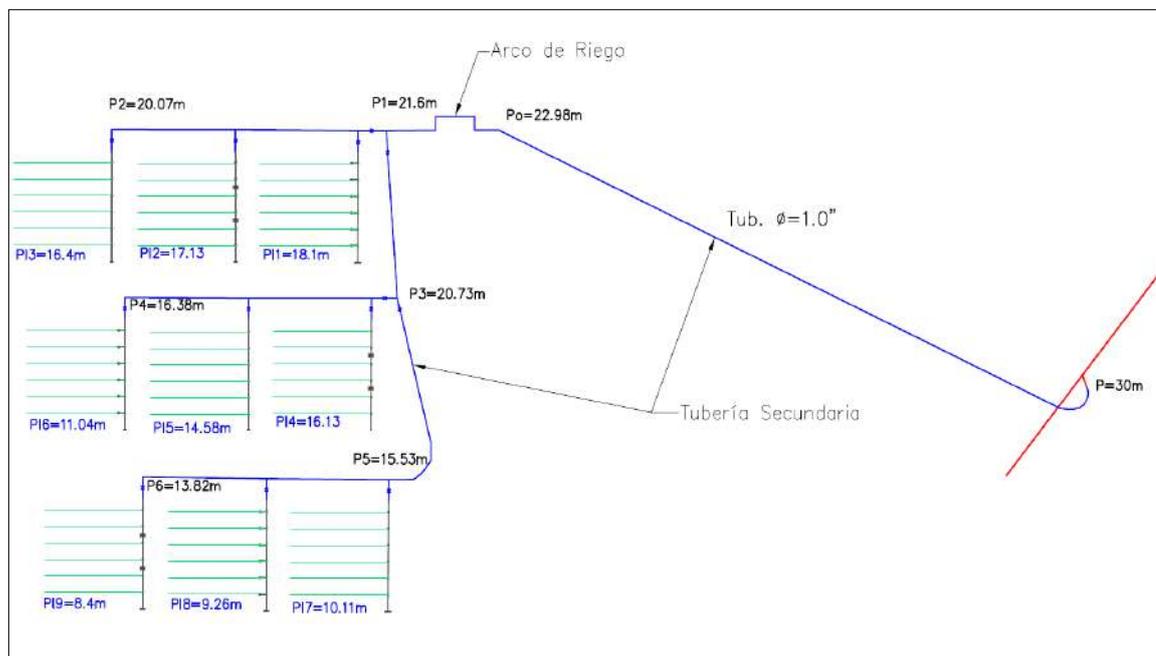
Válvula de aire de 1" rm doble efecto

Manómetro de glicerina de 1/4" 0-10 bar

Manguera de goteo 17 mm / 8 mil / 20 cm / 1.6 l/h

Otros accesorios para su instalación del sistema y operación durante el cultivo.

Según Gayán (2023), en su trabajo de investigación efecto de la presión sobre la uniformidad de un riego, determinó que la presión influye directamente sobre la uniformidad de riego; es decir, a mayor presión se produce mayor uniformidad de riego y a bajas presiones disminuye el coeficiente de uniformidad.



**Figura 31. Presiones calculadas en el sistema de riego por goteo**

En base a los cálculos realizados en el diseño hidráulico para todo el sistema de riego por goteo, se determinó que la presión requerida para

su normal funcionamiento  $P_f=27.85\text{mca}$ , donde es inferior a la presión de entrada a la tubería secundaria  $P=30\text{mca}$ ; teniendo un excedente a favor un  $2.15\text{mca}$ . Por lo tanto, se concluye que para el sistema de riego instalado no es necesario impulsar el agua mediante una electrobomba; los resultados del diseño hidráulico ver en el anexo 06.

### f.1. Captación del agua y la instalación del sistema de riego

Una vez determinada la longitud total y diámetros comerciales de las tuberías secundarias, laterales de riego, cantidad de accesorios se procedió con el desarrollo de la ejecución del proyecto como se evidencia a continuación.



a) Regulación de la compuerta de la captación de agua de riego.



b) Reservorio de almacenamiento de agua para fines de riego agrícola.



c) Conexión de tubería secundaria desde la tubería matriz primaria.



d) Ensamblado del arco de riego



e) Prueba hidráulica y presión del flujo de agua en la captación de tubería secundaria.



f) Registro de caudal en la entrada al sistema de riego.

### Fotografía 14. Captación de agua, ensamblado de tuberías y accesorios



a) Registro de presión con manómetro de glicerina 1/4", (0-16 BAR).



b) Medidor de agua de 32mm de chorro multiple.



c) Instalación de arco de riego, tuberías secundarias y terciarias.



d) Tubería terciaria con 06 válvulas



e) Tubería terciaria con 02 válvulas



f) Tubería terciaria sin válvulas

**Fotografía 15. Disposición de tubería terciaria con válvulas manuales**

#### **g. Determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU)**

Para calcular el coeficiente de uniformidad, se procedió aplicando la metodología de Keller y Karmeli (1974), para ello se contó con 16 personales técnicos y profesionales a quienes previamente se ha capacitado sobre la metodología; para medir la cantidad del agua recogida se ha utilizado probetas de 50ml y se registraron en ficha de resultados. Finalmente, los resultados del coeficiente de uniformidad se procesaron empleando la ecuación 6.



a) Tendido de las tuberías secundarias y terciarias en los tratamientos



b) Instalación de cintas de riego, con descarga 1.6 l/h en los tratamientos



c) Recepción de agua de los goteros seleccionados en vaso por 1.0 min.

d) Medición de agua en probetas y registro de los resultados en fichas.

**Fotografía 16. Trabajos de evaluación del Coeficiente de Uniformidad de riego**

**h. Evaluación de la formación de bulbo húmedo**

Teniendo el sistema de riego instalada, uno de los parámetros más importantes a evaluar para irrigar el cultivo es el tiempo que vamos controlar; entonces este variable se puede encontrar evaluando la formación del diámetro mojado y la profundidad del bulbo húmedo en el suelo, controlando a cada cierto tiempo establecido, y conociendo las características fisicoquímicas del suelo (Franco arenoso) y la capacidad de la descarga del gotero (1.6l/h).

Para este fin, se ha puesto en operación el sistema de riego, controlando los tiempos cada 15, 30 y 45 minutos, para luego medir las dimensiones del diámetro del suelo mojado y la profundidad alcanzada, empleando como instrumento la cinta métrica y las fichas de reporte para los resultados.



a) Operación de las cintas de riego con buena similitud y descarga del agua.



b) Calicata al sub suelo, para ver la profundidad del suelo mojado.



c) Calicata del suelo mojada, utilizando material badilejo para extraer tierra.



e) Medicion de los resultados de la formacion de bulbo humedecimiento del suelo.

**Fotografía 17. Evaluación del diámetro mojado y formación de bulbo húmedo en el suelo irrigada.**

**i. Actividades del cultivo de Arveja**

Una vez instalada el sistema de riego por goteo, previa determinación de los variables independientes de estudio, en los 09 tratamientos más el control o testigo en suelo llano, se ha realizado las actividades relacionadas del cultivo de arveja.

**i) Selección de semilla y fertilizantes**

La selección de semilla corresponde a la variedad de arveja Chinchucho, que se caracteriza por ser precoz y de buena aceptación comercial; asimismo, se ha comprado los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, para garantizar el plan de fertilización, según los requerimientos mínimos del cultivo de arveja.



**Fotografía 18. Semilla de arveja y productos agroquímicos para el cultivo**

## **ii) Surcado del terreno**

Esta actividad se realizó en forma manual, utilizando una estaca de madera perforando directamente a la dirección y altura de los goteros, para luego ser irrigados en forma diaria.



**Fotografía 19. Surcado del terreno para la siembra**

### **iii) Siembra de arveja**

La siembra de arveja variedad Chinchucho, se cultivó en una parcela privada ubicada en la comunidad de San Andrés de Yanacca, con localización indicada en el capítulo 4, en un piso altitudinal de 3,405msnm; las semillas se cultivaron a una densidad de 20cm entre planta y 60cm entre laterales, en un área de 4x4m = 16m<sup>2</sup> por tratamiento, en una extensión total de 160m<sup>2</sup>, ocupando un espacio experimental de 330 m<sup>2</sup>.



**Fotografía 20. Siembra de arveja variedad Chinchucho**

#### iv) Fertilización del suelo

En base al resultado de análisis químico del suelo y los requerimientos nutricionales para el cultivo de arveja, se desarrolló un plan de fertilización, empleando la dosis N-P-K-S-Mg (10.6 – 1 – 6.2 – 4.4 – 0.4 – 0.8), que representa en kilogramos a nitrógeno, fosforo, potasio, azufre y magnesio respectivamente.



**Fotografía 21. Pesado y homogenización de los fertilizantes**

En la siembra se aplicó el 60% de los fertilizantes directamente a las semillas, y el restante se ha utilizado durante el aporque; todo esto para evitar la toxicidad de la semilla y su muerte al momento de la germinación.

#### v) Riego diario del cultivo

El riego de la arveja se desarrolló en forma diaria, para ello se ha llevado una planilla de riego, para estimar la reposición del agua perdida durante el día, estimando con el método del tanque evaporímetro clase A y con el equipo anemómetro digital, por tanto, la aplicación del riego se realizó en tempranas horas de 7:30 AM,

con un tiempo promedio de 8 min de riego, el cual varía según el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo, ver anexo 5.



Fotografía 22. Riego del cultivo de arveja en las primeras semanas

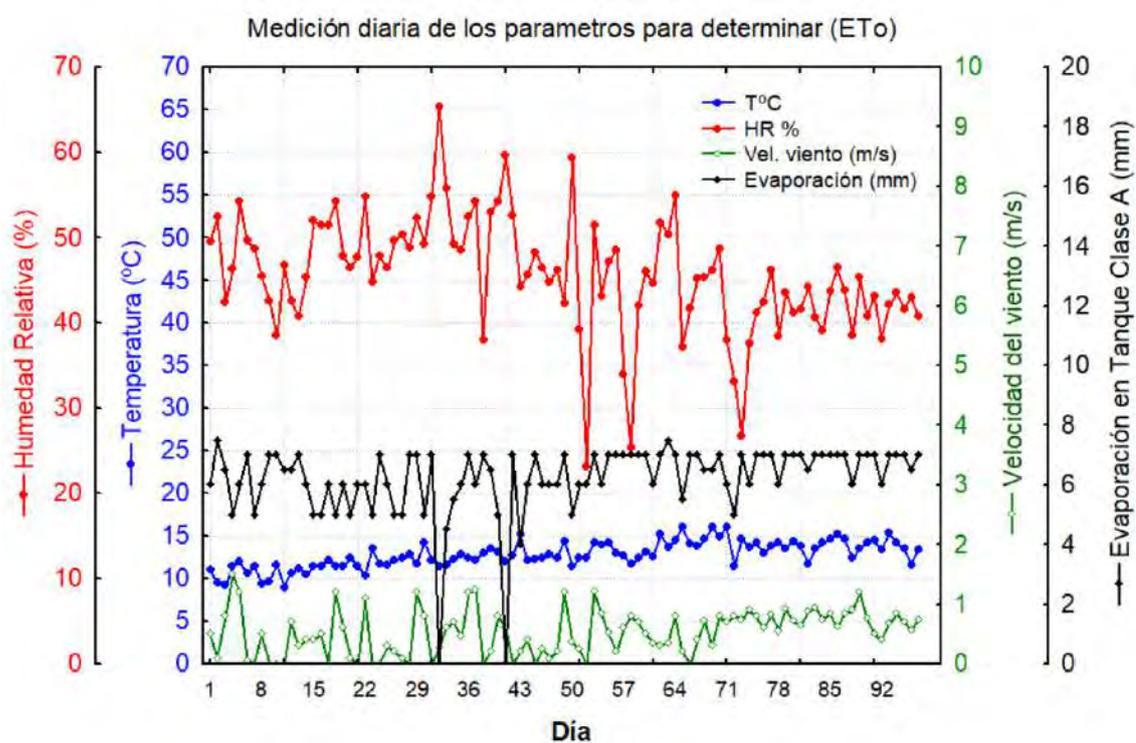
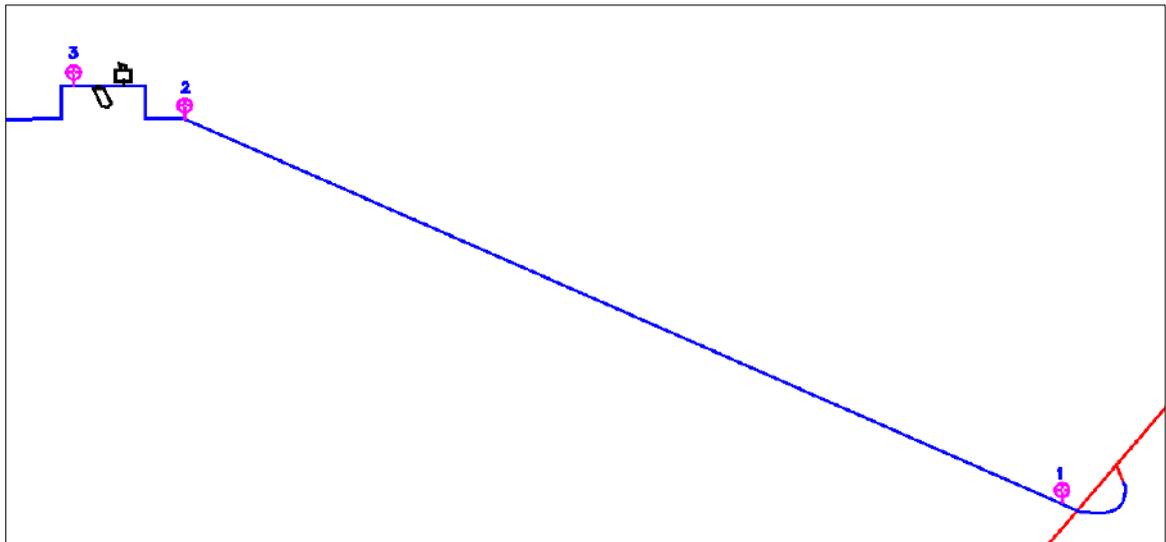


Figura 32. Comportamiento diario de parámetros hidrológicos y la evaporación de agua en el tanque clase A



**Fotografía 23. Manómetros instalados para evaluar la presión de flujo de agua en el sistema de riego**

Para el control de las presiones durante el funcionamiento del sistema de riego, se han instalado 03 manómetros en los siguientes puntos, inicio de la tubería principal, en la entrada del arco de riego y en la salida del mismo.



**Figura 33. Manómetros instalados en el sistema de riego**

Se reporta que la presión en la tubería matriz es de 30mca, y nuestra parcela experimental requirió de una presión total de 27.85mca. Por lo tanto, no fue necesario comprar una electrobomba para este sistema; ya que la presión en la tubería secundaria varió entre 18 – 22mca y en el arco de riego registro los

valores mayores a 20mca, con el cual se garantiza el sistema de riego y su uniformidad, ya que el lateral de riego más alejado requería una presión de operación 8.4mca.



**Fotografía 24. Riego del cultivo de arveja, durante el crecimiento inicial de la planta**

#### **vi) Control fitosanitario**

Para garantizar un crecimiento adecuado del cultivo de arveja, se empleó un foliar denominado Algamol elaborado a base de extracto de algas marinas que además contiene micronutrientes, se preparó en 15 Litros de agua más goma translaminar para fijar en las hojas de las plántulas.



**Fotografía 25. Aplicación de foliar a las plantas de arveja**

**vii) Aporque de las plantas**

Esta actividad se realizó con la finalidad de remover la tierra para dar oxigenación al suelo, asimismo se elimina extrayendo desde la raíz otras yerbas o plantas, con la finalidad de garantizar únicamente el crecimiento y desarrollo de las plantas de arveja.



**Fotografía 26. Trabajos de aporque a las plantas de arveja.**



**Fotografía 27. Plantas de arveja aporcadas.**

El aporque se realizó cuando la planta tenía una altura de 7 a 8 cm, se ha utilizado una herramienta pico, para facilitar la remoción del suelo agrícola.

**viii) Labores culturales y manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) en el cultivo de arveja**

Las actividades consistieron en la operación diaria del sistema de riego, manejo y el control fitosanitario del cultivo de arveja. La limpieza del filtro de anillas de 120mesh tipo Y, se realizó cada 7 días para garantizar la uniformidad en riego.



**Fotografía 28. Limpieza del filtro de anillas en el arco de riego**



**Fotografía 29. Determinación de evapotranspiración del cultivo y su riego diario.**

Las plantas de arveja variedad Chinchucho iniciaron su floración a los 50 días.



**Fotografía 30. Tutorado del cultivo de arveja.**

#### **ix) Cosecha**

La cosecha de arveja de la variedad Chinchucho en grano verde, se efectuó a los 97 días después de la siembra, los cultivares presentaron una producción de 12 – 16 vainas / planta; y las vainas tenían entre 6 a 9 granos /vaina, predominado en su mayoría de 8 granos por vaina.



**Fotografía 31. Momento ideal para la cosecha de arveja en grano verde para fines comerciales**



**Fotografía 32. Cosecha de arveja en vaina verde de todos los tratamientos**



**Fotografía 33. Cosecha de arveja en vaina verde de todos los tratamientos más el control.**

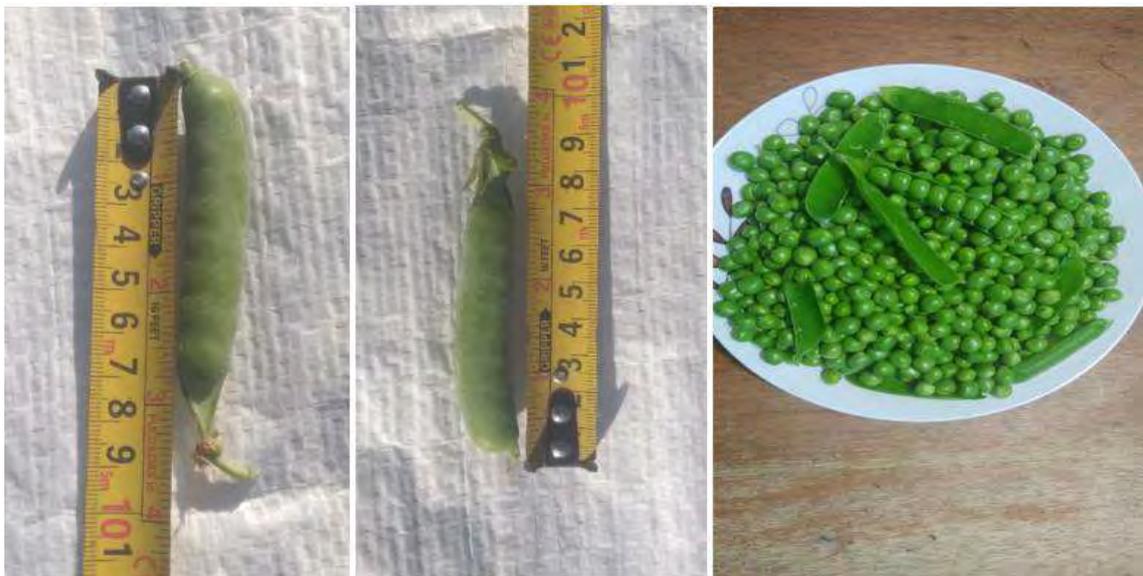
La caracterización física de la vaina y los granos de la arveja se realizaron tomando en consideración la norma técnica peruana para este producto.

**Tabla 11. Caracterización física de la vaina y granos de arveja cosechada.**

<b>Característica</b>	<b>Parámetros físicos</b>
<b>Generalidades</b>	Las vainas de arveja verde son característico de la variedad Chinchucho, sanos, bien formadas de color verde claro, libre de enfermedades y rasgos extraños.
<b>Inicio de floración</b>	50 días.
<b>Tiempo hasta cosecha</b>	97 días.
<b>Número de vainas por planta</b>	Varía entre 12 – 16 vainas / planta.
<b>Número de granos por vaina</b>	6 a 9 granos por vaina, predomina al 85% granos enteros de 8 granos/vaina.
<b>Color de la vaina</b>	Verde claro.
<b>Color del grano</b>	Verde brillante
<b>Tamaño de la vaina</b>	Largo: 6 – 7.5cm

<b>Característica</b>	<b>Parámetros físicos</b>
	Diámetro: 1.5 – 2cm
<b>Tamaño del grano</b>	Promedio: 8.6 – 10.2mm
<b>Llenado de vaina</b>	Con un mínimo de 90% de llenado de la vaina.
<b>Consistencia del grano</b>	Tiernos y consistentes, no harinosos, lisos y turgentes.

Fuente: Elaboración propia.



**Fotografía 34. Caracterización física de las vainas y granos de arveja verde**

#### **x) Rendimiento de arveja**

La cosecha de arveja de la variedad Chinchucho en grano verde, se efectuó a los 97 días después de la siembra, los cultivares presentaron una producción de 12 – 16 vainas / planta; y las vainas tenían entre 6 a 9 granos /vaina, predominado en su mayoría de 8 granos por vaina.



**Fotografía 35. Pesado de las arvejas con tres replicas.**

#### **4.8. Técnicas de análisis e interpretación de la información**

En la presente investigación se empleó el diseño experimental con un arreglo factorial de  $(3)^2$ , cuya matriz se describe en la Tabla 12.

