

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**



**“CAMBIO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GRAVEDAD A  
GOTEO Y FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN EN EL CULTIVO DE  
TARA (*Caesalpinia spinosa*)”**

**Presentada por:**

**ROSANNA ROMERO DULANTO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE**

**Lima - Perú**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**

**“CAMBIO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GRAVEDAD A  
GOTEO Y FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN EN EL CULTIVO DE  
TARA (*Caesalpinia spinosa*)”**

**VGURCTC'QRVCT'GN'I TCFQ'FG'O CGUVTQ  
O CI KUVGT'UEKPVKCG**

**Presentada por:**

**ROSANNA ROMERO DULANTO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Mg.Sc. Luis Razzuri Ramírez  
**PRESIDENTE**

Ph.D. David Ascencios Templo  
**ASESOR**

Dr. Oscar Loli Figueroa  
**CO - ASESOR**

Mg.Sc. Edgardo Alaluna Gutiérrez  
**MIEMBRO**

Ph.D. Enrique González Mora  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

*a Dios, quien, como guía, está presente en el caminar  
de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para  
continuar con mis metas trazadas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Universidad Nacional Agraria La Molina, mi Alma Mater, por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años y hermosos momentos vividos.*

*A mi asesor, Ph. D. David Ricardo Ascencios Templo que con su amplia experiencia y conocimientos me orientaron durante toda la etapa experimental y redacción de esta investigación; así mismo, por brindarme su tiempo y su apreciada amistad.*

*A mi Co-asesor Dr. Oscar Loli Figueroa, por haberme guiado, no solo en la parte agronómica de la presente investigación, sino a lo largo de mi carrera universitaria, brindándome los conocimientos para desarrollarme profesionalmente.*

*Al Sr. Giancarlo Belloni Cáceres, por haber permitido la realización del trabajo experimental en el fundo de la familia Belloni y brindarme todas las facilidades para la realización del mismo.*

*Al Ing. Antony Arango y Alan Santistevan, por su colaboración en la instalación del sistema de riego.*

*Al personal del fundo Belloni, Samuel Rojas y Edilberto Quispe, por su apoyo en el monitoreo de los parámetros climáticos y labores agronómicas.*

*Por último, quiero agradecer a mi familia, por apoyarme moral y emocionalmente. En especial, a mi hijo Fernando y a mi compañero de vida, Marlon, que siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL</b>	<b>3</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>3</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
<b>2.1. TARA (<i>Caesalpinia spinosa</i>)</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1. Características y requerimientos de la planta</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2. Características fenológicas</b>	<b>5</b>
<b>2.1.3. Rendimiento</b>	<b>7</b>
<b>2.1.4. Valor comercial de la tara</b>	<b>8</b>
<b>2.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA RADICAL</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1. Rizósfera</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2. Hidrotropismo</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3. Métodos de medición de raíces</b>	<b>15</b>
<b>2.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO</b>	<b>17</b>
<b>2.3.1. Textura arenosa</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2. Suelos pedregosos</b>	<b>17</b>
<b>2.4. COEFICIENTES HÍDRICOS</b>	<b>18</b>
<b>2.4.1. Capacidad de campo (CC)</b>	<b>18</b>
<b>2.4.2. Punto de marchitez (PM)</b>	<b>18</b>
<b>2.4.3. Densidad aparente (Da)</b>	<b>19</b>
<b>2.4.4. Métodos para monitorear la humedad del suelo</b>	<b>19</b>
<b>2.5. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO</b>	<b>21</b>
<b>2.5.1. Salinidad</b>	<b>21</b>
<b>2.5.2. Sodicidad</b>	<b>22</b>
<b>2.5.3. Toxicidad</b>	<b>24</b>
<b>2.5.4. Elementos que obturan los emisores</b>	<b>25</b>

<b>2.6. EVAPOTRANPIRACIÓN (ET)</b>	28
2.6.1. Evapotranspiración potencial o de cultivo de referencia (ET <sub>o</sub> )	29
2.6.2. Evapotranspiración del cultivo (ET <sub>c</sub> )	30
2.6.3. Coeficiente del cultivo (K <sub>c</sub> )	30
2.6.4. Coeficiente de riego (fr)	30
2.6.5. Métodos para determinar la evapotranspiración	31
<b>2.7. RIEGO POR GRAVEDAD</b>	34
2.7.1. Fases del riego	35
2.7.2. Velocidad de infiltración	36
2.7.3. Eficiencia del riego	38
<b>2.8. SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO</b>	40
2.8.1. Criterios del diseño del sistema de riego localizado de alta frecuencia (RLAF)	41
2.8.2. Coeficiente de uniformidad (CU)	44
2.8.3. Componentes del sistema	44
2.8.4. Operación y mantenimiento del sistema	49
<b>2.9. CAMBIO DE SISTEMA DE RIEGO DE GRAVEDAD A GOTEO</b>	52
<b>2.10. FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DEL AGUA</b>	54
2.10.1. Productividad del agua (WP), productividad agronómica del agua o uso eficiente del agua	56
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	58
<b>3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	58
3.1.1. Ubicación área experimental	58
3.1.2. Cultivos	59
<b>3.2. VARIABLES CLIMÁTICAS Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET<sub>o</sub>)</b>	61
<b>3.3. RECURSO HÍDRICOS</b>	62
<b>3.4. TOPOGRAFÍA</b>	64
<b>3.5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO</b>	65
<b>3.6. MATERIALES, EQUIPO E INSUMOS</b>	65
<b>3.7. METODOLOGÍA</b>	68
3.7.1. Diagnóstico del riego por gravedad	68
3.7.2. Diseño estadístico	70
3.7.3. Diseño e instalación del sistema de riego por goteo en el área experimental	72
3.7.4. Evaluación del cambio del sistema de riego por gravedad a goteo en el cultivo de tara	76

3.7.5. Evaluación de los efectos en el rendimiento a diferentes volúmenes aplicados de agua y función de producción	78
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>79</b>
<b>4.1. DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL ÁREA EXPERIMENTAL</b>	<b>79</b>
4.1.1. Datos básicos	79
4.1.2. Variables climáticas y evapotranspiración potencial	81
4.1.3. Análisis químico del agua	81
4.1.4. Coeficientes hídricos y capacidad de retención del suelo	85
4.1.5. Diagnóstico del riego por gravedad	90
4.1.6. Diseño de riego por goteo	97
4.1.7. Instalación del sistema de riego	106
4.1.8. Manejo de algas en el reservorio	112
4.1.9. Operación y mantenimiento del sistema	114
4.1.10. Inversión inicial del sistema de riego y actividades/obras complementarias	119
<b>4.2. EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE SISTEMA DE RIEGO POR GRAVEDAD A GOTEO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CULTIVO DE TARA</b>	<b>121</b>
4.2.1. Eficiencia del riego por gravedad y del riego por goteo	121
4.2.2. Láminas y tiempo de riego para los diferentes tratamientos por goteo	127
4.2.3. Evaluación de los parámetros agronómicos del cultivo	128
a. Labores culturales realizadas	128
a.1. Abonamiento	128
a.2. Fertilización edáfica y foliar	131
a.3. Control de plagas y enfermedades	135
b. Etapas fenológicas	135
b.1. Floración	136
b.2. Racimo con apertura floral	139
b.3. Inicio de cuajado hasta vainas menores de 2 cm de largo	141
b.4. Crecimiento de vaina (vainas > 2 cm) hasta vainas con llenado de semilla	143
b.5. Cosecha	145
b.6. Postcosecha	149
c. Cobertura verde	151
d. Evaluación de la zona radicular	154
d.1. Evaluación de la distribución de raíces	154
d.2. Evaluación de los frentes de humedad del suelo	162

<b>4.2.4. Balance hídrico utilizando el riego por goteo</b>	170
<b>4.3. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN EL RENDIMIENTO A DIFERENTES VOLÚMENES DE AGUA APLICADA Y FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN</b>	171
<b>4.3.1. Rendimiento total</b>	171
<b>4.3.2. Rendimiento comercial</b>	173
<b>4.3.3. Peso unitario de vaina de calidad comercial</b>	175
<b>4.3.4. Función de producción</b>	176
<b>4.3.5. Costo de producción</b>	181
<b>V. CONCLUSIONES</b>	184
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	186
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	187
<b>VIII. ANEXO</b>	197