**Tabla 12. Operacionalización de diseño factorial**

<b>Tratamiento</b>	<b>Pendiente del terreno</b>	<b>Disposición de tuberías terciarias</b>	<b>Respuesta</b>
T1	P1: 10%	TT1: 00 Válvulas	Resultado 1
T2	P1: 10%	TT2: 06 Válvulas	Resultado 2
T3	P1: 10%	TT3: 02 Válvulas	Resultado 3
T4	P2: 20%	TT3: 02 Válvulas	Resultado 4
T5	P2: 20%	TT1: 00 Válvulas	Resultado 5
T6	P2: 20%	TT2: 06 Válvulas	Resultado 6
T7	P3: 40%	TT2: 06 Válvulas	Resultado 7
T8	P3: 40%	TT3: 02 Válvulas	Resultado 8
T9	P3: 40%	TT1: 00 Válvulas	Resultado 9

Los resultados, se representarán a través de un análisis estadístico descriptivo, haciendo uso de resultados con tres repeticiones, empleando uso de tablas y gráficos de superficie respuesta de primer orden; cuyos datos serán procesados en el software Statistica versión en prueba.

#### **4.9. Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas**

En la investigación se plantea las siguientes hipótesis.

**Hipótesis Nula 1:  $H_{01}$ :** La variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias no presentan efecto significativo en el coeficiente de uniformidad.

**Hipótesis alterna 1:  $H_{a1}$ :** La variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias muestran efecto significativo en el coeficiente de uniformidad.

**Hipótesis Nula 2:  $H_{02}$ :** La variación de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias no presentan diferencia significativa en la formación de bulbo húmedo.

**Hipótesis alterna 2:  $H_{a2}$ :** La variación de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias presentan diferencia significativa en la formación de bulbo húmedo.

**Hipótesis Nula 3:  $H_{03}$ :** La variación de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias no afectan significativamente en los rendimientos del cultivo de arveja verde.

**Hipótesis alterna 3:  $H_{a3}$ :** La variación de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias afectan

significativamente en los rendimientos del cultivo de arveja verde.

Para probar la hipótesis, se aplicó el análisis de varianza (ANVA), para un nivel de significancia  $\alpha = 5\%$ ,  $\alpha = 0.05$  cuyo criterio es la siguiente:

→ **Si  $p < \alpha$** ; se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). Porque existe diferencia significativa.

Asimismo, para comparar la diferencia significativa entre los tratamientos, se aplicará la prueba de Tukey, al 5% de significancia.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados

#### 5.1.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

##### 5.1.1.1. Procesamiento, análisis e interpretación de la composición fisicoquímica del suelo agrícola

La investigación inició con la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del suelo agrícola de la parcela seleccionada, y es una tarea conocer la composición fisicoquímica del suelo, para saber que elementos químicos es alto o pobre y así realizar un plan de fertilización para el cultivo seleccionado.

**Tabla 13. Composición fisicoquímica del suelo agrícola**

Parámetro	Unidad	Pendiente de terreno 10%	Pendiente de terreno 20%	Pendiente de terreno 40%
pH en agua	Und. pH	7.24	7.26	7.29
Conductividad Eléctrica CE 25°C	uS/cm	222.80	151.80	135.20
Densidad Aparente	g/mL	1.35	1.31	1.22
Carbonatos CaCO <sub>3</sub>	% p/p	0.66	1.24	1.20
Materia Orgánica (MO)	% p/p	2.42	1.63	2.55
Nitrógeno Total (N)	mg/kg	1,208.00	816.00	1,273.00
Fósforo Disponible (P)	mg/kg	84.71	33.25	35.12
Potasio Disponible (K)	mg/kg	251.74	148.82	103.25
Hierro, Fe	mg/kg	6.10	6.63	5.70
Cobre, Cu	mg/kg	0.63	1.33	1.47
Manganeso, Mn	mg/kg	39.02	34.85	35.74
Zinc, Zn	mg/kg	1.27	0.46	0.54
Arena	%	67.51	65.03	55.02
Arcilla	%	19.99	19.99	27.49

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Pendiente de terreno 10%</b>	<b>Pendiente de terreno 20%</b>	<b>Pendiente de terreno 40%</b>
Limo	%	12.50	14.99	17.49
Textura	Sin Unid.	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcillo Arenoso

Fuente: Resultados analizados en el laboratorio SLAB S.A.C.

Garrido (1994), señala que el pH del suelo normal oscila desde 6.5 – 7.5, ya que las plantas presentan su mejor desarrollo en valores cercanos a la neutralidad. Por consiguiente, en nuestra investigación, las parcelas evaluadas presentan valores de 7.24 – 7.29 y podemos decir que son aptas para el cultivo de plantas. Por otro lado, laboratorio AGROLAB precisa que en suelos ácidos la eficiencia de los fertilizantes disminuye.

La conductividad eléctrica, mide en forma indirecta la cantidad de sales que contiene un suelo; valores < 500 uS/cm indica un buen desarrollo de las plantas. Este parámetro en las parcelas de investigación tuvo valores inferiores a 222.8 uS/cm, donde nos indica que los terrenos son aptos para la siembra de un cultivo.

El suelo presenta bajo contenido en hierro, cobre, zinc, aluminio; valores medios en manganeso, calcio, magnesio, fosforo, nitrógeno y valores altos en potasio; de esta forma, con la aplicación de un plan de fertilización garantiza el desarrollo fisiológico de una planta.

Interpretando los resultados de los análisis químicos de las muestras del suelo agrícola, estos presentan valores de bajo, medio y alto en contenido de macronutrientes, concluyéndose que es un suelo agrícola medio fértil,

sin embargo, se deberá complementar los macro y microelementos necesarios según el requerimiento nutricional para el cultivo de arveja.

**Tabla 14. Resultados de parámetros hídricos del suelo agrícola**

Parámetro	Unidad	Pendiente de terreno 10%	Pendiente de terreno 20%	Pendiente de terreno 40%
Capacidad de Campo	%	31.00	31.67	34.33
Punto de Marchitez	%	17.94	18.43	20.41

Fuente: Resultados analizados en el laboratorio SLAB S.A.C.

#### 5.1.1.2. Análisis, interpretación de los resultados de análisis fisicoquímico del agua de riego

Para instalar un sistema de riego, es necesario conocer la composición fisicoquímica del agua de riego, conocer si están dentro de los límites permisibles para fines agrícolas, si contiene metales pesados, concentración de sales, cal y sustancias orgánicas, en base a ello se determina el tipo de filtro, cintas de riego, tipo de gotero, etc.

**Tabla 15. Composición fisicoquímica del agua de riego**

Parámetro	Unidad	Resultado *	ECA-Riego vegetales**	Valores normales **
pH	Unid. pH	7.06	6,5 – 8,5	6 – 8.5
Conductividad eléctrica	uS/cm	146.10	2,500	0 – 3,000
Bicarbonatos	mg/L	38.26	518	0 – 600
Carbonatos	mg/L	<0.01		0 – 3
Cloruros	mg/L	<0.01		0 – 1,100
Sulfatos	mg/L	5.91	1,000	0 – 960

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado *</b>	<b>ECA-Riego vegetales**</b>	<b>Valores normales **</b>
Nitratos	mg/L	<0.01	100	0 – 10
Fosfatos	mg/L	<0.01		0 - 2
Dureza Total, mgCaCO3/L	mg/L	59.05		

Fuente: \* Resultados obtenidos en SLAB S.A.C.; \*\* Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua; \*\*\* Valores reportados por Mendoza (2013).

En la tabla 15, se tiene la composición fisicoquímica del agua, además comparando con los valores reportados por MINAM (2017) y Mendoza (2013), podemos señalar que la calidad del agua se encuentra dentro de los parámetros normales y es apta para su aplicación en el riego del cultivo de arveja.

**Tabla 16. Metales del agua de riego analizado**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultados *</b>	<b>ECA-Riego de vegetales**</b>	<b>Valores normales ***</b>
Calcio, Ca	mg/L	44.49		0 – 400
Cobre, Cu	mg/L	0.18	0.2	0 – 0.20
Hierro, Fe	mg/L	0.78	5	0 – 5
Potasio, K	mg/L	0.92		0 – 2
Magnesio, Mg	mg/L	3.23		0 – 60
Manganeso, Mn	mg/L	0.16	0.2	0 – 0.2
Sodio, Na	mg/L	11.70		0 – 920
Zinc, Zn	mg/L	0.08	2	0 – 2

Fuente: \* Resultados obtenidos en SLAB S.A.C.; \*\* Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua; \*\*\* Valores reportados por Mendoza (2013).

En cuanto a la presencia de metales en el agua de riego, podemos señalar que la calidad se encuentra dentro de las concentraciones máximas permisibles reportados por MINAM (2017) y Mendoza (2013) y es apta para su aplicación en el riego agrícola.

**Tabla 17. Metales tóxicos de agua de riego evaluado**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de ensayo</b>	<b>Resultados *</b>	<b>Concentración máxima permisible en agua para riego **</b>
Arsénico, As	mg/L	EPA METHOD 200.7	<0.002	0.10
Cromo, Cr	mg/L	(Determination of Metals and Trace	<0.0003	0.10
Mercurio, Hg	mg/L	Elements in Water and Wastes by	<0.001	0.001
Plomo, Pb	mg/L	Inductively Coupled Plasma-Atomic	<0.002	0.05
Antimonio, Sb	mg/L	Emission Spectrometry)	<0.002	0.64

Fuente: \* Resultados analizados en el laboratorio SLAB S.A.C.

\*\* Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

En la tabla 17, se puede apreciar que los metales tóxicos analizados en las muestras de agua de riego presentan valores muy inferiores del máximo permisible establecido por el Estado Peruano en Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua; por tanto, el agua evaluada para fines agrícolas es de excelente calidad para su aplicación en el cultivo de arveja.

### 5.1.1.3. Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados de Coeficiente de Uniformidad (CU)

El CU se determinó con la metodología de Keller y Karmeli (1974) para todos los tratamientos, en la siguiente fotografía se presenta evidencia fotográfica.



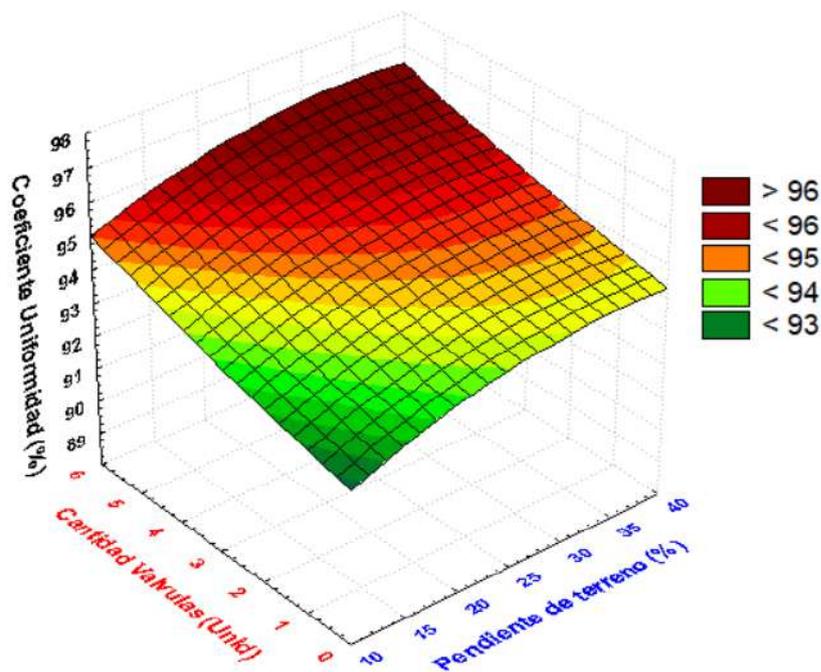
**Fotografía 36. Actividades de evaluación del Coeficiente de Uniformidad**

Las cantidades de agua recogidas se midieron en probetas de capacidad de 50ml, los valores registrados se procesaron en hoja Excel empleando la fórmula de la ecuación 6 y los resultados finales se reportan en la tabla 18.

**Tabla 18. Resultados del Coeficiente de Uniformidad (Cu)**

Factores		Niveles								
		10%			20%			40%		
1. Pendiente de Terreno (%)										
2. Cantidad Válvulas (unid)		0	2	6	0	2	6	0	2	6
Tratamientos		T1	T3	T2	T5	T4	T6	T9	T8	T7
Resultados de CU (%)	1	92.13	92.00	94.12	93.33	92.28	95.65	93.94	96.36	95.75
	2	93.09	94.87	95.55	94.51	94.78	96.74	93.66	95.70	95.94
	3	93.31	92.21	95.62	93.59	95.22	96.00	94.12	94.26	97.20
Promedio ( $\bar{x}$ )		<b>92.84</b>	<b>93.03</b>	<b>95.10</b>	<b>93.81</b>	<b>94.09</b>	<b>96.13</b>	<b>93.91</b>	<b>95.44</b>	<b>96.30</b>

En base al diseño y la instalación del sistema de riego por goteo en las parcelas experimentales, se reporta que, el caudal ingresa por la parte alta de las subunidades de riego que tiene un 40% de pendiente; razón por el cual, la uniformidad en estos tratamientos T7, T8 y T9 son parcialmente homogéneas que otras parcelas con pendiente de 20% y 10%. Este comportamiento hidráulico, según la ecuación de Hazen Williams, Darcy Weisbach y otros, la pérdida de carga ( $H_f$ ) es independiente de la posición de la tubería y la presión interna bajo el cual circula el agua, donde nos indica que, las instalaciones de riego en pendientes pronunciadas se pueden aplicar normalmente bajo condiciones de un diseño adecuado.



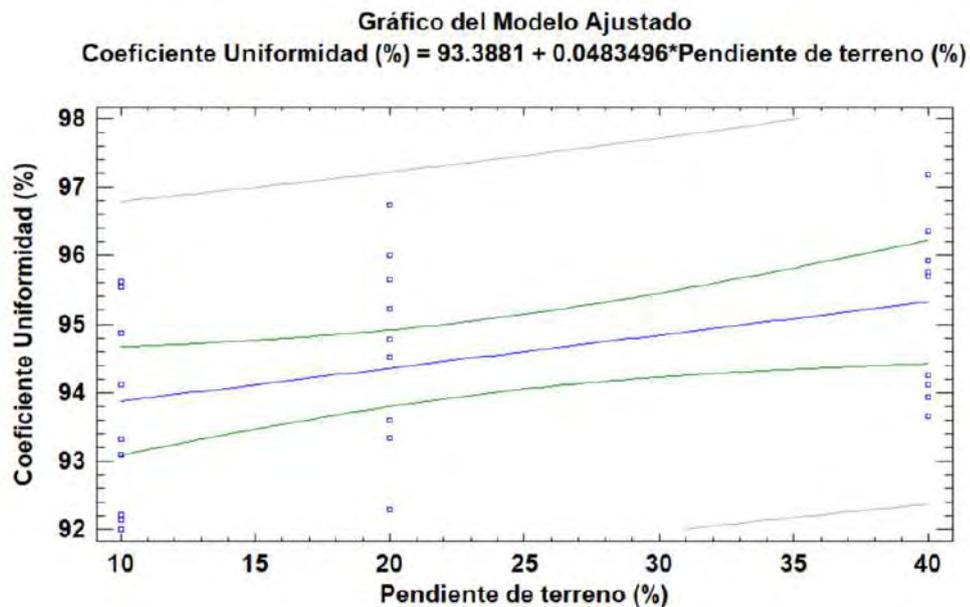
**Figura 34. Superficie respuesta del Coeficiente de Uniformidad**

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

En la figura 34, indica que la mayor uniformidad de riego se desempeñó en el tratamiento T7, parcela con una pendiente de 40% con la instalación de 6 válvulas manuales en la tubería terciaria.

Sin embargo, de acuerdo a los principios de Bernoulli, podemos apreciar que las parcelas de riego instaladas a una distancia más abajo, tienden a disminuir mínimamente el coeficiente de uniformidad de riego, esto se debe a que, el caudal y la presión van disminuyendo proporcionalmente, según las subunidades de riego existentes en el sistema.

Además, podemos apreciar que todos los tratamientos superan valores de CU > 92%, donde según Merriam y Keller (1978) estos valores se califican como: buena para (CU = 85% a 95%) y excelente para CU > 95%; de esta forma el sistema de riego por goteo instalado en el campo experimental tendría un calificativo de bueno a excelente.

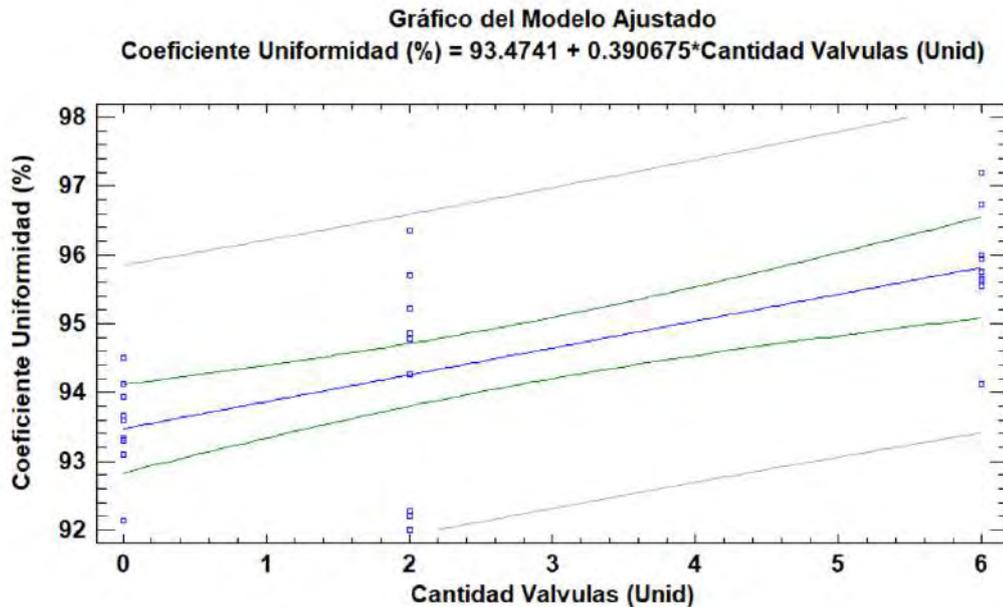


**Figura 35. Correlación de la pendiente del terreno y el coeficiente de uniformidad**

(Resultado obtenido con software Statgraphics XVI.I)

Según el gráfico anterior, se interpreta que, la variación de la pendiente del terreno de 10% al 40% influye mínimamente en forma positiva sobre el

coeficiente de uniformidad de riego, el valor de  $r = 0.4169$ , indica una relación relativamente débil entre las variables.

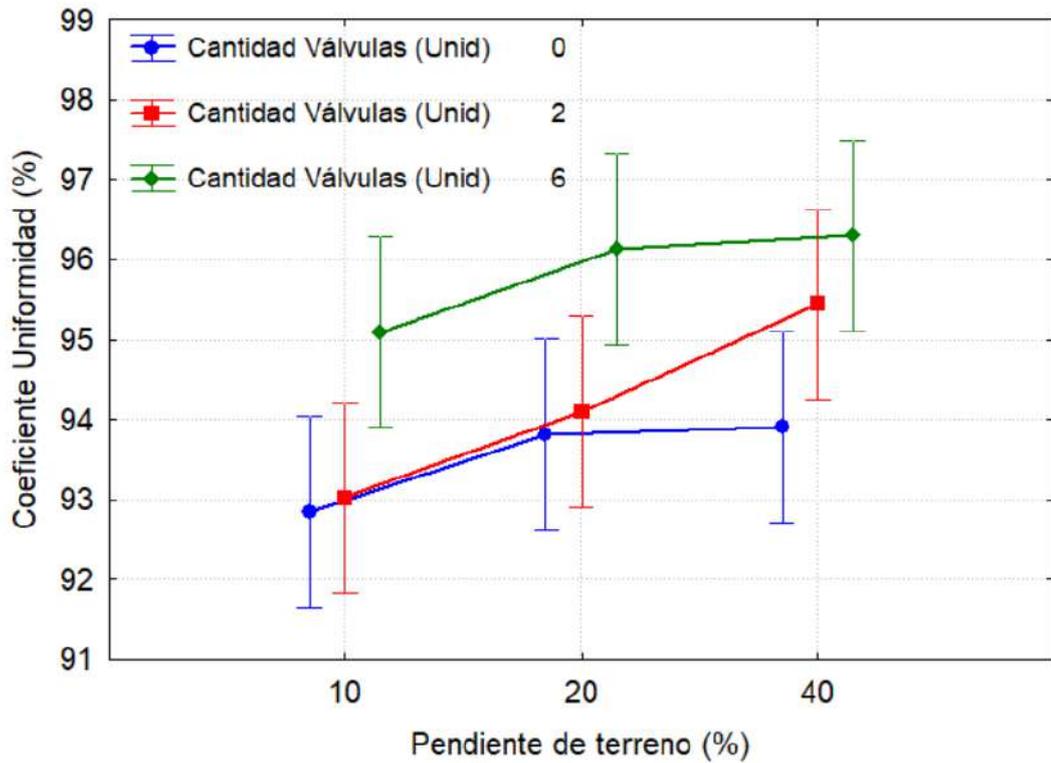


**Figura 36. Correlación de la cantidad de válvulas en la tubería terciaria y el coeficiente de uniformidad**

(Resultado obtenido con software Statgraphics XVI.I)

La disposición de válvulas en tuberías terciarias influye positivamente en el coeficiente de uniformidad de riego, el valor de  $r = 0.6736$ , indica una relación moderadamente fuerte entre las variables. Es decir, a mayor instalación de válvulas en las tuberías terciarias se mejora la uniformidad de riego.

La interacción de las variables, representa que, a mayor pendiente de terreno y a mayor instalación de válvulas en las tuberías terciarias, se puede mejorar la uniformidad de riego por goteo. Es decir, en parcela con 40% de pendiente al insertar 06 válvulas en las tuberías terciarias, se puede controlar la uniformidad de riego.



**Figura 37. Efecto de la interacción de las variables sobre el coeficiente de uniformidad.**

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

#### **5.1.1.4. Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados de la formación de bulbo húmedo**

Para realizar los estudios, se ha puesto en operación el sistema de riego, controlando el tiempo a los 15, 30 y 45 minutos, para luego medir el diámetro del suelo mojado y la profundidad de bulbo húmedo generado por los goteros de cinta de riego.



Diámetro del suelo mojado  
( $\Phi = 16\text{cm}$ )



Profundidad de bulbo húmedo  
( $h = 26\text{cm}$ )

**Fotografía 37. Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 20% a un tiempo de irrigación por 30 minutos.**

**Tabla 19. Resultados del radio de suelo mojado (tiempo de irrigación 30min)**

Factores		Niveles								
		10%			20%			40%		
1. Pendiente de Terreno (%)										
2. Cantidad Válvulas (unid)		0	2	6	0	2	6	0	2	6
Tratamientos		T1	T3	T2	T5	T4	T6	T9	T8	T7
Radio del suelo mojado (cm)	1	8.00	7.80	8.00	8.00	8.20	8.50	8.00	8.50	8.00
	2	8.20	8.00	8.10	8.30	8.30	8.40	8.30	8.40	8.40
	3	8.00	8.10	7.90	8.20	8.50	8.20	8.40	8.30	8.30
Promedio ( $\bar{x}$ )		<b>8.07</b>	<b>7.97</b>	<b>8.00</b>	<b>8.17</b>	<b>8.33</b>	<b>8.37</b>	<b>8.23</b>	<b>8.40</b>	<b>8.23</b>

En la figura 38, se muestra el valor óptimo del radio de suelo mojado con 8.4cm al aplicar una irrigación por 30 minutos, cuando el sistema operaría en una parcela con pendiente de 30% y se insertara 03 válvulas manuales en las tuberías terciarias, todo esto, bajo las situaciones propuestas del diseño geométrico e hidráulico en la presente investigación.

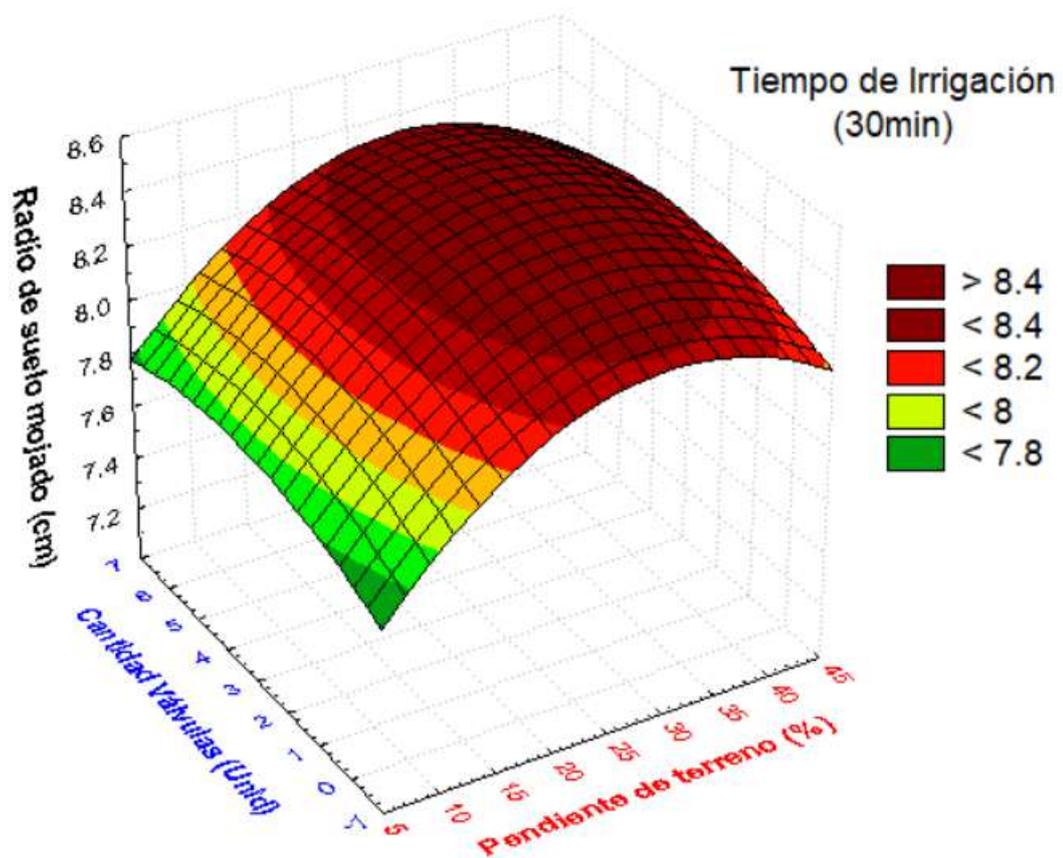
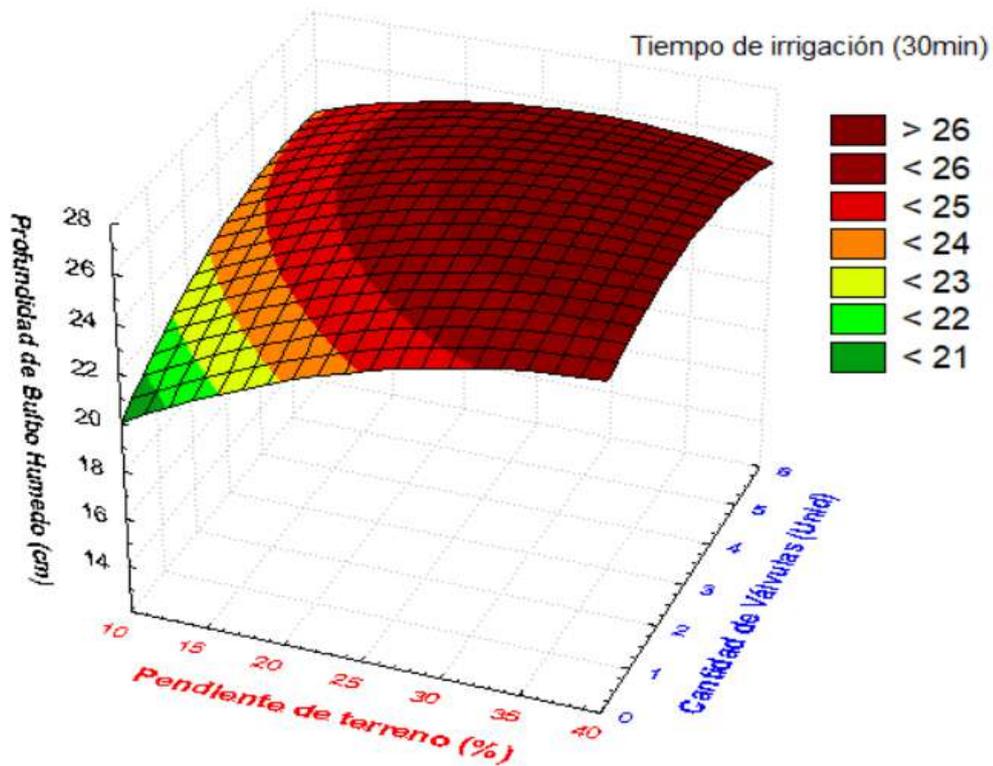


Figura 38. Resultado de superficie respuesta para el radio de suelo mojado.

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

Tabla 20. Resultados de profundidad de bulbo húmedo (tiempo de irrigación 30min)

Factores	Niveles									
	10%			20%			40%			
1. Pendiente de Terreno (%)										
2. Cantidad Válvulas (unidad)	0	2	6	0	2	6	0	2	6	
Tratamientos	T1	T3	T2	T5	T4	T6	T9	T8	T7	
Profundidad de Bulbo Húmedo (cm)	1	20.00	23.00	23.50	22.50	25.00	26.00	26.20	26.00	25.00
	2	20.20	22.80	23.20	22.20	24.80	25.70	26.00	25.80	25.20
	3	20.10	22.80	23.40	22.30	25.10	25.80	25.80	26.20	24.80
Promedio ( $\bar{x}$ )	20.10	22.87	23.37	22.33	24.97	25.83	26.00	26.00	25.00	



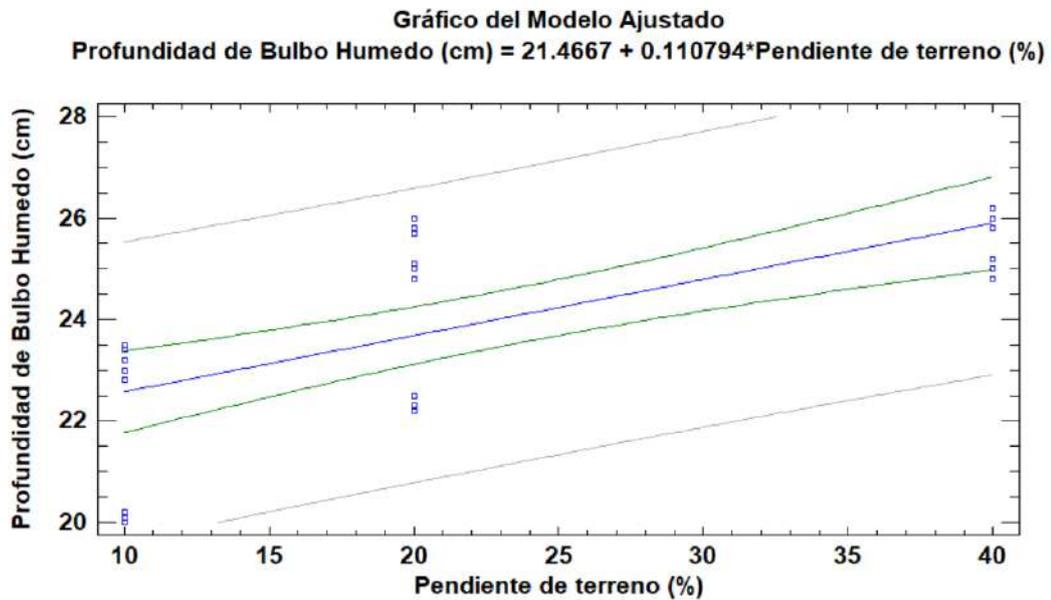
**Figura 39. Resultado de superficie respuesta para la profundidad de Bulbo Húmedo**

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

En cuanto al resultado de la profundidad del bulbo húmedo, según la tabla 20 y la figura 39, interpretamos que, a mayor pendiente de terreno y a mayor cantidad de instalación de válvulas en las tuberías terciarias, se obtiene la máxima profundidad que llega hasta 26cm bajo el subsuelo, con un tiempo de irrigación por 30 minutos.

Esta profundidad de 26cm en la parcela experimental con pendiente de 40%, se debe a que, este sector presenta un suelo de textura franco arcillo arenoso, además en la parcela se tenía la presencia de pequeñas piedras en un aproximado de 35 a 40% del total de suelo agrícola.

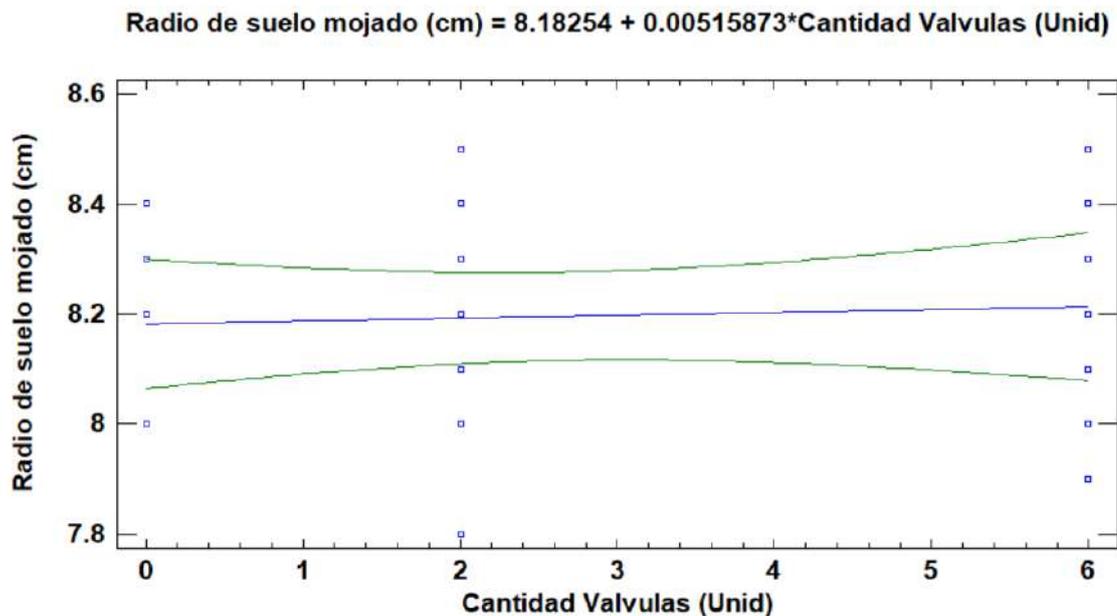
Finalmente, esta característica del suelo, proporciona una mayor velocidad de infiltración del agua al subsuelo.



**Figura 40. Correlación de la pendiente del terreno y la profundidad de bulbo húmedo**

(Resultado obtenido con software Statgraphics XVI.I)

Según la figura 40, la variación de la pendiente del terreno de 10% al 40% influye en forma positiva sobre la profundidad de bulbo húmedo, con un valor de  $r = 0.7205$ , indica una relación moderadamente fuerte entre las variables.



**Figura 41. Correlación de la cantidad de válvulas instaladas sobre el radio de suelo mojado**

(Resultado obtenido con software Statgraphics XVI.I)

El valor de  $r = 0.06589$ , indica una relación relativamente débil entre las variables. Es decir, la instalación de válvulas en tuberías terciarias; no influye sobre el radio de suelo mojado.

#### **5.1.2. Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados del rendimiento del cultivo de arveja**

Se determinó por el método gravimétrico utilizando una balanza digital de 2.0 decimales de precisión. Se pesó la cantidad de vainas por planta cosechada, y teniendo los datos de la densidad de siembra entre plantas por  $1.0\text{m}^2$ ; se proyectó para  $1.0\text{ha}$ , que equivale a  $10\,000\text{m}^2$ , logrando así obtener los rendimientos de arveja verde en t/ha para cada tratamiento.

Tabla 21. Resultados del rendimiento de arveja en grano verde (t/ha)

Factores		Niveles								
		10%			20%			40%		
1. Pendiente de Terreno (%)		10%			20%			40%		
2. Cantidad Válvulas (unid)		0	2	6	0	2	6	0	2	6
Tratamientos		T1	T3	T2	T5	T4	T6	T9	T8	T7
Rendimiento de arveja verde (TM/Ha)	1	8.63	11.25	7.13	4.50	4.50	4.50	6.38	6.00	6.00
	2	8.63	11.63	10.13	5.63	5.85	4.88	5.25	6.38	6.38
	3	11.25	9.38	9.75	5.63	5.85	4.13	5.63	5.63	6.00
Promedio ( $\bar{x}$ )		9.50	10.75	9.00	5.25	5.40	4.50	5.75	6.00	6.13

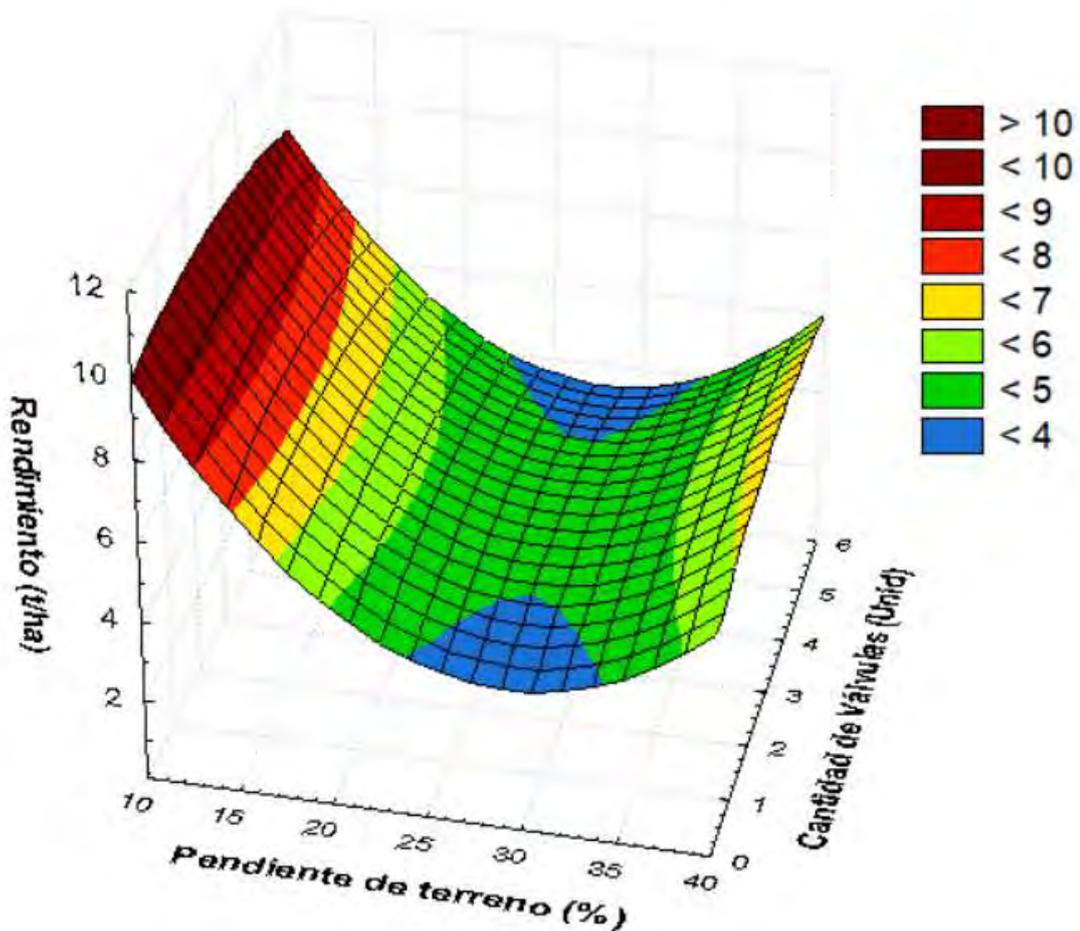
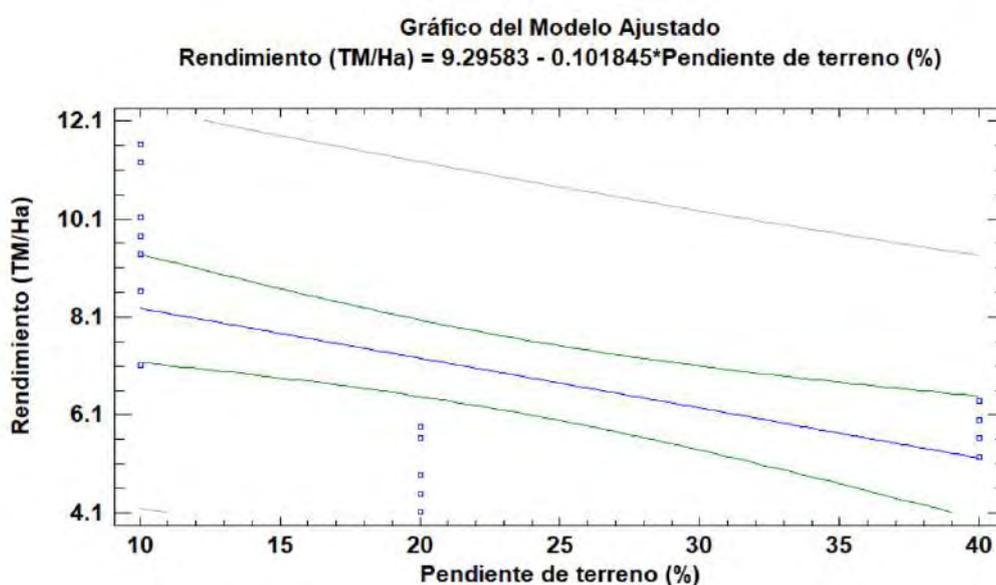


Figura 42. Resultado de superficie respuesta para el rendimiento de cultivo de arveja

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

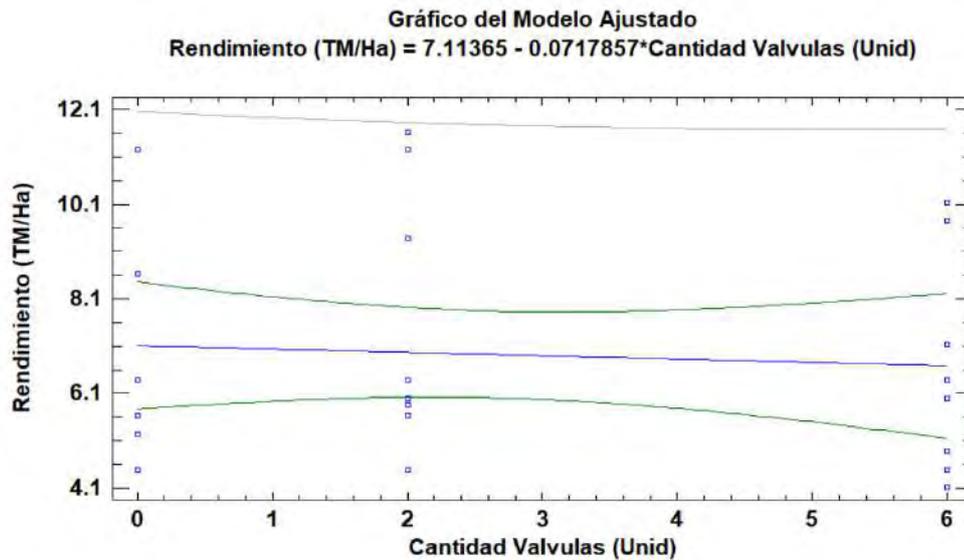
Según la tabla 21 y figura 42, interpretamos que los mejores rendimientos del cultivo de arveja en grano verde de la variedad Chinchucho, fueron 10.75 t/ha en el tratamiento (T3) parcela con una pendiente de terreno de 10% con instalación de 02 válvulas en las tuberías terciarias; seguido con 9.50 t/ha en el tratamiento (T1) parcela con una pendiente de terreno de 10% sin instalación de válvulas en las tuberías terciarias.