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1: Comparativo de la duración, unidad calor y precipitación acumulada de los biotipos almidón y morocho en la localidad de Paquecc - Huanta .....</b>	<b>7</b>
<b>Cuadro 2: Rendimiento de algunas plantaciones establecidas en la costa peruana .....</b>	<b>8</b>
<b>Cuadro 3: Clasificación de los suelos según porcentaje de piedras presentes en el suelo .....</b>	<b>17</b>
<b>Cuadro 4: Propiedades físicas del suelo de un parque de olivo .....</b>	<b>18</b>
<b>Cuadro 5: Ventajas y desventajas de algunos métodos usados para monitorear la humedad del suelo.....</b>	<b>20</b>
<b>Cuadro 6: Criterios para evaluar la calidad de agua de riego: Salinidad.....</b>	<b>21</b>
<b>Cuadro 7: Valores ajustados de calcio para calcular la RAS ajustada .....</b>	<b>23</b>
<b>Cuadro 8: Criterios para evaluar la calidad de agua de riego: RAS en relación con la CEa ..</b>	<b>23</b>
<b>Cuadro 9: Interpretación del nivel de RAS en el agua y sus alternativas de prevención a nivel del suelo.....</b>	<b>24</b>
<b>Cuadro 10: Criterios para evaluar la calidad de agua de riego: Toxicidad de algunos elementos.....</b>	<b>24</b>
<b>Cuadro 11: Clasificación de la dureza del agua.....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 12: Problemas potenciales con respecto a la calidad del agua en el riego por goteo...28</b>	
<b>Cuadro 13: Valores de Kp para el tanque clase A. Caso A, en base a la velocidad media del viento y la humedad relativa .....</b>	<b>33</b>
<b>Cuadro 14: Velocidad media de infiltración para diferentes texturas de suelo .....</b>	<b>38</b>
<b>Cuadro 15: Porcentaje de permeabilidad según las constantes A y m .....</b>	<b>39</b>
<b>Cuadro 16: Eficiencia de aplicación según método de riego y grado de manejo .....</b>	<b>40</b>
<b>Cuadro 17: Problemas diagnosticados a través del caudal y la presión del sistema de riego ..</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro 18: Datos básicos de los cultivos por lote en el fundo Belloni.....</b>	<b>60</b>
<b>Cuadro 19: Análisis químico del agua de puquio .....</b>	<b>64</b>
<b>Cuadro 20: Diagnostico preliminar del suelo .....</b>	<b>65</b>
<b>Cuadro 21: Materiales y equipos para la instalación del sistema de riego.....</b>	<b>66</b>
<b>Cuadro 22: Materiales y equipo para la instalación de rizotrones .....</b>	<b>66</b>
<b>Cuadro 23: Materiales e insumos para la instalación del tanque evaporímetro.....</b>	<b>67</b>

<b>Cuadro 24: Materiales e insumos para el mantenimiento del reservorio</b> .....	67
<b>Cuadro 25: Materiales e insumos para las evaluaciones de campo y pruebas de coeficiente de uniformidad</b> .....	67
<b>Cuadro 26: Materiales y equipo para la medición de caudales a nivel de surco</b> .....	67
<b>Cuadro 27: Relación de análisis realizados</b> .....	68
<b>Cuadro 28: Relación de pesticidas utilizados</b> .....	68
<b>Cuadro 29: Relación de fertilizantes</b> .....	68
<b>Cuadro 30: Descripción de los tratamientos según el factor riego (fr) asignado</b> .....	71
<b>Cuadro 31: Características de los tarros muestreadores utilizados para el cálculo de la densidad aparente y porcentaje de piedras</b> .....	73
<b>Cuadro 32: Características de la fuente energética</b> .....	79
<b>Cuadro 33: Datos climáticos año 2020</b> .....	82
<b>Cuadro 34: Cuadro comparativo de dos análisis de agua extraídos en épocas de avenida y estiaje</b> .....	84
<b>Cuadro 35: Calculo del Índice de Langelier</b> .....	85
<b>Cuadro 36: Calculo de la densidad aparente (Da) y porcentaje de piedras (Pp) por horizonte del perfil del suelo</b> .....	87
<b>Cuadro 37: Cuadro comparativo de la variación de las partículas finas del suelo al considerar el porcentaje de piedras</b> .....	87
<b>Cuadro 38: Análisis químico del suelo</b> .....	89
<b>Cuadro 39: Oferta de agua anual aproximada campaña 2020</b> .....	90
<b>Cuadro 40: Volumen de agua aplicado campaña 2020</b> .....	91
<b>Cuadro 41: Balance hídrico bajo riego por gravedad campaña 2020</b> .....	91
<b>Cuadro 42: Calculo del tiempo total de aplicación del riego por gravedad</b> .....	93
<b>Cuadro 43: Calculo del tiempo de receso</b> .....	93
<b>Cuadro 44: Lamina acumulada y velocidad de infiltración obtenida (repetición 1)</b> .....	95
<b>Cuadro 45: Lamina acumulada y velocidad de infiltracion (repeticion 2)</b> .....	96
<b>Cuadro 46: Marco de plantación y profundidad de raíces del cultivo</b> .....	97
<b>Cuadro 47: Resumen de las características del suelo tomadas en cuenta para el Diseño Agronómico</b> .....	98
<b>Cuadro 48: CE y pH del agua de riego</b> .....	98
<b>Cuadro 49: Rendimiento y distancia longitudinal máxima del gotero Eurodrip PC2</b> .....	99
<b>Cuadro 50: Características del emisor</b> .....	99
<b>Cuadro 51: Porcentaje de área mojada del surco de riego</b> .....	100
<b>Cuadro 52: Resumen del Diseño Agronómico</b> .....	101

<b>Cuadro 53: Resumen Diseño Hidráulico .....</b>	<b>102</b>
<b>Cuadro 54: Categorías para evaluar el coeficiente de uniformidad (CU).....</b>	<b>118</b>
<b>Cuadro 55: Pruebas de coeficiente de uniformidad (CU) .....</b>	<b>118</b>
<b>Cuadro 56: Inversión de los materiales del sistema de riego en 892.5 m<sup>2</sup> .....</b>	<b>120</b>
<b>Cuadro 57: Inversión de los materiales complementarios utilizados en el sistema de riego en 892.5 m<sup>2</sup>.....</b>	<b>120</b>
<b>Cuadro 58: Costo de mano de obra de la instalación del sistema de riego en 892.5 m<sup>2</sup> .....</b>	<b>121</b>
<b>Cuadro 59: Costo de la elaboración del tanque tipo A .....</b>	<b>121</b>
<b>Cuadro 60: Inversión total de la instalación del sistema de riego en 892.5 m<sup>2</sup> .....</b>	<b>121</b>
<b>Cuadro 61: Calculo de la pérdida por conducción según material del canal.....</b>	<b>123</b>
<b>Cuadro 62: Eficiencia de aplicación del riego por gravedad.....</b>	<b>124</b>
<b>Cuadro 63: Lamina aplicada en el riego por goteo según tratamiento .....</b>	<b>126</b>
<b>Cuadro 64: Pruebas de CU del riego por goteo.....</b>	<b>127</b>
<b>Cuadro 65: Tiempos de riego en función de la reposición de agua en el tanque tipo A (ETo) según tratamiento.....</b>	<b>128</b>
<b>Cuadro 66: Análisis de materia orgánica (MO) del estiércol aplicado.....</b>	<b>130</b>
<b>Cuadro 67: Aporte de la materia orgánica al suelo (MOS).....</b>	<b>130</b>
<b>Cuadro 68: Aporte de nutrientes de la materia orgánica aplicada.....</b>	<b>130</b>
<b>Cuadro 69: Aporte de nutrientes del análisis de suelo.....</b>	<b>131</b>
<b>Cuadro 70: Aporte de nutrientes en base al analisis de agua.....</b>	<b>132</b>
<b>Cuadro 71: Aporte total de nutrientes del agua, del suelo y del estiércol de vacuno .....</b>	<b>132</b>
<b>Cuadro 72: Numero de inflorescencias por planta (F1) .....</b>	<b>138</b>
<b>Cuadro 73: Numero de racimos con apertura floral (F2) .....</b>	<b>140</b>
<b>Cuadro 74: Numero de racimos de vainas cuajadas con tamaño de vaina &lt; 2 cm de largo ..</b>	<b>142</b>
<b>Cuadro 75: Crecimiento de vaina &gt; 2 cm de largo (C2) .....</b>	<b>144</b>
<b>Cuadro 76: Numero de vainas cosechadas .....</b>	<b>145</b>
<b>Cuadro 77: Comparativo de las etapas fenológicas bajo las condiciones climáticas de Pachacamac y Ayacucho.....</b>	<b>147</b>
<b>Cuadro 78: Etapas fenológicas del cultivo de tara en la zona de Pachacamac .....</b>	<b>147</b>
<b>Cuadro 79: Rendimiento y lamina acumulada de riego .....</b>	<b>148</b>
<b>Cuadro 80: Concentración de taninos en vaina comercial de tara según tratamiento.....</b>	<b>149</b>
<b>Cuadro 81: Cobertura verde y porcentaje de cobertura verde máxima .....</b>	<b>151</b>
<b>Cuadro 82: Crecimiento de la cobertura verde (%) .....</b>	<b>153</b>
<b>Cuadro 83: Demanda hídrica del cultivo de tara y pera en el Fundo Belloni en un supuesto de riego por goteo y cambio de la fecha del inicio de campaña de la plantación de tara .....</b>	<b>171</b>