**Figura 43. Correlación de la pendiente de terreno y el rendimiento de arveja**

(Resultado obtenido con software Statgraphics XVI.I)

Según la figura 43, interpretamos que la variación de la pendiente del terreno de 10% al 40% influye negativamente sobre el rendimiento de arveja, con un valor de  $r = -0.5689$ , que indica una relación moderadamente fuerte entre las variables.



**Figura 44. Correlación de la cantidad de válvulas instaladas en las tuberías terciarias y el rendimiento de arveja**

En la figura 44, indica que la disposición de válvulas manuales en tuberías terciarias no influye en el rendimiento, el valor de  $r = -0.08019$ , indica una relación débil entre las variables.

### 5.1.3. Discusiones

En cuanto al coeficiente de uniformidad de riego (CU), todos los tratamientos superan un  $CU > 92\%$ ; donde, Merriam y Keller (1978) califican este parámetro como: buena desde ( $CU=85\%$  a  $95\%$ ) y excelente para  $CU > 95\%$ ; de esta forma el sistema de riego por goteo instalado en el campo experimental tendría un calificativo desde bueno a excelente.

Bedoya et al. (2018) para pendiente 3% reportó un  $CU=90.42\%$  y para pendiente -3% un  $CU=90.92\%$ . Asimismo, Gavilán et al. (2018) evaluaron el efecto de la pendiente sobre la calidad del riego;

demonstraron que a mayores de 70m con una pendiente ligeramente ascendente <2% empleando cintas de riego de 16mm determinó un CU=85%. Por otro lado, Canovas et al., (2015) evaluaron en pendientes de terreno desde 0 a 5%, tanto en sentido ascendente como descendente; los resultados para un terreno normal fue CU=95% y para pendiente 5% un CU=84.8%. Nuestro sistema de riego por goteo instalado en parcelas con tres pendientes de terreno al 10%, 20% y 40% tuvieron valores de CU>92%; ya que las instalaciones corresponden a áreas pequeñas de 330m<sup>2</sup> y por ello resulta una eficiencia de riego con una valoración desde buena a excelente.

Las pérdidas de presión fueron estudiadas en un terreno normal por Ángeles y otros (2007), donde indican que, la pérdida de carga por fricción en una tubería con salidas múltiples en toda su longitud será menor que la pérdida de carga por fricción en una tubería simple sin salidas. Por otro lado, Royuela A. (1998) señala que las pérdidas de carga ( $h_f$ ) se deben a la perturbación del flujo que se produce en la toma (contracción-expansión y derivación de caudal) y concretamente son los Reynolds (Re) existente en las tuberías terciarias, y también influye la geometría de conexión. Por su parte, Ángeles Hernández et al. (2002) indican que las pérdidas en carga localizadas se deben a la vorticidad y turbulencia provocada por los accesorios propios de la red. Sin embargo, en esta investigación se apreció que, en terrenos con pendientes pronunciadas, las pérdidas de carga en las tuberías terciarias se pueden omitir, ya que, por el desnivel de terreno, la presión se compensa y en parcelas experimentales de áreas menores a

1,000m<sup>2</sup> influye mínimamente sobre el coeficiente de uniformidad de riego.

Los autores como, Lozano y Gavilán (2018) al evaluar la uniformidad de distribución del riego localizado en parcelas con pendiente de 3%, mencionan que los resultados varían en función de la duración del pulso de riego; es decir, esto ocurre como consecuencia de la influencia que tienen la duración de las fases de llenado y vaciado en el sistema de riego. Este comportamiento hidráulico, en nuestra investigación ha sido observado visualmente, específicamente en las parcelas con pendientes de 40% las fases de llenado y vaciado se producían en forma inversa, que se realiza en un terreno llano; es decir, los laterales (cintas de riego) primero se llenaban de agua en la parte baja y el vaciado en la parte alta.

En las parcelas experimentales con pendientes de 10, 20 y 40%, el tipo de suelo vario desde franco arenoso a franco arcillo arenoso y además la parcela con pendiente de 40% en su composición contenía pequeñas piedras de 35 a 40% del total de suelo agrícola; proporcionando así una mayor velocidad de infiltración del agua al subsuelo respecto a las otras parcelas; variando así los resultados de la profundidad de bulbo húmedo desde 20 a 26cm, irrigadas con cintas de 1.6l/h por 30min. Sin embargo, Quispe (2014) en su proyecto de investigación de riego por goteo, reportó que la profundidad de bulbo húmedo fue de 8.0cm, en una parcela llana irrigado con cintas de 1.6l/h por 30min, que correspondía a un tipo de suelo arcilla arenoso. Finalmente, se comprueba que la formación de bulbo húmedo,

depende del tipo de suelo como indica Monge (2018). Asimismo, Las formas y dimensiones fueron sustentadas por Gil-Marín, J. (2001) donde describe, que, cuando se incrementa el volumen de agua aplicado la humedad avanzará tanto en la profundidad como en diámetro del suelo, aumentando por supuesto el volumen de suelo mojado.

Por otra parte, Arragan T. F., Chipana R. R. (2015) reportó que el diámetro del suelo mojado fue de 11cm irrigado con cinta de riego de 1.0l/h en 1h, donde evaluó en un suelo sin roturación y desmenuzado; en sus conclusiones describe que el movimiento del agua es lento en la zona no saturada del bulbo húmedo, porque la segunda capa del suelo retrasa la infiltración e impide el avance sobre la profundidad, llegando solo hasta 28cm en 8h. Esta variación de resultados con nuestra investigación, se debe, porque las condiciones evaluadas son distintas en el terreno, tipo de suelo; por otra parte, nuestras parcelas experimentales fueron previamente roturadas, desmenuzadas y el terreno era suave hasta una profundidad de 30cm.

Cruz-Bautista y otros (2015) determinaron un modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento, y señalan que este parámetro depende del volumen de agua aplicada, caudal del emisor, conductividad hidráulica saturada, contenido de humedad inicial y residual del suelo, y contenido de limo en el suelo. Por tanto, en esta investigación se ha observado que efectivamente dichos parámetros influyen en los resultados, especialmente en terrenos con pendientes

mayores a 20%, donde la formación del bulbo húmedo presentó un diámetro de forma elíptica elongada.

El cultivo de arveja con mayor rendimiento se demostró en la parcela experimental con una pendiente 10% instalados con y sin válvulas en las tuberías terciarias, los rendimientos variaron desde 9.0 a 10.75 t/ha; y estos valores son cercanos a los reportados por Machaca (2018) en su investigación del cultivo de arveja variedad chinchucho, quien obtuvo desde 9.8 - 13.8 t/ha. Por otra parte, Quispe (2014) en su trabajo reportó el rendimiento de arveja en grano verde 12.79 t/ha, irrigadas con cintas de riego a 1.6 l/h; por lo tanto, estos resultados también son cercanas a nuestro resultado de 10.75 t/ha. En tanto, Evaristo (2020) evaluó el efecto del rendimiento del cultivo de arveja variedad quantum y reportó 10.27 t/ha, este valor es muy cercano a nuestro resultado.

En cuanto a los tratamientos con menor rendimiento fueron las parcelas experimentales con una pendiente 20% instalados con y sin válvulas en las tuberías terciarias, los rendimientos variaron desde 4.50 a 5.40 t/ha. Vale mencionar que, en un ensayo comparativo del rendimiento de cinco cultivares de arveja desarrollado por Rojas y Cuadros (2015) en la región Huancavelica, obtuvieron rendimientos en la variedad blanca: 4.13 t/ha, variedad churcampa: 9.1 t/ha y la variedad remate 4.59 t/ha. Los resultados de la parcela con pendiente de 20% se aproximan a los cultivares de la variedad blanca y remate, esto posiblemente a que las características de la composición del suelo sean similares en ambos casos.

## 5.2. Pruebas de hipótesis

**Hipótesis Nula 1:  $H_{01}$ :** La variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias no presentan efecto significativo en el coeficiente de uniformidad.

**Hipótesis alterna 1:  $H_{a1}$ :** La variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias muestran efecto significativo en el coeficiente de uniformidad.

**Tabla 22. ANVA para Coeficiente de Uniformidad (%)**

Effect	SS	Grados de Libertad	MS	F	p	$\alpha$	Signific.
Pendiente de terreno (%)	11.3	2	5.6	5.8	0.0111	> 0.05	**
Cantidad de válvulas (Unid)	25.7	2	12.8	13.3	0.0003	> 0.05	**
Pendiente de terreno (%) * Cantidad de válvulas (Unid)	2.1	4	0.5	0.5	0.7060	< 0.05	N.S
Error	17.4	18	1.0				

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

Según los resultados de análisis de varianza tipo factorial, la variación de pendiente del terreno y la cantidad de válvulas insertadas en las tuberías terciarias presentan efecto significativo sobre la uniformidad del riego; sin embargo, la interacción entre estas variables no presenta un efecto significativo.

Para determinar estadísticamente entre que grupos presentan diferencias significativas, se procedió a realizar la prueba de Tukey, con una significancia  $\alpha$ : 5%, y los resultados demuestran que al menos uno de las muestras difieren de los otros.

**Tabla 23. Prueba de Tukey para Coeficiente de Uniformidad (%)**

Pendiente de terreno (%)	Cantidad de válvulas (Unid)	{1} 92.845	{2} 93.026	{3} 95.095	{4} 93.812	{5} 94.095	{6} 96.131	{7} 93.906	{8} 95.440	{9} 96.295
Pendiente 10%	0 válvulas		1.000	0.182	0.945	0.815	0.015	0.912	0.084	0.010
Pendiente 10%	2 válvulas	1.000		0.262	0.983	0.909	0.024	0.968	0.127	0.016
Pendiente 10%	6 válvulas	0.182	0.262		0.795	0.935	0.922	0.851	1.000	0.844
Pendiente 20%	0 válvulas	0.945	0.983	0.795		1.000	0.157	1.000	0.546	0.109
Pendiente 20%	2 válvulas	0.815	0.909	0.935	1.000		0.279	1.000	0.753	0.202
Pendiente 20%	6 válvulas	0.015	0.024	0.922	0.157	0.279		0.192	0.993	1.000
Pendiente 40%	0 válvulas	0.912	0.968	0.851	1.000	1.000	0.192		0.616	0.135
Pendiente 40%	2 válvulas	0.084	0.127	1.000	0.546	0.753	0.993	0.616		0.973
Pendiente 40%	6 válvulas	0.010	0.016	0.844	0.109	0.202	1.000	0.135	0.973	

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

Por tanto, se acepta la Hipótesis alterna ( $H_{a1}$ ), debido a que la variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias presentan efecto significativo sobre el Coeficiente de Uniformidad de riego.

**Hipótesis Nula 2: ( $H_{02}$ )** La variación de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias no presentan diferencia significativa en la formación de bulbo húmedo.

**Hipótesis alterna 2: ( $H_{a2}$ )** La variación de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias presentan diferencia significativa en la formación de bulbo húmedo.

**Tabla 24. ANVA para el radio de suelo mojado (cm)**

Effect	SS	Grados de Libertad	MS	F	p	$\alpha$	Signif.
Pendiente de terreno (%)	0.463	2	0.231	9.77	0.001	> 0.05	**
Cantidad de válvulas (Unid)	0.027	2	0.014	0.58	0.571	< 0.05	N.S
Pendiente de terreno (%) * Cantidad de válvulas (Unid)	0.113	4	0.028	1.19	0.350	< 0.05	N.S
Error	0.427	18	0.024				

En el análisis de varianza, la variación de la pendiente del terreno muestra un efecto significativo sobre la formación de radio del suelo mojado; sin embargo, la cantidad de válvulas insertadas en las tuberías terciarias y la interacción de estas dos variables independientes no presentan efecto significativo.

Se realizó la prueba de Tukey, con una significancia  $\alpha=5\%$ , los resultados muestran que estadísticamente no existen diferencia significativa entre los grupos.

**Tabla 25. Prueba de Tukey para radio del suelo mojado (cm)**

Pendiente de terreno (%)	Cantidad de válvulas (Unid)	{1} 8.0667	{2} 7.9667	{3} 8.0	{4} 8.1667	{5} 8.3333	{6} 8.3667	{7} 8.2333	{8} 8.40	{9} 8.2333
Pendiente 10%	0 válvulas		0.996	1.000	0.996	0.490	0.347	0.910	0.232	0.910
Pendiente 10%	2 válvulas	0.996		1.000	0.798	0.149	0.092	0.490	0.056	0.490
Pendiente 10%	6 válvulas	1.000	1.000		0.910	0.232	0.149	0.649	0.092	0.649
Pendiente 20%	0 válvulas	0.996	0.798	0.910		0.910	0.798	1.000	0.649	1.000
Pendiente 20%	2 válvulas	0.490	0.149	0.232	0.910		1.000	0.996	1.000	0.996
Pendiente 20%	6 válvulas	0.347	0.092	0.149	0.798	1.000		0.973	1.000	0.973
Pendiente 40%	0 válvulas	0.910	0.490	0.649	1.000	0.996	0.973		0.910	1.000
Pendiente 40%	2 válvulas	0.232	0.056	0.092	0.649	1.000	1.000	0.910		0.910
Pendiente 40%	6 válvulas	0.910	0.490	0.649	1.000	0.996	0.973	1.000	0.910	

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

Al realizar la comparación de medias entre los diferentes tratamientos, se aprecia que no existe estadísticamente diferencias significativas sobre la variable del radio del suelo mojado.

**Tabla 26. ANVA para profundidad de bulbo húmedo (cm)**

Effect	SS	Grados de Libertad	MS	F	p	$\alpha$	Signif.
Pendiente de terreno (%)	58.32	2	29.16	1,109.0	0.000	< 0.05	**
Cantidad de válvulas (Unid)	20.85	2	10.42	396.4	0.000	< 0.05	**
Pendiente de terreno (%) * Cantidad de válvulas (Unid)	19.66	4	4.92	186.9	0.000	< 0.05	**
Error	0.47	18	0.03				

(Resultado procesado con software Statistica 8)

La tabla 26, nos indica que, la variación de la pendiente del terreno, la disposición de tuberías terciarias y la interacción de ambas variables presentan diferencias significativas.

**Tabla 27. Prueba de Tukey para profundidad de bulbo húmedo (cm)**

Pendiente de terreno (%)	Cantidad de válvulas (Unid)	{1} 8.0667	{2} 7.9667	{3} 8.0	{4} 8.1667	{5} 8.3333	{6} 8.3667	{7} 8.2333	{8} 8.40	{9} 8.2333
Pendiente 10%	0 válvulas		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pendiente 10%	2 válvulas	0.000		0.029	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pendiente 10%	6 válvulas	0.000	0.029		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pendiente 20%	0 válvulas	0.000	0.018	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pendiente 20%	2 válvulas	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	1.000
Pendiente 20%	6 válvulas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.931	0.931	0.000
Pendiente 40%	0 válvulas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.931		1.000	0.000
Pendiente 40%	2 válvulas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.931	1.000		0.000
Pendiente 40%	6 válvulas	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

Según la prueba de Tukey, entre los tratamientos analizadas, existe fuerte diferencia significativa sobre la profundidad de bulbo húmedo.

Por tanto, al evaluar el ANVA y la prueba de Tukey sobre la formación del radio de suelo mojado y su profundidad; se acepta la Hipótesis Alternativa ( $H_{a2}$ ), debido a que la variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias presentan diferencia significativa en la formación de bulbo húmedo.

**Hipótesis Nula 3:  $H_{03}$ :** La variación de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias no afectan significativamente en los rendimientos del cultivo de arveja verde.

**Hipótesis Alternativa 3:  $H_{a3}$ :** La variación de la pendiente de terreno y la disposición de tuberías terciarias afectan significativamente en los rendimientos del cultivo de arveja verde.

**Tabla 28. ANVA para rendimiento de cultivo de arveja (t/ha)**

Effect	SS	Grados de Libertad	MS	F	p	$\alpha$	Signif.
Pendiente de terreno (%)	113.573	2	56.786	64.515	0.000	< 0.05	**
Cantidad de válvulas (Unid)	2.885	2	1.443	1.639	0.222	> 0.05	N.S
Pendiente de terreno (%) * Cantidad de válvulas (Unid)	3.333	4	0.833	0.947	0.460	> 0.05	N.S
Error	15.844	18	0.880				

Determinado el ANVA, señalamos, que la variación de la pendiente del terreno muestra un efecto significativo sobre el rendimiento del cultivo de arveja; sin embargo, la disposición de tuberías terciarias y la interacción de ambas variables independientes no presentan estadísticamente diferencias significativas.

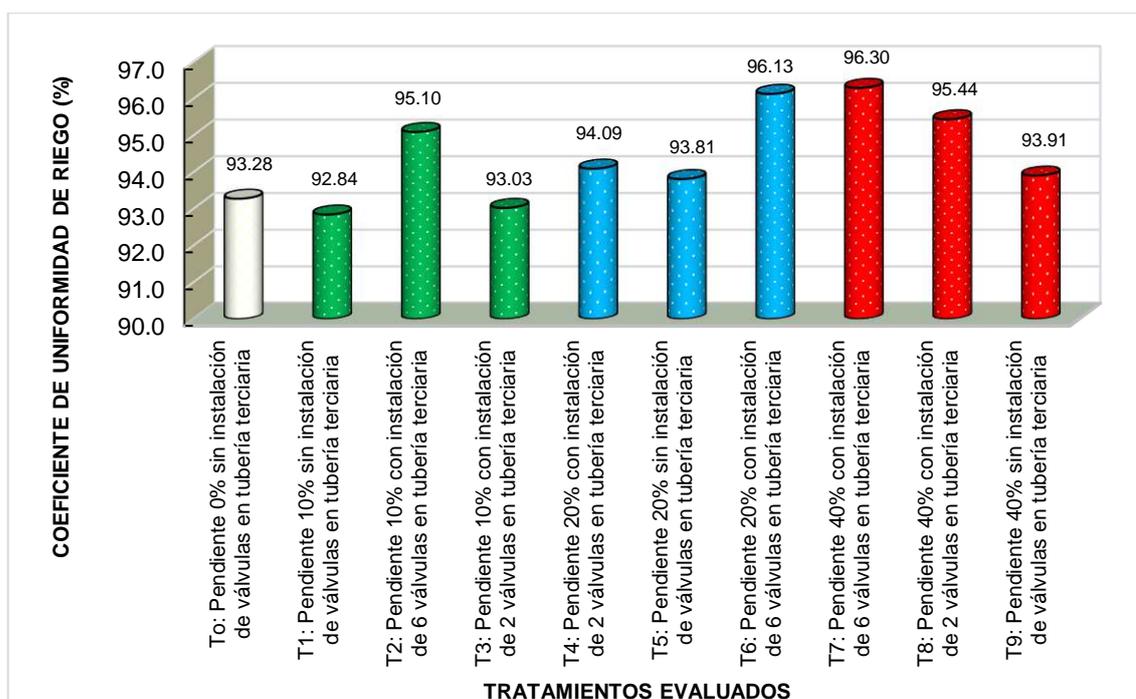
**Tabla 29. Prueba de Tukey para rendimiento de cultivo de arveja (t/ha)**

Pendiente de terreno (%)	Cantidad de válvulas (Unid)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		8.0667	7.9667	8.0	8.1667	8.3333	8.3667	8.2333	8.40	8.2333
Pendiente 10%	0 válvulas		0.777	0.999	0.001	0.001	0.000	0.003	0.006	0.008
Pendiente 10%	2 válvulas	0.777		0.399	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pendiente 10%	6 válvulas	0.999	0.399		0.003	0.003	0.001	0.011	0.022	0.031
Pendiente 20%	0 válvulas	0.001	0.000	0.003		1.000	0.983	0.999	0.983	0.959
Pendiente 20%	2 válvulas	0.001	0.000	0.003	1.000		0.983	0.999	0.983	0.959
Pendiente 20%	6 válvulas	0.000	0.000	0.001	0.983	0.983		0.777	0.587	0.490
Pendiente 40%	0 válvulas	0.003	0.000	0.011	0.999	0.999	0.777		1.000	1.000
Pendiente 40%	2 válvulas	0.006	0.000	0.022	0.983	0.983	0.587	1.000		1.000
Pendiente 40%	6 válvulas	0.008	0.000	0.031	0.959	0.959	0.490	1.000	1.000	

(Resultado obtenido con software Statistica 8)

Según la prueba de Tukey, varios grupos de los tratamientos analizados, presentan diferencias significativas en el rendimiento de arveja. Por tanto, se acepta la Hipótesis Alternativa ( $H_{a3}$ ), puesto que la variación de la pendiente del terreno y la disposición de tuberías terciarias afectan significativamente en el rendimiento del cultivo de arveja en grano verde.

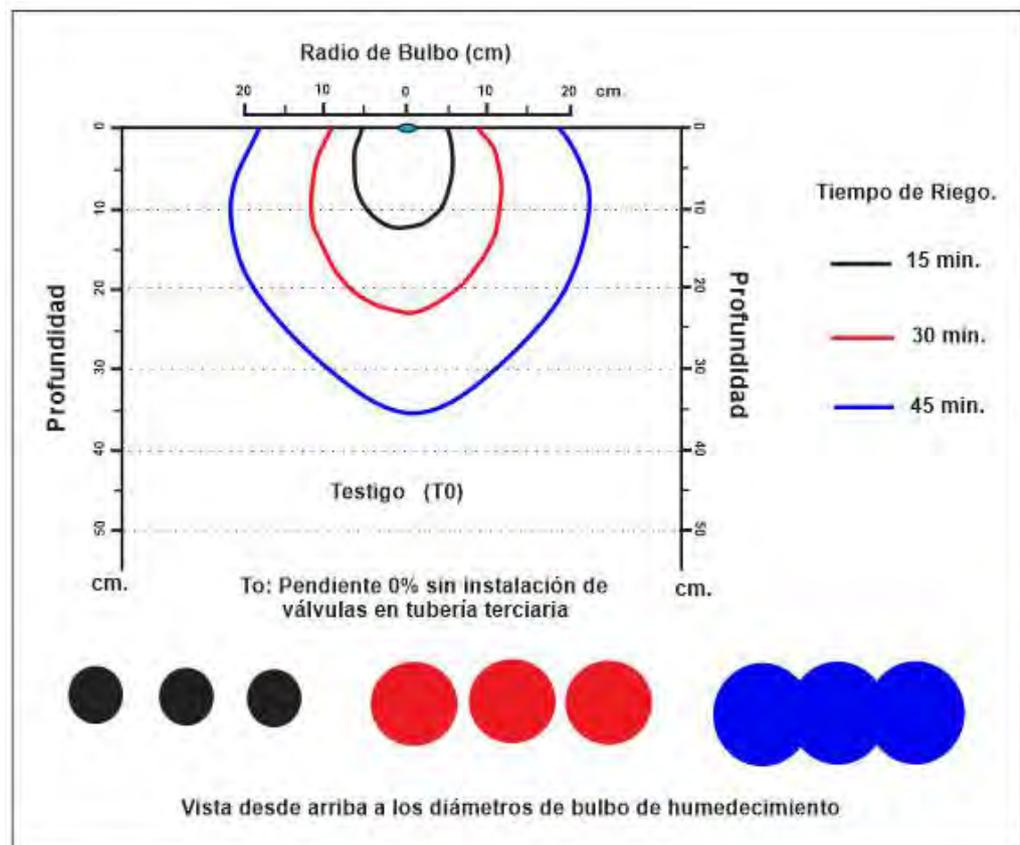
### 5.3. Presentación de resultados



**Figura 45. Resultado de Coeficiente de Uniformidad en los tratamientos**

En la figura 45, se reporta que, en los tres tipos de pendiente de terreno 10%, 20% y 40% con la instalación de 06 válvulas en las tuberías terciarias, presentan valores de CU = 95.10%, 96.13% y 96.30% y corresponden a los tratamientos T2, T6, y T7 respectivamente, valorándose como un calificativo de excelente a la uniformidad de riego, por presentar valores de CU > 95%, según los estudios de Merriam y Keller (1978).

El sistema de riego por goteo, instalados en parcelas con tres pendientes de terreno al 10%, 20% y 40% tuvieron valores de Coeficiente de Uniformidad CU > 90%; ya que las instalaciones corresponden a áreas pequeñas de un total de 330 m<sup>2</sup> y por ello resulta una eficiencia de riego con una valoración de buena a excelente.

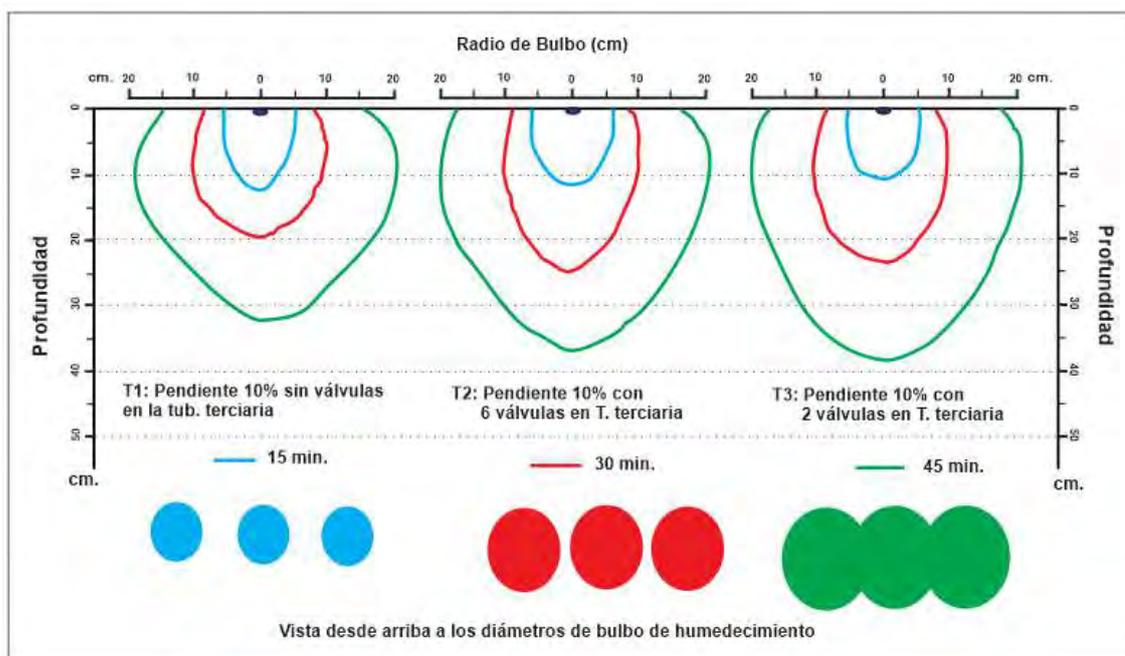


**Figura 46. Resultado de formación del radio de suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo en el tratamiento testigo (T0)**

(Resultado obtenido con software CorelDraw 2018)

La formación del radio de suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo, en el tratamiento testigo (To) pendiente 0% sin la instalación de válvulas en las tuberías terciarias, presenta una semejanza a los reportados por Fernández (2010), clasificados para una textura del suelo de tipo franco.

En terreno plano evaluado con un testigo, se tiene que, a una irrigación de 30min el radio de suelo mojado mide 8.5cm y la profundidad del bulbo húmedo llega hasta 23cm; por otro lado, Quispe (2018) obtuvo para el radio de suelo mojado 8.1cm y profundidad de bulbo húmedo 10cm en un suelo con una textura tipo arcilla arenoso; por consiguiente, los resultados en el radio de suelo mojado son similares, mientras que en la profundidad de bulbo húmedo existe una variación, esto debido a que en nuestra investigación la textura del suelo fue de tipo franco arenoso.



**Figura 47. Resultados de formación del radio de suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo en los tratamientos (T1, T2 y T3)**

(Resultado obtenido con software CorelDraw 2018)

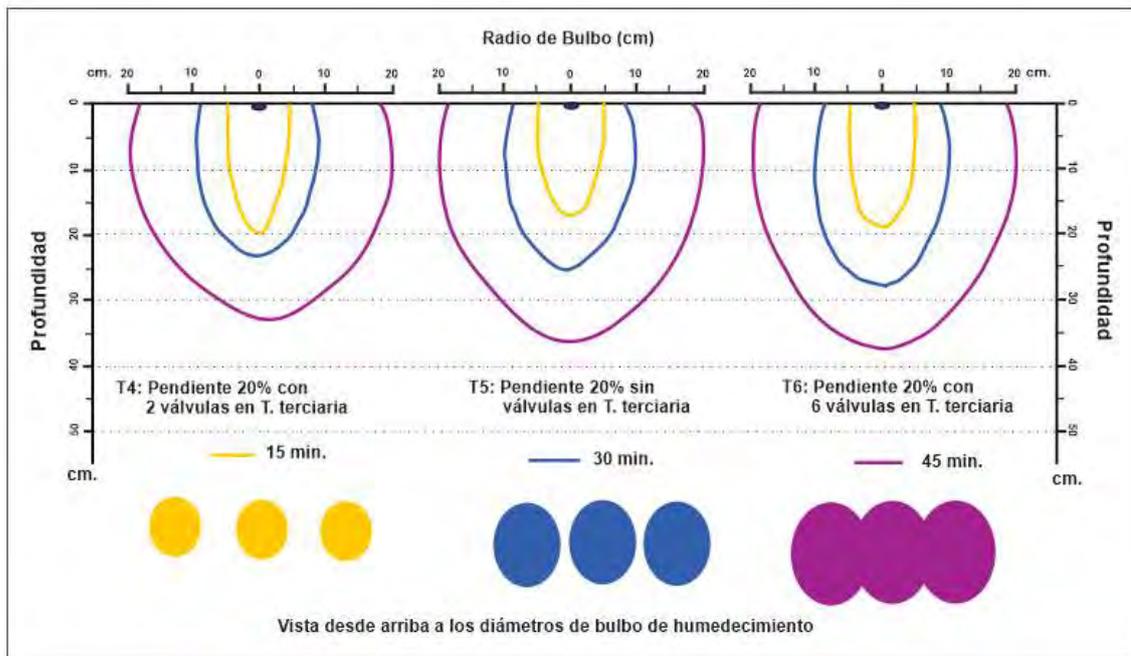
El tiempo de irrigación se estableció a 45min, porque, la profundidad del suelo fértil solamente alcanza en promedio hasta una profundidad de 30cm en algunos sectores de la parcela experimental.

En cuanto a la formación del radio de suelo mojado, los resultados promedios fueron T1 = 8.07cm, T2 = 8.0cm y T3 = 7.97cm; mientras que, para la profundidad del bulbo húmedo fue como sigue T1 = 20.1cm, T2 = 23.37cm y T3 = 22.87cm.

Los tres tratamientos T1, T2 y T3 presentan similitud en la formación del bulbo húmedo, coincidiendo la forma característica con la textura del tipo de suelo franco arenoso, tal como lo clasifica Pizarro (1996), para un tipo suelo franco.

El T1 se diferencia en cuanto a la profundidad de la formación del bulbo húmedo respecto a los T2 y T3; debido a que, en este sector de la parcela a 35cm presentaba una capa rocosa, que no permite la infiltración del agua.

Por otra parte, se precisa que el radio del suelo mojado, tiene una formación de un círculo irregular, esto debido a la pendiente del suelo en 10%.



**Figura 48. Resultados de formación del radio de suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo en los tratamientos (T4, T5 y T6)**

(Resultado obtenido con software CorelDraw 2018)

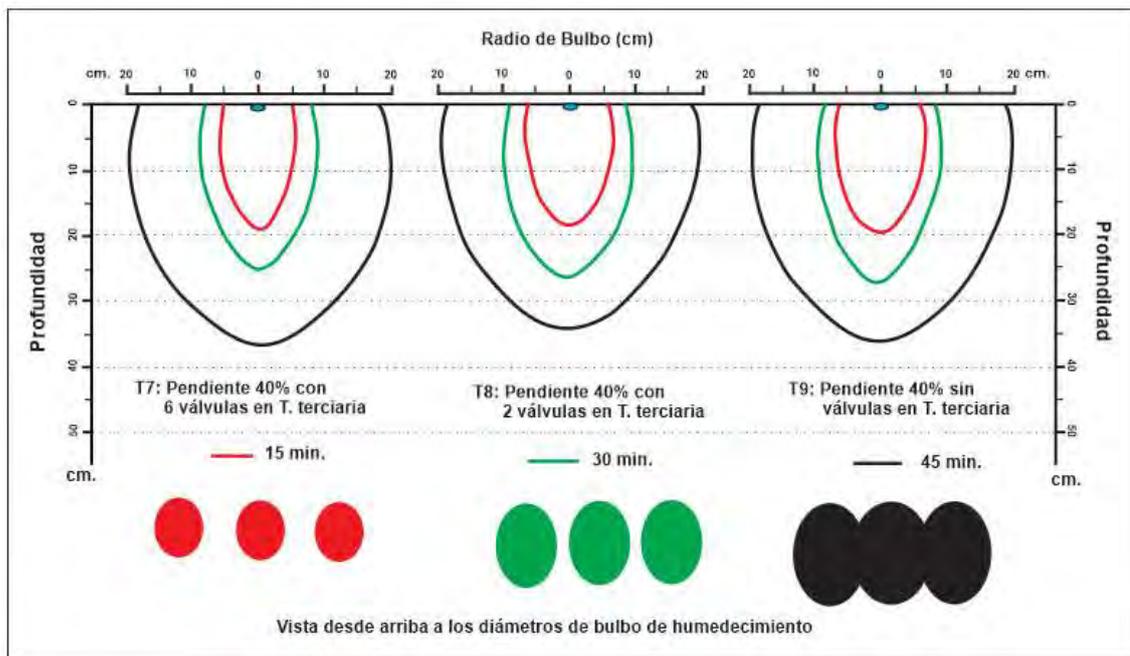
En cuanto a la formación del radio de suelo mojado (figura 41), los resultados promedios fueron T4 = 8.33cm, T5 = 8.17cm y T6 = 8.37cm; mientras que, para la profundidad del bulbo húmedo fue T4 = 24.97cm, T5 = 22.33cm y T6 = 25.83cm.

Los tres tratamientos T4, T5 y T6 presentan similitud en la formación del bulbo húmedo, coincidiendo la forma característica con la textura del tipo de suelo franco arenoso, tal como lo clasifica Pizarro (1996), Medina (2000) y Moya (2009) para un tipo suelo franco.

El T4 se diferencia en cuanto a la profundidad de la formación del bulbo húmedo, con respecto a los T5 y T6; esta variación se debe, a que, en

este sector de la parcela a 32cm existe la presencia de capa rocosa, que no permite la infiltración del agua.

Por otra parte, se precisa que el diámetro del suelo mojado, presentan una forma de elipse irregular, esto debido a que, el agua de riego tiende a infiltrar en la dirección del suelo con pendiente de 20%.



**Figura 49. Resultados de formación del radio de suelo mojado y profundidad de bulbo húmedo en los tratamientos (T7, T8 y T9)**

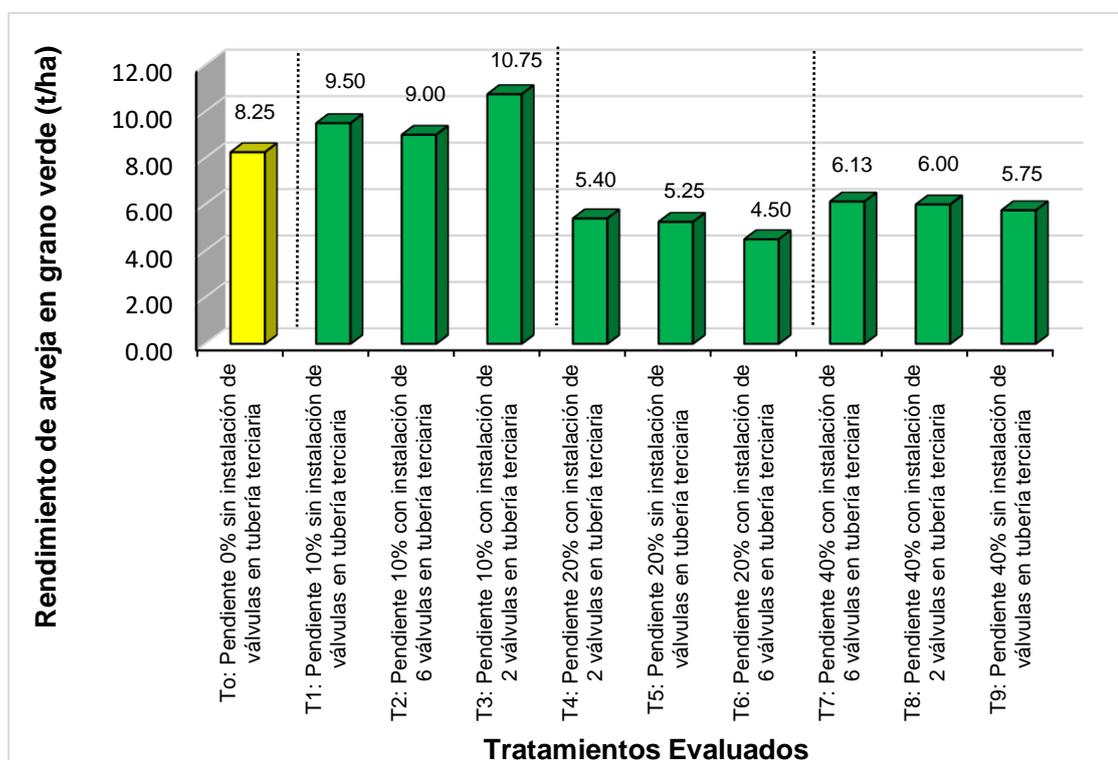
(Resultado obtenido con software CorelDraw 2018)

En la formación del radio de suelo mojado, los resultados promedios fueron T7 = 8.23cm, T8 = 8.40cm y T9 = 8.23cm; mientras que, para la profundidad del bulbo húmedo fue T7 = 25cm, T8 = 26cm y T9 = 26cm.

Los tres tratamientos T7, T8 y T9 presentan similitud en la formación del bulbo húmedo, teniendo la forma característica de la textura del tipo de

suelo franco arenoso. Los tres tratamientos presentan semejanza en la formación de la profundidad de bulbo húmedo, llegando en promedio hasta 23.5cm.

El diámetro del suelo mojado, presenta una forma de una elipse (figura 49), porque el agua de riego infiltra en la dirección del terreno con una pendiente de 40%, mojado así el suelo en la parte baja del gotero.



**Figura 50. Resultados de rendimiento de arveja en grano verde**

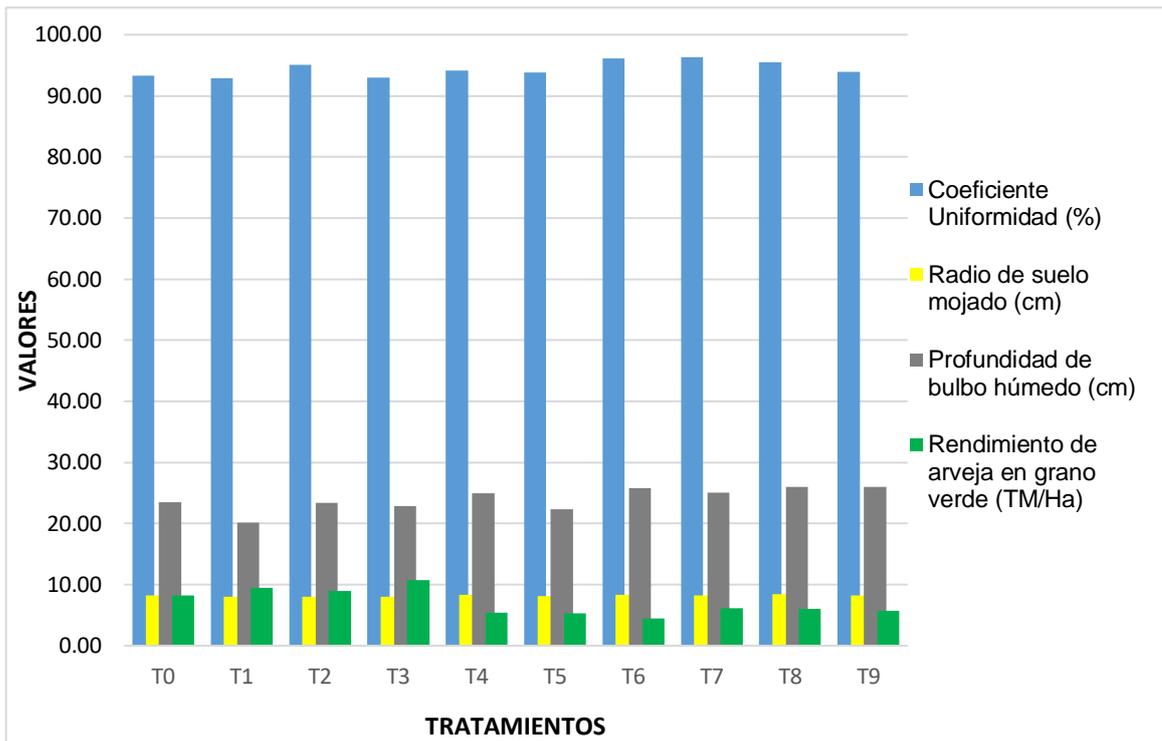
Los mejores resultados fueron en la parcela experimental con una pendiente de 10%; para los tratamientos T1 = 9.50 t/ha, T2 = 9.0 t/ha y T3 = 10.75 t/ha; y los tratamientos con menor rendimiento fueron T5 = 5.25 t/ha, y T6 = 4.50 t/ha respectivamente.

Para fines de comparación, se ha considerado un testigo (To) en una cinta de riego, con una pendiente de 0% y sin válvulas instaladas en las tuberías terciarias, el rendimiento de arveja fue 8.25 t/ha.