<b>Cuadro 84: Balance hídrico propuesto en un supuesto de riego por goteo y cambio de la fecha del inicio de campaña de la plantación de tara .....</b>	<b>171</b>
<b>Cuadro 85: Rendimiento obtenido por tratamiento .....</b>	<b>172</b>
<b>Cuadro 86: Rendimiento y porcentaje de vainas comerciales .....</b>	<b>174</b>
<b>Cuadro 87: Peso unitario de vaina de calidad comercial .....</b>	<b>175</b>
<b>Cuadro 88: Lamina acumulada y rendimiento obtenido por tratamiento.....</b>	<b>176</b>
<b>Cuadro 89: Rendimiento y productividad del agua (kg/m<sup>3</sup>) .....</b>	<b>180</b>
<b>Cuadro 90: Costos de producción por hectárea con riego por gravedad .....</b>	<b>181</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Vaina, semilla, goma y polvo de tara (Caesalpinia spinosa)</b> .....	10
<b>Figura 2: Relación entre la copa y sistema radicular en una plantación de cerezo con sistema de riego por goteo</b> .....	13
<b>Figura 3: Parte de la raíz y la rizosfera</b> .....	14
<b>Figura 4: Rizotróf en maíz</b> .....	16
<b>Figura 5: Representación esquemática de un estoma</b> .....	29
<b>Figura 6: Medidor ambiental Kestrel 5000</b> .....	31
<b>Figura 7: Dimensiones del tanque evaporímetro clase A</b> .....	33
<b>Figura 8: Fases del riego por gravedad</b> .....	35
<b>Figura 9: Velocidad de infiltración instantánea e infiltración acumulada</b> .....	37
<b>Figura 10: Disposición de dos líneas de laterales por hilera de planta</b> .....	43
<b>Figura 11: Componentes de un sistema de riego</b> .....	45
<b>Figura 12: Filtro de malla y anillas de distintos tipos y tamaños con sus elementos filtrantes</b> .....	46
<b>Figura 13: Diagrama de una red de distribución</b> .....	47
<b>Figura 14: Curvas de gasto real de un gotero de régimen laminar, turbulento y autocompensante</b> .....	48
<b>Figura 15: Respuesta de la producción de un cultivo al riego (Función de producción)</b> .....	55
<b>Figura 16: Localización del área experimental en el fundo Belloni</b> .....	58
<b>Figura 17: Ubicación del área experimental en la plantación de tara</b> .....	59
<b>Figura 18: Localización de los cultivos por lote en el fundo Belloni</b> .....	60
<b>Figura 19: Instalación del tanque tipo A en el área experimental</b> .....	62
<b>Figura 20: Ubicación del fundo Belloni, río Lurín y puquio Pan de Azúcar</b> .....	63
<b>Figura 21: Imagen de pendientes del fundo Belloni</b> .....	64
<b>Figura 22: Calicata en el área experimental</b> .....	69
<b>Figura 23: Aforador tipo Ballofet</b> .....	70
<b>Figura 24: Prueba de infiltración por el método del surco trunco</b> .....	70
<b>Figura 25: Unidad experimental</b> .....	71
<b>Figura 26: Distribución de los tratamientos en campo seleccionados al azar</b> .....	72

<b>Figura 27: Plano topográfico del terreno .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 28: Correlación de la temperatura y la ETo diaria .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 29: Perfil del suelo del área experimental .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 30: Trabajos de limpieza en el reservorio .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 31: Orientación del surco de riego y pendiente 3.5% .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 32: Curva de avance y recesión .....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 33: Velocidad de infiltración e infiltración acumulada (repetición 1) .....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 34: Velocidad de infiltración e infiltración acumulada (repetición 2) .....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 35: Información del gotero Eurodrip PC2 .....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 36: Electrobomba Pentax modelo CMT214 .....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 37: Curva de caudal y presión de la bomba Pentax CMT214 .....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 38: Croquis del sistema de riego en el área experimental .....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 39: A: Desenrollado de la tubería de conducción. B: Tendido de la tubería de conducción .....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 40: A: Instalación de Tees en el portalateral. B: Tendido de los laterales .....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 41: A: Instalación de las válvulas de paso en los laterales de riego. B: Vista panorámica del portalateral con las mangueras de riego y sus válvulas respectivas .....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 42: Instalación de los terminales en los laterales de riego. B: Vista panorámica de las mangueras de riego con sus terminales .....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 43: Reservorio y área de instalación del cabezal de riego .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 44: Construcción de la plataforma de anclaje de la electrobomba .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 45: A: Instalación de accesorios en la electrobomba. B: Tubería de succión .....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 46: Instalación del tablero eléctrico y electrobomba .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 47: A: Tablero eléctrico. B: Presentación de la electrobomba e instalación de tubería de succión .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 48: Prueba de funcionamiento del cabezal de riego .....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 49: A: Cabezal de riego. B: Colocación de la malla Raschel en el cabezal de riego ...</b>	<b>110</b>
<b>Figura 50: Colocación de la malla Raschel al inicio del portalateral .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 51: Prueba de emisores .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 52: Verificación del traslape de los bulbos .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 53: Limpieza manual de las macroalgas del reservorio .....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 54: A: Estado inicial del reservorio antes de la siembra de Tilapias. B: Imagen de las algas. Enero 2,020 .....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 55: Tilapias en el reservorio. Febrero 2,020 .....</b>	<b>113</b>

<b>Figura 56: A: Cantidad de macroalgas en descenso, se notan espacios libres. Marzo 2,020. B: Estado del reservorio en abril 2,020. C: Estado del reservorio en junio 2,020. D: Estado del reservorio en octubre 2,020 en plena época de estiaje .....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 57: Medición de presión en el portalateral .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 58: Medición de presión antes y después del filtro .....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 59: Lecturas del caudalímetro.....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 60: Secuencia del lavado del filtro de anillos.....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 61: Limpieza de la malla de la válvula Check.....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 62: Mucilago en laterales de riego .....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 63: Carbonato en laterales de riego .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 64: Secuencia de la limpieza de los laterales de riego .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 65: Procedimiento de la medición del CU .....</b>	<b>118</b>
<b>Figura 66: Limpieza de los terminales de riego .....</b>	<b>119</b>
<b>Figura 67: Riego por gravedad. A: Orientación de los surcos de riego. B: Empalme del riego de la primera a la segunda patilla de riego.....</b>	<b>122</b>
<b>Figura 68: Eficiencia de aplicación en el riego por gravedad a través del tiempo.....</b>	<b>125</b>
<b>Figura 69: Riego por gravedad .....</b>	<b>125</b>
<b>Figura 70: Distribución del estiércol de vacuno en campo.....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 71: Pasos del abonamiento: A: Distribución en campo. B: Mezcla del estiércol de vacuno con la tierra del hoyo. C: Incorporación de la mezcla el hoyo. D: Tapado del hoyo ..</b>	<b>129</b>
<b>Figura 72: Primera fertilización: A: Distribución del fertilizante en campo. B: Hoyado. C: Incorporación del fertilizante debajo de la manguera de riego. D: Tapado del fertilizante ..</b>	<b>133</b>
<b>Figura 73: Segunda fertilización: A: Mezcla del fertilizante con las cenizas. B: Hoyado. C: Incorporación del fertilizante más ceniza. D: Tapado del fertilizante .....</b>	<b>134</b>
<b>Figura 74: Brotamiento .....</b>	<b>136</b>
<b>Figura 75: Racimo floral u inflorescencia (F1) .....</b>	<b>137</b>
<b>Figura 76: Crecimiento inicial del racimo floral (F1).....</b>	<b>138</b>
<b>Figura 77: Racimo con apertura floral (Antesis) .....</b>	<b>139</b>
<b>Figura 78: Crecimiento del racimo con apertura floral (F2) .....</b>	<b>140</b>
<b>Figura 79: Inflorescencia con vaina cuajada (C1) .....</b>	<b>141</b>
<b>Figura 80: Numero de racimos de vainas cuajadas a vaina &lt; de 2 cm de largo (C1) .....</b>	<b>142</b>
<b>Figura 81: Vaina de tara (C2) .....</b>	<b>143</b>
<b>Figura 82: Crecimiento de vaina &gt; 2 cm de largo (C2).....</b>	<b>144</b>
<b>Figura 83: Cosecha.....</b>	<b>145</b>
<b>Figura 84: Cosecha: número de vainas cosechadas .....</b>	<b>146</b>