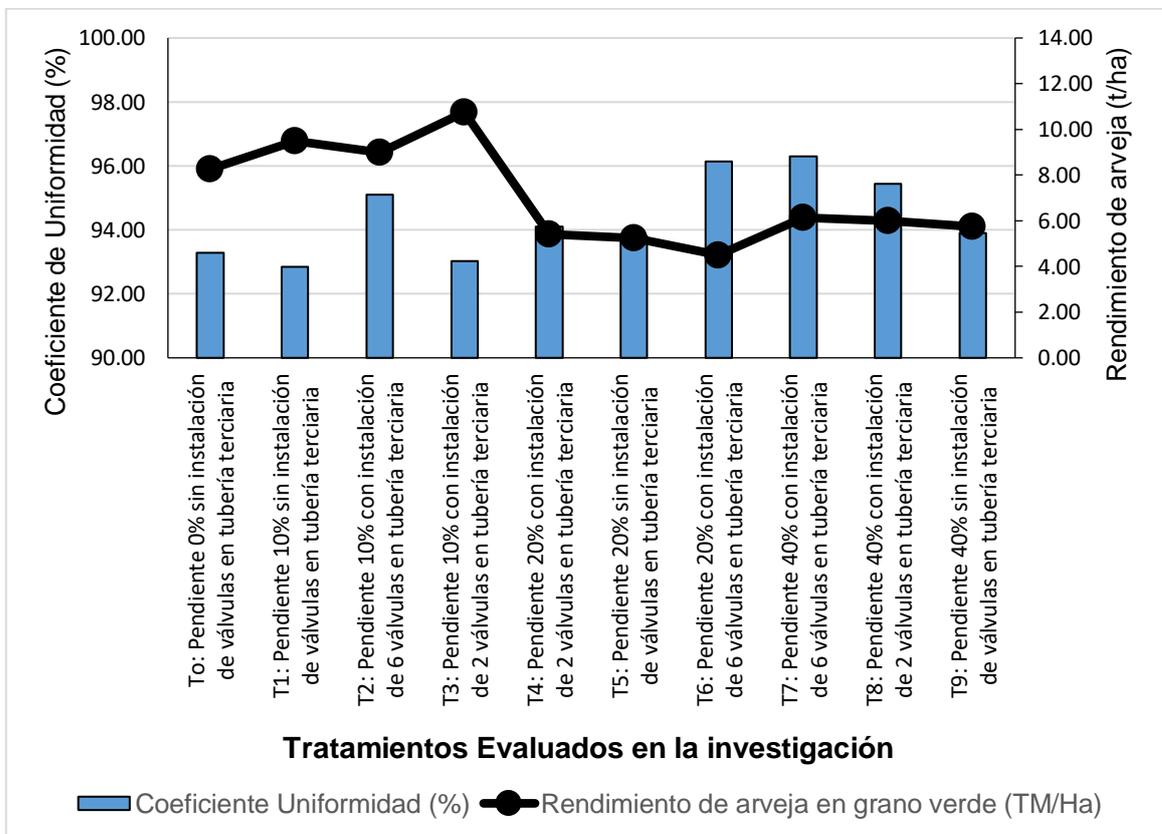
La conductividad hidráulica es mayor en suelos agrícolas con pendientes pronunciadas y disminuye el rendimiento del cultivo, razón por el cual, es los tratamientos cultivados en pendientes mayores a 20% son afectados en el rendimiento, y también se debe a los factores climáticos como la helada y/o granizada que afectan en estas condiciones.

**Tabla 30. Resultados de los tratamientos evaluados**

Tratamientos	Coefficiente Uniformidad (%)	Radio de suelo mojado (cm)	Profundidad de bulbo húmedo (cm)	Rendimiento de arveja en grano verde (TM/Ha)
To: Pendiente 0% sin instalación de válvulas en tubería terciaria	93.28	8.20	23.50	8.25
T1: Pendiente 10% sin instalación de válvulas en tubería terciaria	92.84	8.07	20.10	9.50
T2: Pendiente 10% con instalación de 6 válvulas en tubería terciaria	95.10	8.00	23.37	9.00
T3: Pendiente 10% con instalación de 2 válvulas en tubería terciaria	93.03	7.97	22.87	10.75
T4: Pendiente 20% con instalación de 2 válvulas en tubería terciaria	94.09	8.33	24.97	5.40
T5: Pendiente 20% sin instalación de válvulas en tubería terciaria	93.81	8.17	22.33	5.25
T6: Pendiente 20% con instalación de 6 válvulas en tubería terciaria	96.13	8.37	25.83	4.50
T7: Pendiente 40% con instalación de 6 válvulas en tubería terciaria	96.30	8.23	25.00	6.13
T8: Pendiente 40% con instalación de 2 válvulas en tubería terciaria	95.44	8.40	26.00	6.00
T9: Pendiente 40% sin instalación de válvulas en tubería terciaria	93.91	8.23	26.00	5.75



**Figura 51. Resultados de los tratamientos respecto a los variables dependientes**



**Figura 52. Comparativo de coeficiente de uniformidad y rendimiento**

En el grafico anterior se demuestra que no necesariamente los tratamientos que presentan mayor uniformidad de riego producen mayores rendimientos, ya que afectan varios factores como la pendiente de terreno, conductividad hidráulica, tipo de suelo, composición del suelo, plan de fertilización y otros factores relacionados a la productividad de una planta.

## **CONCLUSIONES**

- La variación de la pendiente del terreno de 10% al 40% influye en forma positiva sobre los resultados coeficiente de uniformidad de riego, obteniéndose valores de 92.84% al 96.30%.
- La variación de la pendiente del terreno de 10% al 40% influye en forma positiva sobre la formación de bulbo húmedo, presentando bulbos característicos para un suelo de textura franco arenoso, con diámetros de suelo mojado mayores a 20cm y profundidad del bulbo hasta 38cm irrigadas por 45 minutos.
- La variación de la pendiente del terreno de 10% al 40% influye negativamente sobre el rendimiento de arveja. Es decir, a mayores pendientes de terreno disminuyen los rendimientos desde 10.75t/ha a 4.50t/ha.
- La disposición de válvulas en tuberías terciarias influye positivamente sobre el coeficiente de uniformidad de riego. Es decir, a mayor instalación de válvulas en las tuberías terciarias se mejora la uniformidad de riego.
- La disposición de válvulas en tuberías terciarias no influye en la formación de bulbo húmedo, porque existe una relación débil entre las variables.

- La disposición de válvulas en tuberías terciarias no influye en el rendimiento de arveja, porque existe una relación débil entre las variables.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a los productores de la región sierra del Perú, que pueden instalar el riego por goteo en terrenos con pendientes pronunciadas de hasta 40%; es decir, se puede aprovechar estos terrenos agrícolas con pendientes variadas para la siembra de cualquier cultivo y frutales.
- Se recomienda estudiar el comportamiento del coeficiente de uniformidad de riego en parcelas a mayores de 40% de pendientes de terreno.
- Se recomienda instalar válvulas en cada subunidad de riego, para evitar problemas de desabastecimiento del caudal en meses de mayor uso y/o horas punta de riego.
- Se recomienda al estado peruano y los gobiernos locales descentralizados, promover la ejecución de proyectos de riego tecnificado por goteo, aprovechando el recurso hídrico y terrenos agrícolas con topografía variada.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Bedoya, C. M., Yossa, M. P. C., Yossa, O. L. F. (2018). Efecto de la pendiente en el coeficiente de uniformidad en un lateral de riego por goteo. Artículo COMEII-18006, Universidad Surcolombiana, Nieva, Colombia. p1-13.

Briceño, M.; Álvarez, F.; Barahona U. (2012). Manual técnico de riego con énfasis en riego por goteo. Zamorano – Honduras.

Baker, J.L. y Laflen, J.M. (1983). Water quality consequences of conservation tillage. *Journal of Soil y Water Conservation*, Ankeny, 38(3).

Canovas, F. G., Beza, C. R., Gavilán, Z. P. (2015). Influencia de la pendiente del terreno en la uniformidad de distribución de caudal en cintas de riego localizado. *Revista de Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera*, Sevilla, España. p1-12.

Castelán V. R., López T. L. C., Tamariz F. J. V., Linares F. G.; y Cruz M. A. (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca en la zona periurbana de la ciudad de Puebla. México, *Revista Terra Latinoamericana*, 35(3), p 229-235.

Fernández R., Yruela M. C., Milla M., García J. y Oyonarte N. (2010). Manual de riego para agricultores – Riego localizado. Edita, Junta de Andalucía. Sevilla - España.

Fuentes Y., José Luis (2003). Técnicas de riego. Editorial Mundi – Prensa. 4ta Edición. Madrid - España.

Gavilánez, F. C. (2019). La hidráulica del ingeniero agrícola. Editorial CEDIPRO. Ecuador.

Granados Alegre, Harold E. (2019). Impacto de la Variación de Temperatura en la Desglaciación de la Cordillera Huayhuash (Lima-Ancash-Huánuco). Trabajo pregrado, UNJFSC, Huacho, Perú. Pg. 1-182.

Garrido, V. S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Madrid - España.

Hernández et al. (1987). El riego localizado. 1ra Edición. Madrid - España.

Israelsen y Hansen (1981). Principios y aplicaciones del riego. Editorial Reverte S.A. 2da Edición. Barcelona – España.

Jiménez Cleves G. (2007). Topografía para ingenieros civiles. 1ra Edición. Armenia.

Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Medellín – Colombia.

Laura, A. G., y López, B. C. (2016). Evaluación de la uniformidad de un sistema presurizado de riego por goteo para cultivos de zonas alto - andinas de Bolivia. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, vol. 3, La Paz, Bolivia. p7-17.

Monge, M. A. (2018), Diseño agronómico e hidráulico de riegos agrícolas a presión. Editorial Agrícola Española S.A. Madrid – España.

Machaca, Q. A. H. (2018), Niveles de guano de islas y té de estiércol de cuy en el rendimiento del cultivo de arveja verde (*Pisum Sativum L.*) en la irrigación majes de Arequipa.

Mamani, E. (2016). Evaluación del uso eficiente del agua de riego en el cultivo de arveja (*pisum sativum l.*) como medida de adaptación a la variabilidad climática en las comunidades de Amachuma grande y Retamani del municipio de Palca. Trabajo Pregrado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. p-117.

Mendoza A. E. (2013). Riego por goteo. 1ra Edición. El Salvador.

Martínez M. M., Fernández R. D. y Uribe Ch. D. (2011). Topografía aplicada a obras Coussa. 1ra Edición. México.

Moshe, S. (2006). Riego por goteo. 1ra Edición en español. Israel.

Martha Fontova y Ernesto García (2001). Ingeniería de riego. Editorial Félix Valera. La Habana – Cuba.

Medina, J. A. (1997). Riego por goteo. 4ta Edición. España.

Navarro, G. (2003). Química agrícola. 2da Edición. Murcia – España.

Pizarro C. F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). Editorial Mundi Prensa. 3ra Edición. Madrid – España.

Palella. S. S., y, Martins. P. F. (2012). Metodología de la Investigación Cuantitativa. FEDUPEL. Caracas – Venezuela.

Quispe, E. (2018). Continuidad del bulbo húmedo en sistemas de riego por goteo subsuperficial – San José de Ticllas. Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú. p108.

Rojas A. P. y Cuadros T. N. (2015). Ensayo comparativo en rendimiento de grano verde de cinco cultivares de arveja (*Pisumsativum* L.), en el distrito de Callanmarca, Provincia de Angaraes, Departamento de Huancavelica. Tesis pregrado, UNDAC. Cerro de Pasco - Perú. p91.

Saldarriaga, J. (2016). Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes y riegos. Editorial Alfaomega. 3era Edición, Colombia.

Sandoval, J. E. (2007). Principios de riego y drenaje. Editorial Universitaria. 1ra Edición, Guatemala.

Tuya (2020), Respuesta del rendimiento del cultivo de la arveja (*pisum sativum* L.) variedad Usui a la aplicación de tres láminas de riego en el C.I.E – Cañasbamba. Tesis pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú. P143.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Anexo 2. Calculo y diagramación de la pendiente del terreno para realizar los diferentes tratamientos.

Anexo 3. Normas y métodos empleados en la determinación de análisis fisicoquímico de suelo.

Anexo 4. Normas y métodos empleados en la determinación de análisis fisicoquímico de agua de riego

Anexo 5. Reporte de planilla de cálculo de ETo y necesidades de agua para riego.

Anexo 6. Métodos y fórmulas para el diseño hidráulico.

Anexo 7. Panel fotográfico de los reportes de determinación del radio de suelo mojado y formación de bulbo húmedo

Anexo 8. Panel fotográfico de los reportes del rendimiento de cultivo de arveja verde

**Anexo 1.**  
**Matriz de consistencia.**

### Anexo 1. Matriz de consistencia

#### EFFECTO DE LA PENDIENTE DEL TERRENO Y TUBERÍAS TERCIARIAS EN LA UNIFORMIDAD DE RIEGO, BULBO HÚMEDO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARVEJA (*Pisum sativum*)

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
¿Cuál es el efecto de la pendiente del terreno y tuberías terciarias en la uniformidad de riego, bulbo húmedo y rendimiento del cultivo de arveja?	Evaluar el efecto de la pendiente del terreno y tuberías terciarias en la uniformidad de riego, bulbo húmedo y rendimiento del cultivo de arveja.	La pendiente del terreno y tuberías terciarias afectan directamente en la uniformidad de riego, bulbo húmedo y el rendimiento del cultivo de arveja.	<b>INDEPENDIENTE</b>			<b>Enfoque de Investigación</b>	
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</b>				<b>Tipo de Investigación</b>	<b>Técnicas de investigación</b>
¿Cómo influye la variación de la pendiente de terreno en la uniformidad de riego por goteo?	O.E.1. Evaluar la variación de la pendiente del terreno y su influencia en la uniformidad de riego por goteo.	El incremento de la pendiente del terreno disminuye la uniformidad de riego por goteo.	• Pendiente de terreno. • Disposición de tuberías terciarias	• Pendiente de terreno. • Cantidad de válvulas reguladoras.	% Unidad	• Cuantitativo. <b>Nivel de Investigación</b>	Normas y métodos.
¿Cómo influye la variación de la pendiente de terreno en la formación de bulbo húmedo?	O.E.2. Evaluar la variación de la pendiente del terreno y su influencia en la formación de bulbo húmedo.	El incremento de la pendiente del terreno afecta en la formación de bulbo húmedo.	<b>DEPENDIENTE</b>	• Coeficiente de uniformidad de aplicación.	%	<b>Diseño de Investigación</b>	<b>Instrumentos</b>
¿Cómo influye la variación de la pendiente del terreno en el rendimiento del cultivo de arveja?	O.E.3. Evaluar la variación de la pendiente del terreno y su influencia en el rendimiento del cultivo de arveja.	El incremento de la pendiente del terreno afecta mínimamente en el rendimiento del cultivo de arveja.	• Coeficiente de uniformidad de riego.	• Diámetro y profundidad de bulbo húmedo.	cm.	• Experimental. <b>Población</b>	Fichas.
¿Cómo es la influencia de la disposición de tuberías terciarias en la uniformidad de riego por goteo?	O.E.4. Determinar la influencia de la disposición de tuberías terciarias en la uniformidad de riego por goteo.	La disposición de tuberías terciarias mejora en la uniformidad de riego por goteo.	• Formación de bulbo húmedo.	• Rendimiento del cultivo de arveja en grano verde.	TM/Ha.	Área total de arveja cultivada en la parcela experimental. <b>Muestra</b>	Equipos, materiales y accesorios diversos.
¿Cómo es la influencia de la disposición de tuberías terciarias en la formación de bulbo húmedo?	O.E.5. Determinar la influencia de la disposición de tuberías terciarias en la formación de bulbo húmedo.	La disposición de tuberías terciarias influye en la formación de bulbo húmedo.	• Rendimiento del cultivo			09 tratamientos experimentales, más el testigo. <b>Muestreo</b>	
¿Cómo es la influencia de la disposición de tuberías terciarias en el rendimiento del cultivo de arveja?	O.E.6. Determinar la influencia de la disposición de tuberías terciarias en el rendimiento del cultivo de arveja.	La disposición de tuberías terciarias influye en el rendimiento del cultivo de arveja.				• Muestreo probabilístico (estratificado y aleatorio)	

## **Anexo 2.**

**Calculo y diagramación de la  
pendiente del terreno para realizar  
los diferentes tratamientos**

## Anexo 2. Calculo y diagramación de la pendiente del terreno para realizar los diferentes tratamientos

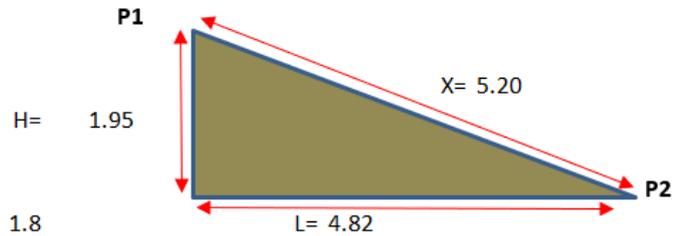
### CASO 01 -----(40%)

P1 = 3,404.90  
 P2 = 3,402.95  
 H = 1.95  
 X = 5.20

$$L^2 = X^2 - H^2$$

L<sup>2</sup> = 23.24  
 L = 4.82

Pendiente de terreno (%) = 40.45



$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{L}\right)$$

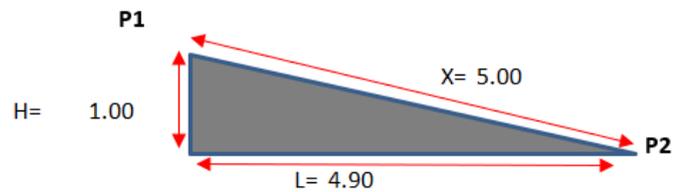
$\theta = 0.384$  Radianes  
 $\theta = 22.02^\circ$

### CASO 02 ..... (20%)

P1 = 3,402.65  
 P2 = 3,401.65  
 H = 1.00  
 X = 5.00

L<sup>2</sup> = 24.00  
 L = 4.90

Pendiente de terreno (%) = 20.41



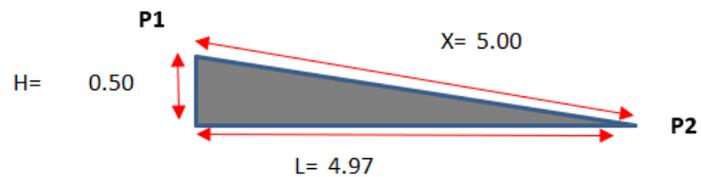
$\theta = 0.201$  Radianes  
 $\theta = 11.54^\circ$

### CASO 03 ..... (10%)

P1 = 3,401.45  
 P2 = 3,400.95  
 H = 0.50  
 X = 5.00

L<sup>2</sup> = 24.75  
 L = 4.97

Pendiente de terreno (%) = 10.05



$\theta = 0.100$  Radianes  
 $\theta = 5.74^\circ$

Adicionalmente a los terrenos preparados, se tuvo un terreno llano para considerar como patrón de referencia.

### **Anexo 3.**

## **Normas y métodos empleados en la determinación de análisis fisicoquímico de suelo**

**INFORME DE ENSAYO  
IE-080722-01**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

- 1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 1.2 RUC/DNI : 20172474501  
 1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA – ANTIGUO COMEDOR)  
 CUSCO-CUSCO-CUSCO  
 1.4 Proyecto : EFECTO DE LA PENDIENTE DEL TERRENO Y TUBERÍAS TERCIARIAS  
 EN LA UNIFORMIDAD DE RIEGO, BULBO HÚMEDO Y RENDIMIENTO  
 DEL CULTIVO DE ARVEJA (*Pisum sativum*).

**2. FECHAS**

- 2.1 Inicio : 11 de Julio de 2022  
 2.2 Fin : 25 de Julio de 2022  
 2.3 Emisión de informe : 26 de Julio de 2022

**3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**

- 3.1 Temperatura : 19.8 °C  
 3.2 Humedad Relativa : 52 %

**4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**

**4.1. ENSAYOS**

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA
pH en agua	Relación 1:1 Agua-Suelo (Potenciometría)
Conductividad Eléctrica CE 25°C	Relación 1:1 Agua-Suelo (Electrométrico)
Densidad Aparente	Gravimetría
Carbonatos CaCO <sub>3</sub>	Volumetría de Neutralización
Materia Orgánica (MO)	Walkley Black (Volumetría Redox)
Nitrógeno Total (N)	Kjeldahl
Fósforo Disponible (P)	Olsen modificado (UV Visible)
Potasio Disponible (K)	Acetato de Amonio 1N (Absorción Atómica)
Cationes Cambiables: (Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> )	Acetato de Amonio 1N (Absorción Atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico C.I.C.	Acetato de Amonio 1N (Absorción Atómica)
Saturación de cada Catión	Cálculo
Saturación de Bases	Cálculo
Saturación de Acidez	Cálculo
Relaciones: (Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K y Ca/Mg)	Cálculo
Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn)	Absorción atómica
Aluminio y/o H Intercambiable, (Al <sup>3+</sup> , H <sup>+</sup> )	Método de Yuan. Extracción con KCL 1N
Textura, Arena, Limo, Arcilla	Hidrométrico-Bouyoucos
Capacidad de Campo	Gravimetría
Punto de Marchitez	Gravimetría

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
 DIEGO ROMANO VERGARÁ D'ARRIGO  
 QUÍMICO  
 QQP. 1337

**5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

Tabla N°1: Datos de la Muestra Analizada

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-4238	Suelo Agrícola	T1-P10 / Fecha: 06/07/22 Peso: 1kg
S-4239	Suelo Agrícola	T2-P20 / Fecha: 06/07/22 Peso: 1kg
S-4240	Suelo Agrícola	T3-P40 / Fecha: 06/07/22 Peso: 1kg

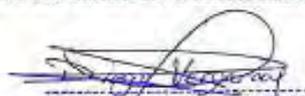
**6. RESULTADOS**

**6.1. Resultados Físicoquímicos**

Tabla N°2: RESULTADOS FÍSICOQUÍMICOS

PARÁMETRO	Unidad	S-4238	S-4239	S-4240
pH en agua	U. pH	7.24	7.26	7.29
Conductividad Eléctrica CE 25°C	uS/cm	222.80	151.80	135.20
Densidad Aparente	g/mL	1.35	1.31	1.22
Carbonatos CaCO <sub>3</sub>	% p/p	0.66	1.24	1.20
Materia Orgánica (MO)	% p/p	2.42	1.63	2.55
Nitrógeno Total (N)	mg/Kg	1208.00	816.00	1273.00
Fósforo Disponible (P)	mg/Kg	84.71	33.25	35.12
Potasio Disponible (K)	mg/Kg	251.74	148.82	103.25
Hierro, Fe	mg/Kg	6.10	6.63	5.70
Cobre, Cu	mg/Kg	0.63	1.33	1.47
Manganeso, Mn	mg/Kg	39.02	34.85	35.74
Zinc, Zn	mg/Kg	1.27	0.46	0.54
Arena	%	67.51	65.03	55.02
Arcilla	%	19.99	19.99	27.49
Limo	%	12.50	14.99	17.49
Textura	Sin Unid.	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcillo Arenoso

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARANGO  
QUÍMICO  
GQP. 1337

## 6.2. Resultados de Cationes Cambiables

**Tabla N°3: RESULTADOS DE CATIONES CAMBIABLES**

PARÁMETRO	Unidad	S-4238	S-4239	S-4240
Ca <sup>2+</sup>	meq/100g	8.93	9.28	10.62
Mg <sup>2+</sup>	meq/100g	2.80	2.84	4.09
K <sup>+</sup>	meq/100g	0.95	0.60	0.48
Na <sup>+</sup>	meq/100g	0.06	0.05	0.06
Capacidad de Intercambio Catiónico, CIC	meq/100g	19.92	15.89	17.96
Aluminio y/o H intercambiable (Al <sup>3+</sup> , H <sup>+</sup> )	meq/100g	0.24	0.67	<0.01
Ca/K	Sin Unid.	9.40	15.47	22.13
Mg/K	Sin Unid.	2.95	4.73	8.52
(Ca + Mg) /K	Sin Unid.	12.35	20.20	30.65
Ca/Mg	Sin Unid.	3.19	3.27	2.60
Saturación de Calcio, Ca	%	44.31	56.08	59.14
Saturación de Magnesio, Mg	%	13.90	17.15	22.77
Saturación de Potasio, K	%	4.73	3.61	2.66
Saturación de Sodio, Na	%	0.30	0.31	0.31
Saturación de Bases	%	63.24	77.15	84.87
Saturación de Acidez	%	1.19	4.05	< 0.01

## 6.3. Resultados de Parámetros Hídricos

**Tabla N°4: RESULTADOS DE PARÁMETROS HÍDRICOS**

PARÁMETRO	Unidad	S-4238	S-4239	S-4240
Capacidad de Campo	%	31.00	31.67	34.33
Punto de Marchitez	%	17.94	18.43	20.41

\*Nota: Datos de parámetros hídricos reportados sobre Base Húmeda.

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

**FIN DE DOCUMENTO**



\_\_\_\_\_  
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARANGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

## **Anexo 4.**

### **Normas y métodos empleados en la determinación de análisis fisicoquímico de agua de riego**

**INFORME DE ENSAYO  
IE-090722-01**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

- 1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
 1.2 RUC/DNI : 20172474501  
 1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA NRO. 733 (LOCAL DIGA – ANTIGUO COMEDOR)  
 1.4 Proyecto : EFECTO DE LA PENDIENTE DEL TERRENO Y TUBERÍAS TERCIARIAS EN LA UNIFORMIDAD DE RIEGO, BULBO HÚMEDO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ARVEJA (*Pisum sativum*).

**2. FECHAS**

- 2.1 Inicio : 11 de Julio de 2022  
 2.2 Fin : 25 de Julio de 2022  
 2.3 Emisión de informe : 26 de Julio de 2022

**3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**

- 3.1 Temperatura : 19.8 °C  
 3.2 Humedad Relativa : 52 %

**4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**

**4.1. ENSAYOS FISICOQUÍMICOS**

ENSAYO	MÉTODO
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H.23nd Ed
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B.23nd Ed
Bicarbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B.23nd Ed
Carbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B.23nd Ed
Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Fosfatos.	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993. Determination of inorganic anions by ion chromatography 2019
Dureza Total, mgCaCO <sub>3</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340-C.23nd Ed.
Metales Totales (Calcio, Cobre, Hierro, Potasio, Magnesio, Manganeso, Sodio, Zinc)	EPA METHOD 200.7 (Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)
Metales Tóxicos (Arsénico, Cromo, Plomo, Antimonio, Mercurio)	EPA METHOD 200.7 (Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
 DIEGO ROMANO VERGARÁ D'ARRIGO  
 QUÍMICO  
 CQP. 1337

**5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

**Tabla N°1: DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-4241	Agua	Tipo Matriz: Agua de Riego

**6. RESULTADOS**

**6.1. Resultados Obtenidos**

**Tabla N°2: RESULTADOS FISICOQUÍMICOS**

Muestra	Parámetro	Unidad	Resultado
S-4241	pH	Unid. pH	7.06
	Conductividad	uS/cm	146.10
	Bicarbonatos	mg/L	38.26
	Carbonatos	mg/L	<0.01
	Cloruros	mg/L	<0.01
	Sulfatos	mg/L	5.91
	Nitratos	mg/L	<0.01
	Fosfatos	mg/L	<0.01
	Dureza Total, mgCaCO <sub>3</sub> /L	mg/L	59.05

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

Tabla N°3: RESULTADOS DE METALES

Parámetro	Unidad	Método de ensayo	Resultados
Calcio, Ca	mg/L	EPA METHOD 200.7 (Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)	44.49
Cobre, Cu	mg/L		0.18
Hierro, Fe	mg/L		0.78
Potasio, K	mg/L		0.92
Magnesio, Mg	mg/L		3.23
Manganeso, Mn	mg/L		0.16
Sodio, Na	mg/L		11.70
Zinc, Zn	mg/L		0.08

Tabla N°4: RESULTADOS DE METALES TÓXICOS

Parámetro	Unidad	Método de ensayo	Resultados
Arsénico, As	mg/L	EPA METHOD 200.7 (Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)	<0.002
Cromo, Cr	mg/L		<0.0003
Mercurio, Hg	mg/L		<0.001
Plomo, Pb	mg/L		<0.002
Antimonio, Sb	mg/L		<0.002

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

FIN DEL DOCUMENTO



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

## **Anexo 5.**

**Reporte de planilla de cálculo de  
ETo y necesidades de agua para  
riego**

PLANILLAS DE CALCULO - MANEJO DE AGUA PARA RIEGO – 2022 / METODO DE TANQUE EVAPORIMETRO														
Provincia :	Cotabambas		Ln para llegar a CC:	52.00	Área del terreno (m2)	330								
	Distrito :	Tambobamba		Ln (mínimo en suelo):		33.80	Cultivo	Arveja						
		Comunidad C. :				San Andrés de Yanacca		Eficiencia (%):	90%	Responsable	Edgar Condori Valverde			
	Sector :					Fecha siembra:	15/08/2022		Técnico					
1	2	3	4	5	6		7	8		9	10	11	12	13
DI A	T °c	V (m/s)	HR %	Kp	Evapor. (mm)	ETo	Kc	ETc (mm)	Reposición de agua de riego			Consumo de agua		Tiempo de riego (min)
									Pp	Nec. Netas (mm)	Nec. Totales (mm)	C.C.	Descenso tolerable	
1	11.0	0.50	49.5	0.80	6.0	4.8	0.45	2.16		2.16	2.4	52.00	49.84	2.79
2	9.5	0.10	52.4	0.80	7.5	6.0	0.45	2.70		2.70	3.0	52.54	49.84	3.48
3	9.2	0.80	42.4	0.80	6.5	5.2	0.45	2.34		2.34	2.6	52.18	49.84	3.02
4	11.5	1.50	46.3	0.80	5.0	4.0	0.45	1.80		1.80	2.0	51.64	49.84	2.32
5	12.0	1.20	54.2	0.80	6.0	4.8	0.45	2.16		2.16	2.4	52.00	49.84	2.79
6	10.6	0.05	49.6	0.80	7.0	5.6	0.45	2.52		2.52	2.8	52.36	49.84	3.25
7	11.5	0.00	48.7	0.80	5.0	4.0	0.45	1.80		1.80	2.0	51.64	49.84	2.32
8	9.4	0.50	45.5	0.80	6.0	4.8	0.45	2.16		2.16	2.4	52.00	49.84	2.79
9	9.7	0.00	42.6	0.80	7.0	5.6	0.45	2.52		2.52	2.8	52.36	49.84	3.25
10	11.6	0.00	38.5	0.7	7.0	4.9	0.45	2.21		2.21	2.5	52.05	49.84	2.9
11	9.0	0.00	46.7	0.80	6.5	5.2	0.45	2.34		2.34	2.6	52.18	49.84	3.02
12	10.7	0.70	42.6	0.80	6.5	5.2	0.45	2.34		2.34	2.6	52.18	49.84	3.02
13	11.2	0.30	40.7	0.80	7.0	5.6	0.45	2.52		2.52	2.8	52.36	49.84	3.25
14	10.5	0.40	45.3	0.80	6.0	4.8	0.45	2.16		2.16	2.4	52.00	49.84	2.79
15	11.5	0.40	52	0.80	5.0	4.0	0.45	1.80		1.80	2.0	51.64	49.84	2.32
16	11.5	0.50	51.5	0.80	5.0	4.0	0.45	1.80		1.80	2.0	51.64	49.84	2.32
17	12.2	0.00	51.5	0.80	6.0	4.8	0.45	2.16		2.16	2.4	52.00	49.84	2.79
18	11.5	1.20	54.2	0.80	5.0	4.0	0.45	1.80		1.80	2.0	51.64	49.84	2.32
19	11.5	0.60	47.8	0.80	6.0	4.8	0.45	2.16		2.16	2.4	52.00	49.84	2.79
20	12.4	0.10	46.5	0.80	5.0	4.0	0.45	1.80		1.80	2.0	51.64	49.84	2.32
21	11.4	0.00	47.7	0.80	6.0	4.8	0.80	3.84		3.84	4.27	53.68	49.84	4.96
22	10.4	1.10	54.8	0.80	6.0	4.8	0.80	3.84		3.84	4.27	53.68	49.84	4.96
23	13.5	0.00	44.8	0.80	5.0	4.0	0.80	3.20		3.20	3.56	53.04	49.84	4.13
24	11.8	0.00	47.8	0.80	7.0	5.6	0.80	4.48		4.48	4.98	54.32	49.84	5.78
25	11.6	0.30	46.4	0.80	6.0	4.8	0.80	3.84		3.84	4.27	53.68	49.84	4.96
26	12.2	0.20	49.6	0.80	5.0	4.0	0.80	3.20		3.20	3.56	53.04	49.84	4.13
27	12.4	0.10	50.4	0.80	5.0	4.0	0.80	3.20		3.20	3.56	53.04	49.84	4.13
28	12.8	0.00	48.8	0.80	7.0	5.6	0.80	4.48		4.48	4.98	54.32	49.84	5.78
29	11.8	1.20	52.3	0.80	7.0	5.6	0.80	4.48		4.48	4.98	54.32	49.84	5.78
30	14.2	0.80	49.3	0.80	5.0	4.0	0.80	3.20		3.20	3.56	53.04	49.84	4.13
31	12.2	0.00	54.8	0.80	7.0	5.6	0.80	4.48		4.48	4.98	54.32	49.84	5.78
32	11.4	0.26	65.4	0.80	0.0	0.0	0.80	0.00	11	0.00	0.00	49.84	49.84	0.00
33	11.6	0.60	55.7	0.80	4.5	3.6	0.80	2.88		2.88	3.2	52.72	49.84	3.72
34	12.3	0.70	49.3	0.80	5.5	4.4	0.80	3.52		3.52	3.91	53.36	49.84	4.54
35	12.8	0.46	48.5	0.80	6.0	4.8	0.80	3.84		3.84	4.27	53.68	49.84	4.96
36	12.4	1.20	52.4	0.80	7.0	5.6	0.80	4.48		4.48	4.98	54.32	49.84	5.78
37	12.2	1.24	54.2	0.80	6.0	4.8	0.80	3.84		3.84	4.27	53.68	49.84	4.96

38	13.0	0.00	38	0.70	7.0	4.9	0.80	3.92		3.92	4.36	53.76	49.84	5.06
39	13.5	0.20	53	0.80	6.5	5.2	0.80	4.16		4.16	4.62	54.00	49.84	5.36
40	13.2	0.80	54.2	0.80	5.0	4.0	0.80	3.20		3.20	3.56	53.04	49.84	4.13
41	12.0	0.60	59.6	0.80	0.0	0.0	0.80	0.00	5	0	0.00	49.84	49.84	0
42	12.7	0.00	52.6	0.80	7.0	5.6	0.80	4.48	1	3.48	3.87	53.32	48.84	4.49
43	15.2	0.2	44.2	0.80	4.0	3.2	0.80	2.56		2.56	2.84	51.40	48.84	3.3
44	12.2	0.4	45.6	0.80	6.0	4.8	0.80	3.84		3.84	4.27	52.68	48.84	4.96
45	12.3	0	48.3	0.80	7.0	5.6	0.80	4.48		4.48	4.98	53.32	48.84	5.78
46	12.5	0.25	46.4	0.80	6.0	4.8	0.80	3.84		3.84	4.27	52.68	48.84	4.96
47	12.8	0.1	44.8	0.80	6.0	4.8	0.80	3.84		3.84	4.27	52.68	48.84	4.96
48	12.4	0.2	46.2	0.80	6.0	4.8	0.80	3.84		3.84	4.27	52.68	48.84	4.96
49	14.4	1.2	42.3	0.80	7.0	5.6	0.80	4.48		4.48	4.98	53.32	48.84	5.78
50	11.4	0.36	59.4	0.80	5.0	4.0	0.80	3.20	0.1	3.1	3.44	51.94	48.74	3.99
51	12.4	0.24	39.2	0.70	6.0	4.2	1.15	4.83		4.83	5.37	53.57	48.74	6.23
52	12.5	0	23.2	0.70	6.0	4.2	1.15	4.83		4.83	5.37	53.57	48.74	6.23
53	14.2	1.22	51.4	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	55.18	48.74	8.31
54	14.0	0.85	43.2	0.80	6.0	4.8	1.15	5.52		5.52	6.13	54.26	48.74	7.12
55	14.2	0.52	47.1	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	55.18	48.74	8.31
56	13.0	0.2	48.6	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	55.18	48.74	8.31
57	12.7	0.6	34	0.70	7.0	4.9	1.15	5.64		5.64	6.26	54.38	48.74	7.27
58	11.7	0.8	25.3	0.70	7.0	4.9	1.15	5.64		5.64	6.26	54.38	48.74	7.27
59	12.4	0.7	42	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	55.18	48.74	8.31
60	13.2	0.5	46	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	55.18	48.74	8.31
61	12.6	0.35	44.6	0.80	6.0	4.8	1.15	5.52		5.52	6.13	54.26	48.74	7.12
62	15.2	0.31	51.8	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	55.18	48.74	8.31
63	13.7	0.35	50.4	0.80	7.5	6.0	1.15	6.90		6.9	7.67	55.64	48.74	8.90
64	14.5	0.8	55	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44	2	4.44	4.93	53.18	46.74	5.72
65	16.0	0.2	37.2	0.70	5.5	3.9	1.15	4.43		4.43	4.92	51.17	46.74	5.71
66	14.1	0	41.8	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
67	13.8	0.4	45.2	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
68	14.6	0.72	45.3	0.80	6.5	5.2	1.15	5.98		5.98	6.64	52.72	46.74	7.71
69	16.0	0.3	46.2	0.80	6.5	5.2	1.15	5.98		5.98	6.64	52.72	46.74	7.71
70	15.0	0.8	48.7	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
71	16.0	0.7	38	0.70	6.0	4.2	1.15	4.83		4.83	5.37	51.57	46.74	6.23
72	11.5	0.8	33.2	0.80	5.0	4.0	1.15	4.60		4.6	5.11	51.34	46.74	5.93
73	14.6	0.75	26.7	0.70	7.0	4.9	1.15	5.64		5.64	6.26	52.38	46.74	7.27
74	13.7	0.9	37.6	0.70	6.0	4.2	1.15	4.83		4.83	5.37	51.57	46.74	6.23
75	14.2	0.8	41.2	0.70	7.0	4.9	1.15	5.64		5.64	6.26	52.38	46.74	7.27
76	13.0	0.6	42.4	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
77	13.8	0.82	46.2	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
78	14.3	0.55	38.4	0.70	6.0	4.2	1.15	4.83		4.83	5.37	51.57	46.74	6.23
79	13.6	0.92	43.6	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
80	14.4	0.72	41.2	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
81	13.8	0.64	41.6	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
82	11.8	0.88	44.2	0.80	6.5	5.2	1.15	5.98		5.98	6.64	52.72	46.74	7.71
83	13.5	0.94	40.6	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
84	14.2	0.75	39.1	0.70	7.0	4.9	1.15	5.64		5.64	6.26	52.38	46.74	7.27

85	14.7	0.84	43.7	0.80	7.0	5.6	1.15	6.44		6.44	7.16	53.18	46.74	8.31
86	15.2	0.62	46.4	0.80	7.0	5.6	1.05	5.88		5.88	6.53	52.62	46.74	7.58
87	14.6	0.84	43.8	0.80	7.0	5.6	1.05	5.88		5.88	6.53	52.62	46.74	7.58
88	12.4	0.9	38.5	0.70	6.0	4.2	1.05	4.41		4.41	4.90	51.15	46.74	5.69
89	13.6	1.2	45.3	0.80	7.0	5.6	1.05	5.88		5.88	6.53	52.62	46.74	7.58
90	14.2	0.76	40.8	0.80	7.0	5.6	1.05	5.88		5.88	6.53	52.62	46.74	7.58
91	14.5	0.5	43.2	0.80	7.0	5.6	1.05	5.88		5.88	6.53	52.62	46.74	7.58
92	13.4	0.4	38.2	0.70	6.0	4.2	1.05	4.41		4.41	4.90	51.15	46.74	5.69
93	15.3	0.68	42.1	0.80	7.0	5.6	1.05	5.88		5.88	6.53	52.62	46.74	7.58
94	14.2	0.84	43.5	0.80	7.0	5.6	1.05	5.88		5.88	6.53	52.62	46.74	7.58
95	13.5	0.7	41.6	0.80	7.0	5.6	1.05	5.88		5.88	6.53	52.62	46.74	7.58
96	11.6	0.56	43	0.80	6.5	5.2	1.05	5.46		5.46	6.07	52.20	46.74	7.05
97	13.4	0.74	40.8	0.80	7.0	5.6	1.05	5.88		5.88	6.53	52.62	46.74	7.58

Agua requerida hasta la cosecha (mm/m2): 467.4

Agua requerida hasta la cosecha (mm/Área Total): 154,256

Agua requerida hasta la cosecha (m3/Área Total): 154.26

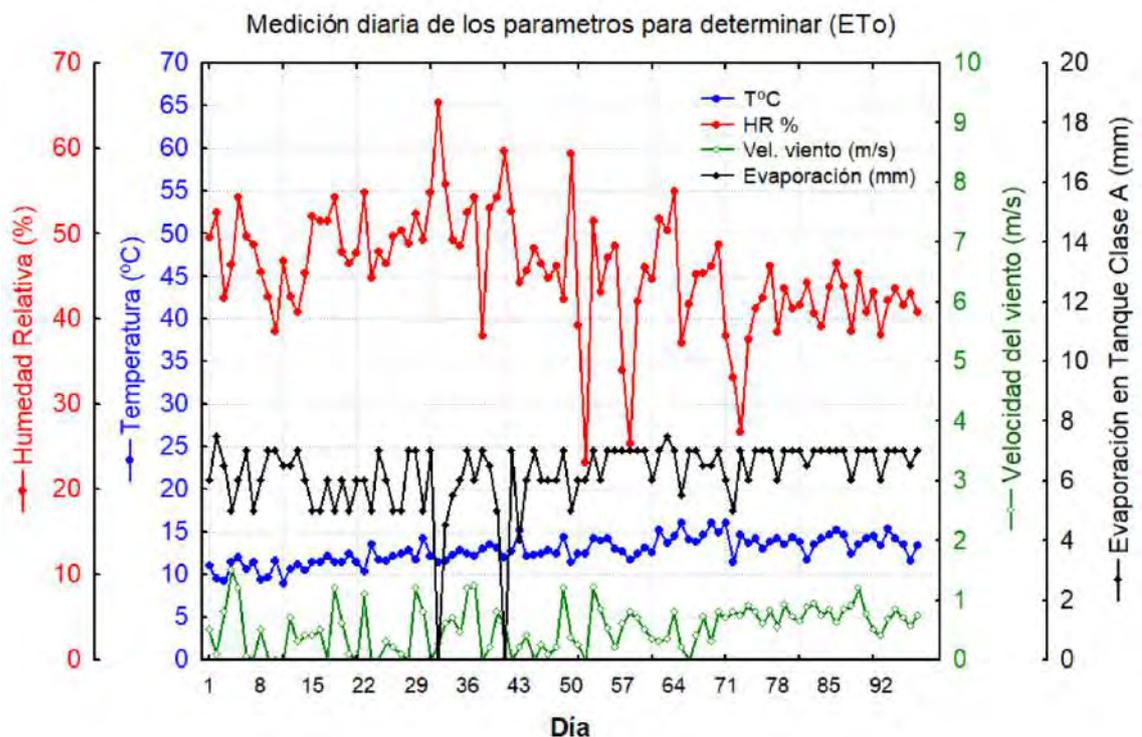


Gráfico del comportamiento diario de %HR, T(°C), Velocidad del viento (m/s), y Evaporación en el Tanque Clase A (mm).