<b>Figura 85: Rendimiento de tara versus lamina acumulada de riego .....</b>	<b>148</b>
<b>Figura 86: Concentración de taninos en vaina comercial según tratamiento .....</b>	<b>150</b>
<b>Figura 87: Área y porcentaje de cobertura verde máxima por tratamiento .....</b>	<b>151</b>
<b>Figura 88: Evolución del crecimiento de la cobertura verde .....</b>	<b>152</b>
<b>Figura 89: Análisis de Varianza para el parámetro cobertura verde .....</b>	<b>153</b>
<b>Figura 90: Instalación de rizotrones en el área experimental .....</b>	<b>154</b>
<b>Figura 91: Rizotrón en el tratamiento T1.....</b>	<b>155</b>
<b>Figura 92: Rizotrón T3 a un distanciamiento de 40 cm del tallo .....</b>	<b>155</b>
<b>Figura 93: Distribución de las raíces en el perfil del suelo .....</b>	<b>156</b>
<b>Figura 94: Rizotrón T1: Raicillas nuevas entre los 20 - 30 cm de profundidad.....</b>	<b>157</b>
<b>Figura 95: Rizotrón T1. A: Raíces nuevas entre los 30 - 37 cm de profundidad. B: Raicillas debajo de una piedra. C: Raíces activas .....</b>	<b>157</b>
<b>Figura 96: Rizotrón T1: <i>Eisenia foetida</i>.....</b>	<b>158</b>
<b>Figura 97: Rizotrón T3 .....</b>	<b>158</b>
<b>Figura 98: Rizotrón T3: Crecimiento apical de raíces nuevas.....</b>	<b>159</b>
<b>Figura 99: Rizotrón T3: Raíces ramificadas con la cofia en pleno alargamiento.....</b>	<b>159</b>
<b>Figura 100: Rizotrón T3: Raíces activas (haces vasculares blanquecinos) .....</b>	<b>160</b>
<b>Figura 101: Rizotrón T5 .....</b>	<b>160</b>
<b>Figura 102: Rizotrón T5: Raíces superficiales de 4 mm de diámetro.....</b>	<b>161</b>
<b>Figura 103: Rizotrón T5: Generación de raíces nuevas .....</b>	<b>161</b>
<b>Figura 104: Rizotrón T0: Generación de raíces a los 34 días de la ruptura de agoste .....</b>	<b>162</b>
<b>Ilustración 105: Evaluación del frente de humedad del suelo.....</b>	<b>163</b>
<b>Figura 106: Rizotrón T1: Riego del 24 de marzo. Imagen tomada al día siguiente.....</b>	<b>164</b>
<b>Figura 107: Rizotrón T1: Riego del 8 de junio, imagen tomada a los dos días siguiente .....</b>	<b>164</b>
<b>Figura 108: Rizotrón T1: Riego del 6 de julio, imagen de la infiltración tomada a los dos días siguiente .....</b>	<b>165</b>
<b>Figura 109: Rizotrón T1: Riego del 3 de agosto, imagen de la infiltración en tres dimensiones (x, y, z) tomada después de cuatro días.....</b>	<b>165</b>
<b>Figura 110: Rizotrón T1: Riego del 29 de setiembre, secuencia de imágenes de la infiltración en dos dimensiones (x, y) en el tiempo .....</b>	<b>166</b>
<b>Figura 111: Rizotrón T1: Riego del 29 de setiembre, secuencia de imágenes de la infiltración en las tres dimensiones (x, y, z) a través del tiempo .....</b>	<b>167</b>
<b>Figura 112: Rizotrón T3: Riego del 24 de marzo, imagen de la infiltración tomada al día siguiente .....</b>	<b>167</b>



<b>Figura 113: Rizotrón T3: Riego del 7 de abril y 20 de mayo, humedad entre los 40 y 45 cm de profundidad .....</b>	<b>168</b>
<b>Figura 114: Rizotrón T3: Riego del 8 de junio, imagen de la infiltración tomada a los dos días .....</b>	<b>168</b>
<b>Figura 115: Rizotrón T3: Riego del 29 de setiembre, secuencia de imágenes de la infiltración (x, y) en el tiempo. Nota: la parte oscura fue escarbada para ubicar la humedad .....</b>	<b>169</b>
<b>Figura 116: Rizotrón T5: Riego del 17 de abril y 14 de mayo, humedad en el perfil hasta los 20 cm de profundidad .....</b>	<b>169</b>
<b>Figura 117: Rizotrón T5: Riego del 10 de junio y 9 de julio, humedad en el perfil hasta los 20 cm de profundidad .....</b>	<b>170</b>
<b>Figura 118: Rendimiento obtenido por tratamiento .....</b>	<b>172</b>
<b>Figura 119: Análisis de varianza del parámetro rendimiento total .....</b>	<b>173</b>
<b>Figura 120: Rendimiento y porcentaje de vainas comerciales .....</b>	<b>174</b>
<b>Figura 121: Análisis de varianza para el parámetro rendimiento comercial .....</b>	<b>175</b>
<b>Figura 122: Peso de vaina comercial.....</b>	<b>175</b>
<b>Figura 123: Función de producción .....</b>	<b>178</b>
<b>Figura 124: Producto marginal del agua aplicada .....</b>	<b>178</b>
<b>Figura 125: Productividad del agua (kg/m<sup>3</sup>) .....</b>	<b>180</b>
<b>Figura 126: Relación entre la producción bruta, costo de producción y lamina aplicada de riego por goteo .....</b>	<b>182</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1: Análisis de suelo</b> .....	197
<b>Anexo 2: Análisis de agua del 11/06/19</b> .....	198
<b>Anexo 3: Análisis del agua del 04/07/19</b> .....	199
<b>Anexo 4: Análisis de materia orgánica</b> .....	200
<b>Anexo 5: Análisis foliar de tara (<i>Caesalpinia spinosa</i>)</b> .....	201
<b>Anexo 6: Poda</b> .....	202
<b>Anexo 7: Limpieza de los surcos antes del riego de ruptura de agoste</b> .....	202
<b>Anexo 8: Riego de ruptura de agoste</b> .....	202
<b>Anexo 9: Poda en verde de brotes improductivos</b> .....	203
<b>Anexo 10: Plagas: A: <i>Pinnaspis</i> sp. B: Larva de <i>Spodoptera frugiperda</i>. C: Larva de barrenador de tallo</b> .....	203
<b>Anexo 11: <i>Epinotia aporema</i>. A: Daño en vaina. B: Estado larval. C: Estado de pupa</b> .....	204
<b>Anexo 12: Control químico: A: Aplicación de Azufre en polvo preventivo contra <i>Oidium</i> sp. B: Aplicación <i>Bacillus thuringiensis</i> para el control de <i>Epinotia</i> sp.</b> .....	204
<b>Anexo 13: Control biológico de plagas: A: Adulto de <i>Pentatomidae</i>. B: <i>Mantis religiosa</i>. C: Adulto de <i>Cycloneda sanguinea</i>. D: Pulgones parasitados. E: <i>Allograpta exótica</i>. F: <i>Schymus</i> sp. G: Postura de <i>Chrysoperla externa</i>. H: Adulto de <i>Chrysoperla externa</i></b> .....	205
<b>Anexo 14: Análisis de taninos T0</b> .....	206
<b>Anexo 15: Análisis de taninos T1</b> .....	207
<b>Anexo 16: Análisis de taninos T2</b> .....	208
<b>Anexo 17: Análisis de taninos T3</b> .....	209
<b>Anexo 18: Análisis de taninos T4</b> .....	210
<b>Anexo 19: Análisis de taninos T5</b> .....	211
<b>Anexo 20: Análisis de varianza del área foliar (m<sup>2</sup>)</b> .....	212
<b>Anexo 21: Análisis de varianza del peso de vaina (g)</b> .....	212
<b>Anexo 22: Análisis de varianza del rendimiento comercial (kg)</b> .....	213
<b>Anexo 23: Análisis de varianza del rendimiento (kg)</b> .....	213

## RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el cambio del sistema de riego por gravedad a goteo y obtener la función de producción en el cultivo de tara (*Caesalpinia spinosa*) de seis años de edad. El río Lurín, es el principal abastecedor del agua de regadío del valle de Pachacamac, insuficiente para el uso agrícola. En la época de estiaje existe un déficit en la oferta de agua, siendo la fuente en esta época, el puquio Pan de Azúcar. El suelo es aluvial, textura arena franca, con un contenido de piedra superior al 50 % y el actual sistema de riego es por gravedad; todos estos factores contribuyen a la escasez y pérdida por percolación profunda y escorrentía superficial del agua de riego. La investigación se realizó entre los meses de febrero a noviembre del 2,020 en uno de los lotes de tara del fundo Belloni, Pachacamac – Lima. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con seis tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos fueron: T<sub>0</sub> riego por gravedad, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>, riego por goteo con los siguientes factores de riego: 1, 0.8, 0.6, 0.4 y 0.2 por ciento de la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>), respectivamente. Los parámetros agronómicos evaluados fueron, la identificación de los estado fenológico del cultivo de tara en base a las evaluaciones realizadas quincenalmente, la cuantificación del tiempo de aparición de los diferentes órganos en la planta, monitoreo de la cobertura verde durante toda la etapa vegetativa, evaluación del porcentaje de taninos, rendimiento y calidad de vaina en postcosecha; aparición de nuevas raíces y monitoreo de la distribución de la humedad en el suelo por medio de la utilización de cuatro rizotrones. Para el diseño e instalación del riego por goteo se consideró: a) un similar porcentaje de área mojada (21.76 %) al sistema de riego por gravedad; b) coeficiente de uniformidad elevados, de diseño de 99 % y de campo de 92.61 % y c) eliminación de las macroalgas mediante la siembra de tilapias. El cambio de sistema de riego por gravedad a goteo, permitió: a) incrementar la eficiencia de riego de 53.5 % a 92.61 %; b) adelantar la floración y la cosecha en 35 días; c) alcanzar el porcentaje de taninos mayores a 60 %; d) no disminuyo el rendimiento en T<sub>1</sub>, en los demás tratamientos el rendimiento disminuyo en un 20% y e) permitir realizar diferentes actividades agronómicas en forma simultánea y la permanencia del mulch de la defoliación natural ayudando a conservar la humedad del suelo. Se obtuvo la función de producción que se ajustó a una

polinómica de cuarto grado con un  $R^2 = 0.9987$ . En el caso de las condiciones cada vez más escasas del recurso hídrico en la zona de estudio y el elevado precio del agua adicional en época de estiaje, la estrategia a seguir en función de la disponibilidad de agua, es la de maximizar la producción por unidad de agua aplicada por riego es decir lograr la máxima eficiencia del uso del agua ( $T_4$ ), mas no así la obtención del óptimo agronómico ( $T_1$ ). El cambio de sistema de riego por gravedad a goteo fue factible realizarlo en la plantación establecida de tara de seis años de edad, el factor de riego 0.4, presentó una mayor productividad 0.71 kg/m<sup>3</sup>, con una lámina de riego acumulada de 2,571.96 m<sup>3</sup> y un rendimiento de 1,837.7 kg/ha.

Palabras claves: tara, *Caesalpinia spinosa*, cambio de sistema de riego, riego por gravedad, riego por goteo, función de producción, uso eficiente del agua, suelos pedregosos.

## ABSTRACT

The objective of the research work was to evaluate the change from the gravity to drip irrigation system and to obtain the production function in the six-year-old tara (*Caesalpinia spinosa*) crop. The Lurín River is the main supplier of irrigation water in the Pachacamac Valley, which is insufficient for agricultural use. In the dry season there is a deficit in the supply of water, being the source at this time, the Pan de Azúcar puquio. The soil is alluvial, loamy sand texture, with a stone content of over 50% and the current irrigation system is by gravity; All of these factors contribute to scarcity and loss through deep percolation and surface runoff of irrigation water. The investigation was carried out between the months of February to November 2020 in one of the tare lots of the Belloni estate, Pachacamac - Lima. A completely randomized experimental design with six treatments and three replications was used. The treatments were: T<sub>0</sub> gravity irrigation, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> and T<sub>5</sub>, drip irrigation with the following irrigation factors: 1, 0.8, 0.6, 0.4 and 0.2 percent of the potential evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), respectively. The agronomic parameters evaluated were the identification of the phenological state of the tara crop based on the evaluations carried out fortnightly, the quantification of the time of appearance of the different organs in the plant, monitoring of the green cover during the entire vegetative stage, evaluation of the percentage of tannins, yield and pod quality in postharvest; appearance of new roots and monitoring of the distribution of moisture in the soil through the use of four rhizotrons. For the design and installation of drip irrigation, the following was considered: a) a similar percentage of wet area (21.76%) to the gravity irrigation system; b) high coefficient of uniformity, design of 99% and field of 92.61% and c) elimination of macroalgae by planting tilapias. The change from gravity to drip irrigation system allowed: a) to increase irrigation efficiency from 53.5% to 92.61%; b) advance flowering and harvest by 35 days; c) reach the percentage of tannins greater than 60%; d) it did not reduce the yield in T<sub>1</sub>, in the other treatments the yield decreased by 20% and e) allow different agronomic activities to be carried out simultaneously and the permanence of the mulch from natural defoliation, helping to conserve soil moisture. The production function was obtained that was fitted to a fourth degree polynomial with  $R^2 = 0.9987$ . In the case of increasingly scarce water resource

conditions in the study area and the high price of additional water during the dry season, the strategy to follow based on water availability is to maximize production per unit. of water applied by irrigation, that is, to achieve the maximum efficiency of water use ( $T_4$ ), but not to obtain the optimum agronomic value ( $T_1$ ). The change from the gravity to drip irrigation system was feasible in the established six-year-old tara plantation, the irrigation factor 0.4, presented a higher productivity of  $0.71 \text{ kg/m}^3$ , with an accumulated irrigation sheet of  $2,571.96 \text{ m}^3$  and a yield of  $1,837.7 \text{ kg/ha}$ .

Keywords: tare, *Caesalpinia spinosa*, change of irrigation system, gravity irrigation, drip irrigation, production function, efficient use of water, rocky soils.

## I. INTRODUCCIÓN

Según el Artículo II de la actual Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos (2009), afirma: “El acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez”.

Bajo este contexto, siendo el agua una prioridad para el consumo humano, su uso para la agricultura queda relegada ante la expansión del área urbana. Es así, que para el año 2,019, se reportó que el consumo de agua per cápita diaria a nivel nacional fue en promedio de 130 litros por habitante y en los distritos de San Isidro, Miraflores y la Molina, esta cifra alcanzó los 250 litros (Gestión 2021).

En el 2018, el Fondo de Agua para Lima y Callao (AQUAFONDO) con información proveniente del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) elaboraron un estudio, llegando a la conclusión que para el año 2030 el consumo de agua en Lima Metropolitana aumentaría en un 40 por ciento. Las cuencas que abastecen a Lima de agua son Rímac, Chillón, Lurín y trasvase del río Mantaro. El distrito de Pachacamac por su cercanía a Lima Metropolitana, está siendo cotizado para la expansión urbana.

Ante esta realidad, el agua proveniente del río Lurín, principal abastecedor del agua de regadío del valle de Pachacamac, se está volviendo insuficiente para el uso agrícola. En la época de estiaje existe un déficit en el balance de oferta y demanda de agua, siendo la fuente en esta época, el puquio Pan de Azúcar, perteneciente a la Comisión de Usuarios del Canal San Fernando- Sector hidráulico Lurín, ubicado a 8 km del área de estudio.

La situación hídrica se agrava aún más, debido a que el área en estudio está ubicada en las laderas del Cerro Culebra, no existe un acuífero para la explotación de las aguas subterráneas. El suelo es aluvial con textura arena franca y con un contenido de piedra

superior al 50 por ciento, además, el sistema de riego empleado es por gravedad, todos estos factores contribuyen a la escasez y pérdida por percolación profunda y escorrentía superficial del agua de riego.

Teniendo en cuenta estas limitantes, la familia Belloni, dueños de la propiedad, deciden cultivar tara (*Caesalpinia spinosa*), por su naturaleza xerofítica y su importancia en la obtención de harina y goma de tara, subproductos industriales con creciente demanda internacional y pera (*Pyrus communis* var. Italiana) por ser un cultivo caducifolio, que, al entrar en dormancia, no requiere agua en este periodo de tiempo y mantener precios estables en el mercado nacional.

Por tales razones, se decidió realizar el presente trabajo de investigación en el cultivo de tara, por la necesidad de buscar un sistema de riego más eficiente en el uso del agua y la urgencia de conocer los requerimientos hídricos del cultivo, determinando un coeficiente de riego para obtener rendimientos y calidades mayores de vaina con una menor cantidad de agua requerida.



## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el cambio del sistema de riego por gravedad a goteo y obtener la función de producción en el cultivo de tara (*Caesalpinia spinosa*).

## **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diseñar e instalar el sistema de riego por goteo en el área experimental, en la zona de Pachacamac.
- Evaluar el cambio de sistema de riego por gravedad a goteo en el comportamiento del cultivo de tara *Caesalpinia spinosa* de seis años de edad.
- Evaluar los efectos en el rendimiento de la planta debido a los diferentes volúmenes de agua aplicado, para el desarrollo del cultivo de tara *Caesalpinia spinosa*, para obtener la función de producción.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO

### 2.1. TARA (*Caesalpinia spinosa*)

#### 2.1.1. Características y requerimientos de la planta

El Perú es una de las zonas de origen de la tara por la gran variedad genética que posee. Esta leguminosa, crece en climas tropicales y subtropicales de la costa peruana, en la vertiente occidental de los andes, valles interandinos entre los 4 a 20° latitud Sur y entre los 0 a 2,800 m.s.n.m. Requiere una temperatura de 12 a 29 °C, humedad relativa de 60 % y 2,500 horas luz aproximadamente, la cual no solo influye en la fotosíntesis sino en la fotomorfología del cultivo, afectando la forma, altura, número de ramas y estado fenológico del cultivo. El pH del suelo debe estar entre 6.8 - 7.5. y se desarrolla en suelos de diversa composición química (Díaz 2010; Villanueva 2019).

Con respecto a la precipitación pluvial, Pacheco (2010), citando a Adra Ofasa - Perú, (2000), considera que esta debe estar entre 200 y 600 mm anuales para satisfacer las necesidades de esta especie.

Villanueva (2019) menciona que investigaciones recientes del cultivo de tara bajo riego, muestran una respuesta positiva al riego presurizado. Para un manejo comercial intensivo, el régimen hídrico deberá ser de 4,000 a 5,000 m<sup>3</sup>/ha. Por otro lado, las plantaciones que disponen de agua durante todo el año, tienen una floración continua.

Es así, que se le considera una planta que presenta carácter xerofítico por ser: caducifolia, tener foliolos pequeños de cutícula gruesa, cubiertos de una sustancia serosa y poseer un mecanismo de control estomático (REDFOR 1996).

Las inflorescencias son racimos terminales de 8 a 20 cm de longitud con flores ubicadas en la mitad distal; a lo largo del racimo alberga aproximadamente de 80 a 200 unidades florales de color amarillo (Araujo y Gordillo 2000; Díaz 2010).

Es una planta alógama, presenta polinización libre (con intervención de insectos polinizadores) y en bajo porcentaje, autopolinización forzada. Así mismo se ha determinado que los granos de polen son viables y maduran antes que el estigma desde el inicio de la floración (protandria), aumentando la posibilidad de la polinización cruzada (Chávez 2012).

Con respecto al comportamiento de las yemas, Pacheco (2010) en su estudio en tres localidades de Ayacucho, sobre las variaciones morfológicas de las yemas de un año, en los biotipos almidón y morocho, afirma que no todas las yemas siguen la misma transformación morfológica y reproductiva. Generalmente, el crecimiento de la yema vegetativa estuvo acompañado de un crecimiento lateral de una yema reproductiva, lo que origina una segunda serie de brotamiento, incrementándose una yema floral sobre una rama que procede de una yema de la primera serie de brotamiento. La mayor cantidad de flores tuvo floración completa; la mayor parte de las yemas florecieron en la segunda serie, otras surgieron sobre ramas jóvenes en crecimiento y en otras, la primera serie de floración se presentó en la mayoría de yemas.

Los frutos son en forma de vainas encorvadas que miden aproximadamente 10 cm de largo por 3 cm de ancho, poseen un color naranja rojizo cuando están maduros. Contienen de cuatro a siete semillas ovoides, ligeramente aplanadas, de color pardo oscuro o negruzco cuando están maduras (Díaz 2010; REDFOR 1996).

La vaina está diferenciada en tres partes: la semilla (30 - 40 % del peso), la vaina molida (40 - 50 %) y los restos de la fibra (15 - 25 % del peso del fruto) (Cruz Lapa 2004).

Pacheco (2010), citando a Devices y Abregú (1999), comenta que la caída fisiológica de los frutos, es el desorden relacionado por la competencia entre los frutos por los carbohidratos, agua, hormonas y otros metabolitos, sin embargo, este problema se acentúa por el estrés causado por las altas temperaturas y la falta de agua, ocasionando el cierre de estomas con la consiguiente disminución en la asimilación neta de CO<sub>2</sub> y abscisión de frutos.

### **2.1.2. Características fenológicas**

Una fase fenológica viene a ser el período durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas. Una etapa fenológica está delimitada por dos fases fenológicas sucesivas. Dentro de ciertas etapas se presentan períodos críticos, que son el intervalo breve durante el cual la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado

evento meteorológico, de manera que las oscilaciones en los valores de este evento se reflejan en el rendimiento del cultivo (Yzarra 2011).

En una investigación realizada en la localidad de Paquecc provincia de Huanta (Ayacucho) a 2,403 msnm, tipo de suelo franco, relieve plano aluvial, con un promedio de altura de planta de 3.9 a 8 m y diámetro de copa de 3 a 7.4 m, en cultivo asociado en cerco vivo, se determinó las etapas fenológicas de dos biotipos de tara, almidón y morocho, correlacionándolo con las unidades calor (UC) acumuladas durante todo su ciclo. El autor estima a las UC a partir de la temperatura media menos la temperatura crítica del cultivo, considerando un punto crítico (PC) de 7 °C como factor constante. Este parámetro se ha usado para predecir la época de cosecha (Pacheco 2010).

La estimación de las UC se calcula de la siguiente manera:

$$UC = (T_m - PC) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

UC = Unidades calor para un día (grados calor día)

$T_m = \text{Temperatura media} = \frac{(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})}{2}$

PC = Punto crítico de 7° C

Se considera como unidad calor cuando el resultado es positivo, sin embargo, la acumulación de unidad calor durante una etapa vegetativa es algo variable para distintos lugares y en un mismo lugar para años diferentes (Pacheco 2010).

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de los resultados obtenidos por Pacheco (2010) de las UC, cantidad de precipitación y días después del inicio de brotamiento registrado en las principales etapas fenológicas del cultivo de tara.

**Cuadro 1: Comparativo de la duración, unidad calor y precipitación acumulada de los biotipos almidón y morocho en la localidad de Paquecc - Huanta**

Estado Fenológico		Biotipo almidón				Biotipo morocho			
Nomenclatura	Descripción	Mes	Días después brotamiento  DDB (días)	Unid. Calor acumulado (UC)  °C	Precipitación  mm	Mes	Días después brotamiento  DDB (días)	Unid. Calor acumulado (UC)  °C	Precipitación  mm
EV2	Brote inicial con 2 a 3 hojitas tiernas	Nov - Dic	13	283	98.1	Nov - Dic	13	283	98.1
ER2	Crecimiento del racimo floral	Ene	40	834	195.9	Ene	41	843	184.5
ER4	Apertura floral	Feb	53	1092	209.3	Ene	58	1192	195.8
ER5	Cuajado de vainas	Feb	58	1193	209.3	Ene	60	1233	209.3
ER6	Vainitas con caída de los sépalos y pétalos	Feb	67	1364	358.8	Feb	71	1452	209.3
ER7	Crecimiento de la vaina: incremento de longitud y anchura, muy frágil y tiene color verde característico	Mar	98	1956	412.2	Mar	101	2023	387.9
ER8	Llenado de vaina: aumento de volumen y peso la vaina, aún no ha formado harina; la semilla es frágil y acuosa; las vainas comienzan a mostrar coloración rojiza dependiendo de su exposición a la luz solar	Abr	125	2476	515.6	Abr	139	2755	515.6
ER12	Cosecha: vainas secas con semillas duras, se desprenden fácilmente del racimo con el movimiento de las ramas	Jun	182	3465	526.4	Jun	197	3764	526.4

FUENTE: Extraído de Pacheco (2010).

### 2.1.3. Rendimiento

Con un buen manejo técnico-agroforestal, el árbol de la tara sin injertar, empieza a producir con riego a los tres años de trasplantado, cosechándose dos veces al año; mientras en secano la producción empieza a los cuatro años; en ambos casos, la producción disminuye a partir de los 60 a 85 años de edad, pudiendo vivir hasta los 100 años de edad (Villanueva 2019).