**Anexo 6.**  
**Métodos y fórmulas para el diseño**  
**Hidráulico.**

DISEÑO HIDRAULICO DE RIEGO POR GOTEO

Tramo	Longitud Tramo (m)	Caudal Salida / tramo (m³/s)	Caudal de la Red		Rugosidad C	Diámetro Nominal (Dn) (mm)	Diámetro Interno (Di) (mm)	Diámetro Interno (Dl) (m)	Velocidad (V) (m/s)	Pérdida Unitaria (J) (mca/m)	Pérdidas Principales Tramo (Hf) (mca)	Pérdidas Accesorias (Hr) (mca)	Pérdidas Totales Tramo (Hf+Hr) (mca)	Pérdidas Totales Acumulada (mca)	Cota		Desnivel Tramo (ΔZ) (m)	Desnivel Acumulado (m)	Presión Estática (Pe) (m.c.a)	Presión Dinámica (Pd) (m.c.a)
			L/s	m³/s											Inico	Final				
															(m.c.a)	(m.c.a)				
Hidrante - Arco	25.10	0.00	2.00	0.0020	140.00	32	28.00	0.0280	3.25	0.4144	10.40	0.00	10.40	10.40	3403.00	3405.00	-2.00	-2.00	2.00	21.60
Arco de riego	2.00	0.00	2.00	0.0020	140.00	32	28.00	0.0280	3.25	0.4144	0.83	0.04	0.87	0.87	3405.00	3405.00	0.00	0.00	2.00	20.73
AR - Tee01	1.60	0.00	2.00	0.0020	140.00	32	28.00	0.0280	3.25	0.4144	0.66	0.00	0.66	0.66	3405.00	3405.00	0.00	0.00	2.00	20.07
Tee01 - V5	11.15	0.667	0.67	0.0007	140.00	32	28.00	0.0280	1.08	0.0542	0.90	0.01	0.61	0.61	3405.00	3404.80	0.20	0.20	1.80	19.92
Tee01 - Tee02	6.10	0.000	1.333	0.0013	140.00	32	28.00	0.0280	2.17	0.1856	1.19	0.00	1.19	1.19	3405.00	3402.65	2.35	2.35	-0.55	16.38
Tee02 - V9	11.56	0.667	0.667	0.0007	140.00	32	28.00	0.0280	1.08	0.0542	0.63	0.01	0.63	0.63	3402.65	3402.55	0.10	0.10	-0.65	15.64
Tee02 - V12	16.65	0.667	0.667	0.0007	140.00	32	28.00	0.0280	1.08	0.0542	0.90	0.01	0.91	0.91	3402.65	3401.00	1.65	1.65	-2.20	13.82
	74.16										HfT	15.28			ΔZt	2.30				

$P_o = P_n + h_s \pm Z$   
 $P_o = 22.98 \text{ mca}$   
 $P = 10$   
 $HfT = 15.28$   
 $\Delta Zt = 2.30$   
 $hf = 10.67 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.87}} \cdot L$

DISEÑO HIDRÁULICO EN TUBERÍAS TERCIARIAS Y LATERALES DE RIEGO

La pérdida de carga de la unidad de riego es suma de la pérdida de carga producida en el lateral, hl, más la pérdida producida en la tubería terciaria, ht:

$\Delta Hu = h_l + h_t$

$\Delta Hu \pm Z = \frac{0.1}{x} p$

$h_l \pm Z_l + h_t \pm Z_t = \frac{0.1}{x} p$

- x: Exponente de descarga del gotero.
- p: Presión de operación del gotero.
- hl: pérdida de carga en laterales
- ht: pérdida de carga en tuberías terciarias.
- Z: Diferencia de cotas, en las disposiciones de laterales y terciarias.

CONDICIONES Y CRITERIO TÉCNICO PARA CALCULO HIDRÁULICO EN UNA SUBUNIDAD DE RIEGO

Datos:

$x = 0.594$   
 $p = 10 \text{ mca } 1 \text{ bar}$

Pendiente de terreno: 40%  
 $L = 4 \text{ m}$   
 $Z = L \cdot 40\% = 1.6 \text{ m}$

Desnivel en Tubería Terciaria descendente  
 Desnivel en Tubería Laterales descendente

$\Delta Hu \leq \frac{0.1}{x} p \pm Z_l \pm Z_t$

$\Delta Hu \leq 0.084 \text{ mca}$

Coefficiente de forma de la unidad, CF, definido éste último como la relación entre las longitudes del lateral, Ll, y la longitud de la tubería terciaria, Lt.

$CF = \frac{L_l}{L_t}$

Unidad	Tratamiento	TOTAL
Ll = 4 m	12 m	36 m
Lt = 4 m	12 m	36 m

$CF = 1 \text{ m}$

El reparto óptimo, R, se define como la relación entre las pérdidas de presión en el lateral y las pérdidas en el total de la unidad de riego.  $R = \frac{h_l}{\Delta H_u}$

Según el tipo de alimentación de los tubos laterales se utilizará una de las dos fórmulas siguientes.

a) laterales alimentados por un extremo  $R = \frac{0.842 * CF^{0.1577}}{S^{0.060}}$

b) laterales alimentados por el punto medio

$R = \frac{0.776 * CF^{0.1402}}{S^{0.054}}$

$S = 0.12 \text{ m}^2$

$R = 0.95623$

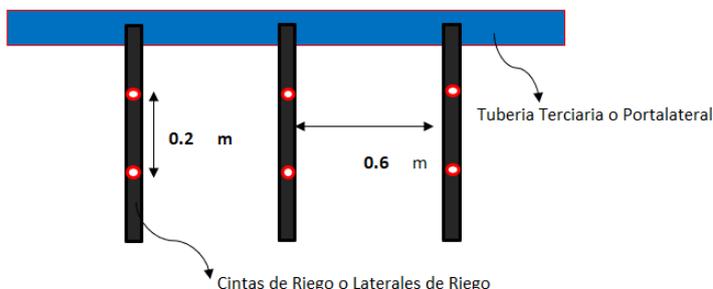
Reparto de presión:

Laterales: 95.62%  
 Terciarias: 4.38%

Por consiguiente:

$h_l = R * \Delta H_u$

$h_l = 0.080 \text{ mca}$   
 $h_t = 0.004 \text{ mca}$





La pérdida de presión continua del tubo lateral no es real ya que a lo largo del ramal nos encontramos con las salidas de agua en los goteros y por tanto con una disminución progresiva del caudal en el tubo.

**Coefficiente reductor de Christiansen (CR)**

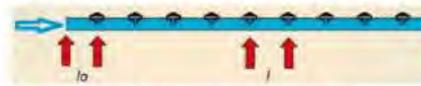
Para calcularlo emplearemos la siguiente expresión (en el supuesto de que el primer gotero se encuentre a una distancia  $l_0$  igual a la distancia entre el resto de goteros  $l$ , es decir  $l_0 = l$ ):

a)  $l = l_0$

$$CR = \frac{1}{e+1} + \frac{1}{2+n} + \sqrt{\frac{e-1}{6+n^2}}$$

$e = 1.75$  Material de PE  
 $n = 19.00$  Goteros  
 $l_0 = 0.15$  m  
 $l = 0.2$  m

**CR = 0.409**



En el supuesto de que el primer gotero se encuentre a una distancia diferente a la distancia entre goteros se puede corregir la fórmula mediante la siguiente igualdad (T. Montalvo, 1989):

b)  $l \neq l_0$

$$Fr = \frac{r+n \cdot CR - 1}{r+n-1}$$

$r = \frac{l_0}{l}$   
 $r = 0.75$

**Fr = 0.401**

**La pérdida de carga en el lateral, (01 Unidad de Riego) en mca, será:**

$$h_l = f \cdot CR \cdot L_f$$

$$L_f = L + L_e$$

$L_f$ : longitud ficticia. En los tratamientos del experimento, se utilizarán EMISORES INTEGRADOS.

$L$ : Longitud Real. Por tanto, la pérdida de carga en los goteros incorporados (fe), esta dada por la siguiente fórmula.

$L_e$ : Longitud equivalente

$$L_e = K \frac{v^2}{2g} = 0.1 \frac{v^2}{2g}$$

fe: pérdidas producidas por un emisor

K: 0.1

v: velocidad del agua en el interior del lateral



(esta velocidad es función del caudal que circula por el lateral; a medida que nos alejamos del punto de alimentación evidentemente irá reduciéndose, por tanto puede tomarse una velocidad media). La longitud equivalente vendrá dada por:

	Inicio	Medio	Último
$L_e = n \cdot f_e$	$f_e = 9.81$ m/s <sup>2</sup>	$f_e = 9.81$ m/s <sup>2</sup>	$f_e = 9.81$ m/s <sup>2</sup>
Por tanto, la (fe) media será:	$k = 0.1$	$k = 0.1$	$k = 0.1$
$n = 19$ Goteros	$v = 2.2$ m	$v = 1.4$ m	$v = 0.8$ m
<b>Le = 0.24 m</b>	<b>fe = 0.0247 m</b>	<b>fe = 0.010 m</b>	<b>fe = 0.003 m</b>

Calculando la longitud ficticia, para una Unidad de Riego:  $L_f = L + L_e$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$L_f = 4.2402 \text{ m}$$

$$h_l = f \cdot Fr \cdot L_f$$

$$h_l = 35.04 \text{ mca}$$

**PERDIDA DE PRESIÓN EN LATERALES DE RIEGO.**

**Tabla 2 "Presiones según la disposición del lateral sobre el terreno y su condición de diseño"**

	Presión origen* (Po)	Presión extremo (Pu)	Condición diseño lateral
Lateral horizontal	Z=0 Po= PN+0,73 hl	Pu= PN- 0,27 hl	hl ≤ (0,1/x) PN
Lateral ascendente	Z>0 Po= PN+0,73 hl +Z/2	Pu= PN- 0,27 hl -Z/2	hl ≤ [(0,1/x) PN] -Z
Descendente suave	Z<0 y Z< hl Po= PN+0,73 hl -Z/2	Pu= PN-0,27 hl +Z/2	hl ≤ [(0,1/x) PN] +Z
Descendente fuerte	Z<0 y Z> hl Po= PN-0,73 hl -Z/2	Pu= PN-0,27 hl +Z/2	hl ≤ Z+[(0,1/x) PN]

Las presiones en el origen del lateral y en el extremo, según las indicaciones de la tabla 2 para laterales

Z = 0 m	x = 0,594	hl ≤ (0,1/x)PN
PN = 10 mca		hl ≤ 1,6835
Po = PN + 0,73 hl	Pu = PN - 0,27 hl	0,001 ≤ 1,6835
Po = 10 mca	Pu = 10,000	<b>CUMPLE LA CONDICION</b>
hl = Po - Pu		<b>hl = 0,001 mca</b>

hl es la pérdida de carga del lateral. Z se tomará en valor absoluto ya que el signo según la pendiente ya está incluido en las expresiones.

$$Po = PN + 0,73 \text{ hl} - Z/2$$

$$Pu = PN - 0,27 \text{ hl} + Z/2$$

$$hl \leq Z - (0,1/x)PN$$

**CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL CALCULO HIDRÁULICO EN TUBERÍAS TERCIARIAS**

El número de laterales conectados a la tubería terciaria es de:  $L = 50 + S \cdot (n-1)$

$n = (L - S_0/S) + 1$	$L = 36$ m	$S_0$ : Distancia del primer lateral al inicio de la terciaria
$n = 54,067$	$S_0 = 0,8$ m	$S$ : Distancia entre laterales.
<b>n = 54 Laterales</b>	$S = 0,6$ m	$n$ : Número total de laterales conectados a la terciaria

El caudal de entrada en el lateral (Ql):	Ql = 30,4 l/h
El caudal de entrada en la terciaria (Qt):	Qt = 1,642 l/h
	<b>Qt = 0,00046 m<sup>3</sup>/s</b>

Para nuestro caso,  $L = L_f$ , toda vez que los laterales se insertan con empques bilabiales y su conector para las cintas de riego.

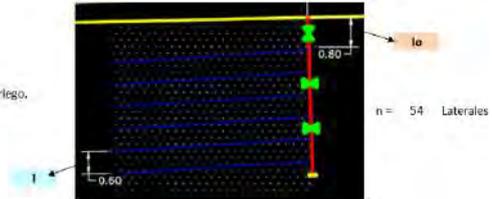
Calculamos el coeficiente reductor CR

a)  $l = l_0$

$$CR = \frac{1}{e+1} + \frac{1}{2+n} + \sqrt{\frac{e-1}{6+n^2}}$$

$e = 1.75$  Material de PE  
 $n = 54.00$  Laterales  
 $l_0 = 0.8$  m  
 $l = 0.6$  m

**CR = 0.379**



Como el primer lateral se sitúa a diferente distancia que el resto debemos aplicar una corrección según la expresión:

b)  $l \neq l_0$

$$Fr = \frac{r+n \cdot CR - 1}{r+n-1}$$

$r = \frac{l_0}{l}$   
 $r = 1.33$

**Fr = 0.383**

Las pérdidas en la tubería terciaria se expresan como:  $ht = J \cdot Fr \cdot L_f$

Como:  $J = 10.67 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.87}}$  Fórmula de Hazen Williams

El diámetro de la tubería terciaria se despreciará de la fórmula de Hazen

C es un coeficiente que depende del material de la conducción y del diámetro de la misma. Para tuberías de PVC y PE y hasta 315 mm de diámetro, se toma C=150.

La pérdida de carga máxima admisible de la tubería terciaria según calculado en la Unidad de riego fue:

**ht = 0,004 mca**

$$h_t = 10.67 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.87}} Fr \cdot L_f$$

$$D = \left( \frac{10.67 \cdot C^{-1.852} Q^{1.852} \cdot Fr \cdot L_f}{h_t} \right)^{\frac{1}{4.87}}$$

Este Cálculo Corresponde, cuando la tubería terciaria sería en una sola unidad de riego. Sin embargo, para nuestro proyecto, se tiene 3 unidades de riego y los caudales tienen salidas entre ellas. Por tanto, el caudal se divide a los tras, según diseño hidráulico.

Las pérdidas de carga continuas con este diámetro serían:

$$J = 10.67 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.87}}$$

**J = 65.17 mca**

Diámetro Requerido = 23.462

**32 mm = 28 mm**

Teóricamente, requeriríamos mangueras HDPE 3/4 pulg = 25mm, sin embargo, los conectores comerciales, estan fabricados para una manguera de 3/2mm = 1 pulg, y utilizaremos este Diámetro.

Las pérdidas de carga totales son:

$$ht = J \cdot Fr \cdot L_f$$

**ht = 85.16 mca**

La presión en el inicio de la tubería terciaria será:

$$Po = Pi + ht \pm Z$$

**Po = 8.400 mca**

Po: Presión en el origen de la tubería terciaria.  
 Pi: Presión de entrada en el lateral más alejado del punto de alimentación.  
 ht: Pérdida de presión en la terciaria.  
 Z: Densivel o cotas de terreno

**Anexo 7.**

**Panel fotográfico de los reportes de  
determinación del radio de suelo  
mojado y formación de bulbo  
húmedo**



Diámetro del suelo mojado  
( $\Phi = 10\text{cm}$ )



Profundidad de bulbo húmedo  
( $h = 11\text{cm}$ )

**a) Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 10%  
a un tiempo de irrigación por 15 minutos.**



Diámetro del suelo mojado  
( $\Phi = 10\text{cm}$ )



Profundidad de bulbo húmedo  
( $h = 16\text{cm}$ )

**b) Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 20%  
a un tiempo de irrigación por 15 minutos.**



Diámetro del suelo mojado  
( $\Phi = 11\text{cm}$ )



Profundidad de bulbo húmedo  
( $h = 19\text{cm}$ )

**c) Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 40%  
a un tiempo de irrigación por 15 minutos.**



Diámetro del suelo mojado  
( $\Phi = 14\text{cm}$ )



Profundidad de bulbo húmedo  
( $h = 24\text{cm}$ )

**d) Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 10%  
a un tiempo de irrigación por 30 minutos.**



Diámetro del suelo mojado  
( $\Phi = 16\text{cm}$ )



Profundidad de bulbo húmedo  
( $h = 26\text{cm}$ )

**e) Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 20%  
a un tiempo de irrigación por 30 minutos.**



Diámetro del suelo mojado  
( $\Phi = 15\text{cm}$ )



Profundidad de bulbo húmedo  
( $h = 27\text{cm}$ )

**f) Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 40%  
a un tiempo de irrigación por 30 minutos.**

A 45min de irrigación en todos los tratamientos, el diámetro del suelo mojado es ( $\Phi > 20\text{cm}$ ), y la profundidad del bulbo húmedo ( $h > 30\text{cm}$ ).



**g) Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 10% a un tiempo de irrigación por 45 minutos.**



**h) Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 20% a un tiempo de irrigación por 45 minutos.**



**i) Formación de bulbo húmedo en parcela con una pendiente de 40% a un tiempo de irrigación por 45 minutos.**

**Anexo 8.**

**Panel fotográfico de los reportes del  
rendimiento de cultivo de arveja  
verde**



Pesado de arvejas con tres replicas, T<sub>0</sub> = Pendiente 0% y tub. terciaria 0  
válvulas



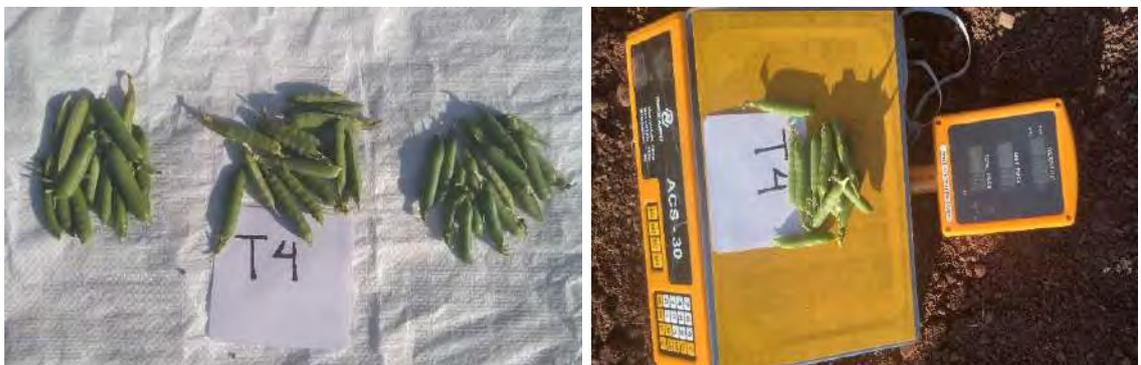
Pesado de arvejas con tres replicas, T<sub>1</sub> = Pendiente 10% y tub. terciaria 0  
válvulas



Pesado de arvejas con tres replicas, T<sub>2</sub> = Pendiente 10% y tub. terciaria 6  
válvulas.



Pesado de arvejas con tres replicas, T3= Pendiente 10% y tub. terciaria 2  
válvulas



Pesado de arvejas con tres replicas, T4= Pendiente 20% y tub. terciaria 2  
válvulas



Pesado de arvejas con tres replicas, T5= Pendiente 20% y tub. terciaria 0  
válvulas



Pesado de arvejas con tres replicas, T6= Pendiente 20% y tub. terciaria 6  
válvulas



Pesado de arvejas con tres replicas, T7= Pendiente 40% y tub. terciaria 6  
válvulas



Pesado de arvejas con tres replicas, T8: Pendiente 40% y tub. terciaria 2  
válvulas.



Pesado de arvejas con tres replicas, T9: Pendiente 40% y tub. terciaria 0  
válvulas.

## **Anexo 9.**

### **Normas de calidad del agua apta para el riego en general**

## **Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias**

DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso; Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación; Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación; Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una

de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo; De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

**Artículo 1.- Objeto de la norma**

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

**Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**  
Apruébese los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

**Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**  
Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

**3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable**

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

**- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección**

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

**- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o

más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

**- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

**b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

**- B1. Contacto primario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

**- B2. Contacto secundario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

**3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**

**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

**b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

**c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

**d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

### **3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

#### **a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

##### **- Agua para riego no restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

##### **- Agua para riego restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

#### **b) Subcategoría D2: Bebida de animales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

### **3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

#### **a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

#### **b) Subcategoría E2: Ríos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

##### **- Ríos de la costa y sierra**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

##### **- Ríos de la selva**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

#### **c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**

##### **- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

#### **- Marinos**

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

#### **Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua**

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

#### **Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio**

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

- a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.
- b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.
- c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos, químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.
- d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.
- e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

#### **Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

#### **Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla**

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

##### **Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados**

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

##### **Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua**

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

### Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
<b>ORGÁNICO</b>				
<b><u>Bifenilos Policlorados</u></b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
<b><u>PLAGUICIDAS</u></b>				
Paratión	µg/L	35		35
<b><u>Organoclorados</u></b>				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
<b><u>Carbamato</u></b>				
Aldicarb	µg/L	1		11
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**