Pacheco (2010), citando a Calderón (2005) reporta un rendimiento de 35.4 kg/planta en cultivos asociados, 22.4 kg/planta en cercos vivos y 2.25 kg/planta en bosque natural; estos rendimientos son variables y tienen relación con las condiciones de suelo, agua y edad de la

planta; durante su investigación en tres localidades de Ayacucho, registró rendimientos entre 14.2 y 45 kg/planta, para plantas ubicadas en cultivos asociados y cercos vivos.

En el Cuadro 2 se presenta un registro de las plantaciones evaluadas en el informe técnico desarrollado por la Asociación Pro-Desarrollo Agroindustrial Camaná (APAIC) (2013), con la finalidad de trazar los lineamientos para el manejo de plantaciones de tara para la rehabilitación de tierras eriazas, donde se puede observar que la mayor parte de las plantaciones están establecidas con distanciamientos de 4x4 m<sup>2</sup>, los rendimientos varían entre 1 a 15 kg/planta/año, no siendo afectados por la salinidad del suelo. En el caso del riego éste varía entre los 1,000 a 20,000 m<sup>3</sup>/ha/año, según el tipo de riego aplicado.

**Cuadro 2: Rendimiento de algunas plantaciones establecidas en la costa peruana**

Propietario	Edad	Estado de las plantaciones	Distanciamiento	m <sup>2</sup> /planta	Plantas/ha	Producción (kg/ha/año)	Kg/planta	Salinidad	Tipo de riego	m <sup>3</sup> /ha/año	m <sup>3</sup> /año/planta
Sarah Frank	7.0	Bueno	3x4	12.00	833.33	5,500.00	6.60	Alta	Goteo	7,000.00	8.40
Agricola Santo Espiritu Palo	7.0	Regular	4x4, 4x3	18.92	528.54	6,500.00	12.30	Alta	Goteo	8,000.00	15.14
Familia Muñante	5.0	Regular	5x3	15.00	666.67	3,000.00	4.50	Media	Gravedad	15,000.00	22.50
AGROCONSA	6.0	Abandonada	4x3	12.00	833.33	-	-	alta	Goteo	-	-
Agricola Villa Maria	4.0	Regular	6x3	18.00	555.56	3,000.00	5.40	Baja	Gravedad	20,000.00	36.00
Agricola Silva Team	9.0	Muy buena	4.5x2.5	11.25	888.89	14,500.00	16.31	Muy alta	Goteo	11,000.00	12.38
Propietario Nazca	6.5	Regular	4x4	16.00	625.00	2,500.00	4.00	Media	Gravedad	10,000.00	16.00
Agricola Majoro	7.0	Regular	4x4	16.00	625.00	5,500.00	8.80	Baja	Goteo	7,000.00	11.20
Alberto Sucla	9.0	Regular	2x3	6.00	1,666.67	6,400.00	3.84	Muy alta	Goteo	7,000.00	4.20
Agroinka	7.0	Buena	5x2.5	12.50	800.00	14,000.00	17.50	Muy alta	Goteo	10,000.00	12.50
Fundo Incahuasi	20.0	Regular	4x2	8.00	1,250.00	4,000.00	3.20	Baja	Gravedad	15,000.00	12.00
Pampas al huevo	7.0	Mala	4x4	16.00	625.00	600.00	0.96	Muy alta	Goteo	1,000.00	1.60
Simon Areca	15.0	Regular	4x4	16.00	625.00	6,500.00	10.40	Media	Gravedad	15,000.00	24.00
Ing. Wenseslao	15.0	Buena	3.5x4.5	15.75	634.92	9,500.00	14.96	Alta	Gravedad	20,000.00	31.50
Ing Mostacero	15.0	Buena	3.5x3.5	12.25	816.33	10,500.00	12.86	Alta	Gravedad	20,000.00	24.50

FUENTE: Adaptado de APAIC (2013).

#### 2.1.4. Valor comercial de la tara

La tara es un producto nativo del Perú, país que detenta un 80 % de la producción mundial, el resto le corresponde a Chile, Ecuador, Bolivia y Colombia (Díaz 2010).

La tara como leguminosa actúa en el mejoramiento y fijación de nitrógeno en los suelos de los sistemas agroforestales. La hojarasca a consecuencia de la defoliación natural de la planta, aporta materia orgánica, además de brindar protección física a tierras en proceso de erosión especialmente cuando no se dispone de agua de riego. Es también requerida en la conservación de cuencas, efectuando una cobertura óptima junto a otras especies arbustivas, herbáceas y gramíneas, por las características de su sistema radicular profundo que estabiliza los suelos eficientemente y controla las cárcavas, por lo que se usa en varias prácticas de conservación de suelos. Tiene además un excelente comportamiento en la conformación de

barreras vivas con formación lenta de terrazas en la ladera para uso agrícola, reduciendo la pérdida de suelo y nutrientes al interceptar la escorrentía. También participa en la hidrorregulación de las cuencas, debido a que el agua es captada y retenida en la barrera permitiendo la infiltración lenta, mejorando la calidad del agua (Cruz Lapa 2004; APAIC 2013).

El fruto de la tara es un producto que se viene exportando en los últimos años en cantidades cada vez mayores. Entre los principales países importadores de la vaina molida de tara se encuentra Argentina, Brasil, Estados Unidos, China, Holanda y Japón. La demanda de tara se encuentra en aumento existiendo un mercado aparentemente asegurado, con precio bastante atractivo, contribuyendo enormemente al sector agroexportador y a la economía del país (Goycochea 2010).

La tara en polvo y la goma son los principales subproductos del fruto, por sus productos químicos que poseen (hidrocoloide, tanino y galactomanano), se utilizan como materia prima en muchas industrias (curtiembre, plásticos y adhesivos, aceites, gomas, jabones, pinturas, entre otros) (Díaz 2010).

De la vaina se puede extraer el polvo de tara o extracto de tara, en la cual se separa la pepa, se muele y es un extraordinario producto de exportación como materia prima para la obtención del ácido tánico muy usado en las industrias peleteras de alta calidad (curtido de cueros) además de las industrias farmacéutica, química, de pinturas, clarificador de vinos, usos terapéuticos y sustituto de malta El ácido gálico también es obtenido desde la vaina, el cual es usado como antioxidante de aceites y grasas por la industria de los alimentos. De las semillas, pepas o pepitas se obtienen, mediante un proceso térmico-mecánico, una goma de uso alimenticio proveniente del endosperma, constituyéndose como una alternativa a las gomas tradicionales en la industria mundial de alimentos, como aditivo en formulaciones alimenticias (consistencia en helados, mayonesas, mostazas, embutidos, sopas, yogur, comidas para bebé y para mascotas), para la elaboración del papel y para la elaboración de pinturas y barnices. Desde el germen, se elaboran productos de alimentación animal o alimentos balanceados (Dodds 2015; Villanueva 2019).

En un reciente estudio, investigadores de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), desarrollaron un proyecto que consistió en la extracción de compuestos antioxidantes de la tara y la inca muña para incorporarlos en hojuelas de papas, de tal manera

que al freírlas sean más saludables y contribuyan a prevenir enfermedades oncológicas originada por la acrilamida. El proceso consistió en extraer los compuestos antioxidantes, procesarlos y purificarlos parcialmente para sumergir las hojuelas de papa, de tal manera que los antioxidantes se impregnan en la papa, mitigando la formación de la acrilamida hasta en un 90% (Andina: Agencia peruana de noticias 2021).

En la Figura 1, se puede apreciar los diferentes subproductos de la vaina de tara.



**Figura 1: Vaina, semilla, goma y polvo de tara (Caesalpinia spinosa)**

FUENTE: Extraído de APAIC (2013).

#### **a. Taninos en vaina**

La ventaja comparativa de la tara con respecto a otros cultivos, es el aprovechamiento del fruto para la obtención de taninos. En cultivos competidores similares como el quebracho (*Schinopsis balansae* y *Schinopsis lorentzii*) de Argentina y la mimosa (*Acacia dealbata*) de Brasil, el tanino está en la corteza y para extraerlo hay que cortar la planta, lo cual representaría esperar varios años para volver a extraer dicho tanino (Villanueva 2019).

Según Ali (2012) citando a Porter (1989), afirma que la tara tiene taninos hidrolizables, estos son compuestos fácilmente susceptible a la hidrólisis, debido a su estructura de ésteres. Mediante calentamiento a reflujo en medio ácido o básico se produce la ruptura completa de los enlaces éster, con liberación del poliol y de los ácidos gálico, elágico u otros, integrantes de la molécula. Por otro lado, el mismo autor, citando a Cadahia (1995) indica, que los métodos de valoración de taninos difieren considerablemente, tanto en la reacción química en que se basan como en el grado de especificidad. Por ende, no se dispone de un método



universal válido para una muestra específica, haciéndose dificultosa la selección del ensayo más apropiado.

Para la determinación del porcentaje de taninos, Ali (2012) evaluó el proceso de lixiviación con tres solventes diferentes como son el metanol/agua, etanol/agua y acetona/agua, halló que el rendimiento en peso de taninos (ácido gálico) durante el proceso de lixiviación, fue mayor utilizando como solvente el etanol/agua obteniéndose un rendimiento promedio de 62.4% de taninos.

Goycochea (2010) en su estudio realizado en las lomas de Atiquipa - Arequipa afirma, que la edad del árbol no influye en el contenido de taninos de los frutos, sino las condiciones del lugar en donde se encuentra el árbol, es así que los porcentajes de taninos van aumentando conforme aumenta la altitud. El mejor resultado promedio que obtuvo en su investigación, fue de 50.17 %.

En un estudio realizado en ocho zonas productoras de la región Amazonas, en las que se determinó la caracterización morfológica de frutos y el contenido de taninos en tara (*Caesalpinia spinosa*), se reportaron los valores de 30.90%, 30.70% y 30.50%, entre los valores más altos obtenidos, los análisis se realizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, sin embargo, dentro de la metodología del estudio, no se señala el método utilizado de extracción (Oliva *et al.* 2015).

Melo *et al.* (2013), en sus estudios realizados, menciona que obtuvieron en la localidad de Huari una concentración de taninos de 63% a los dos meses después de la floración, que se redujo al 60% al quinto mes; asimismo en Pachacámac el nivel de taninos obtenidos al segundo mes fue del 62%, disminuyendo a 56% al sexto mes. Con estos valores los autores mencionan que el fruto ya podría recolectarse a partir de los 2.5 meses después de la floración, donde ya está formado químicamente y sólo pierde humedad y peso en el tiempo, sin embargo, no sería industrialmente factible por el nivel de agua elevado y el color que resulte de la molienda de vainas verdes, que no es característico para la venta (beige claro – oscuro). La disminución de los taninos en las vainas de tara de la zona Pachacámac a los 6 meses después de la floración, pudo deberse a la disminución de los compuestos fenólicos por el grado de madurez en las vainas; los taninos se mantienen hasta llegar a la senescencia donde se degradan. La concentración de taninos se analizó en el laboratorio de la facultad de Industrias alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA RADICAL

Las raíces o sistema radical, son los órganos vegetativos de las plantas que crece en dirección inversa a la del tallo y son introducidos en suelo u otros sustratos donde absorbe de éstos el agua y los minerales para su crecimiento y desarrollo, sirviéndole a su vez, de anclaje y soporte mecánico (INTAGRI 2017).

Así mismo las raíces son relevantes en muchas especies permanentes como órganos de acumulación de nutrientes de reserva, las que le permitirán a la planta brotar a la siguiente temporada, en el caso de las especies que pierden las hojas (caducifolias), y suplir carencias en situaciones de estrés. Los ápices de las raíces producen fitohormonas, como las citoquininas, la cual sube a estimular el crecimiento de los órganos de la parte aérea de la planta, cuando se da la señal hormonal (Darwin 2017).

Existe una clara correlación entre el crecimiento del follaje y de las raíces en las plantas perennes. La copa del árbol provee a la raíz de carbohidratos y nutrientes minerales en estado orgánico, vitaminas (Tiamina y Biotina) y fitohormonas, potenciando su desarrollo, el cual, tiene un gran efecto en el desarrollo de la raíz. En una planta normal la raíz es al menos igual o de mayor tamaño que la copa. Cuando se altera esta relación en desmedro de la raíz, la sustentabilidad productiva se afecta en el largo plazo. En los frutales leñosos, es fundamental saber exactamente cuándo y cuánto crecen las raíces de modo de ajustar el riego y la fertilización a los momentos de mayor actividad de absorción de nutrientes (Darwin 2017).

En la Figura 2, se puede apreciar la relación copa – raíz en una plantación de cerezo bajo riego por goteo con doble hilera de laterales.

La raíz de la tara es axonomorfa, es decir, que tiene la facilidad de profundizar y buscar la napa freática, por tal razón, se la encuentra en lugares con poca humedad edáfica y zonas áridas. Las raíces secundarias crecen cerca de la superficie del terreno, las que originan yemas adventicias que posteriormente generan nuevas plantas al estar descubiertas (reproducción vegetativa). La ramificación de la raíz es muy abundante, de varios órdenes, terminando en una red de raicillas densas y frágiles (Verástegui 1994).



**Figura 2: Relación entre la copa y sistema radicular en una plantación de cerezo con sistema de riego por goteo**

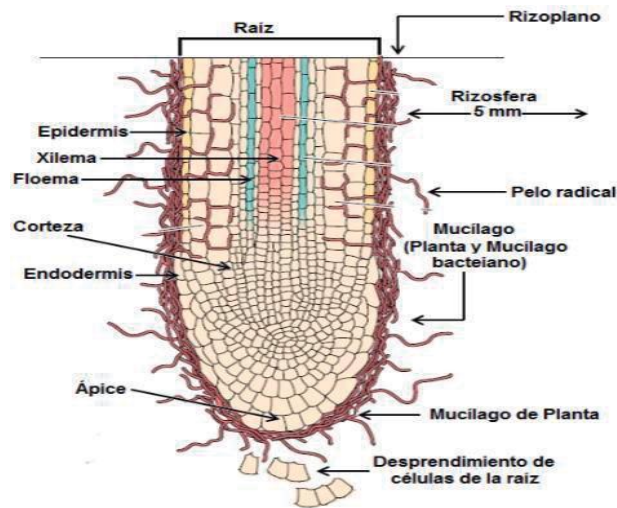
FUENTE: Extraído de Morales (2016).

El desarrollo constante de raicillas nuevas asegurará un sistema radicular eficiente. Las raíces más finas son las directamente relacionadas con la absorción de agua y nutrientes, pero en un período de pocas semanas estas raíces pasan de blancas a marrón claro, hasta llegar a tonos casi negros. Al mismo tiempo, la actividad metabólica decrece a medida que aumenta la pigmentación, alcanzando valores mínimos a las pocas semanas. Por ejemplo, en resultados experimentales en vides, indican que la tasa de absorción de nitrógeno de las raíces finas (recién nacidas) declina en un 50% en pocos días (Darwin 2017).

### **2.2.1. Rizósfera**

La rizósfera es la zona de interacción entre la superficie de las raíces de las plantas y microorganismos del suelo, donde estos últimos aumentan su número y actividad. La comunidad de la rizósfera consiste en un microbiota (bacterias, hongos y algas) y una micro y meso fauna (protozoos, nemátodos, insectos y ácaros). Las dimensiones físicas y la actividad microbiana en la rizósfera dependen de factores específicos al sitio y a la planta (especie, edad y vigor) (Steciow 2011).

En la Figura 3, se puede apreciar las partes que conforman la estructura de la raíz y la rizosfera.



**Figura 3: Parte de la raíz y la rizosfera**

FUENTE: Tomado de Mamani (2017).

La rizósfera es la región del suelo inmediatamente adyacente a las raíces de las plantas. Se encuentra fuertemente influenciada por la raíz, debido a que libera exudados orgánicos que son fuente de carbono para los microorganismos, provee enzimas y oxígeno aumentando la densidad de microorganismos asociados a la raíz, siendo superior que en el resto del suelo. Dichos exudados producidos, pueden variar en concentración y composición dependiendo de la planta (Frick *et al.* 1999).

La presencia de estos microorganismos, estimula el crecimiento de las raíces, promoviendo la expansión celular mediante la alteración del pH y la producción de hormonas vegetales como citoquininas. Otra hormona producida, es el ácido indolacético, que estimula las bombas ATPasas, lo cual baja el pH, debilitando las paredes celulares y acelerando el crecimiento de la planta por medio de expansión celular. Además, los microorganismos, mejoran la fijación del nitrógeno y mediante la producción de antibióticos como sideróforos o agentes quelantes, generan una defensa contra patógenos (Khan 2005).

La rizósfera provee un complejo y dinámico microambiente, donde las bacterias y hongos, en asociación con las raíces, forman comunidades únicas que tienen considerable potencial para la detoxificación de compuestos orgánicos nocivos (Steciow 2011).

Los compuestos orgánicos liberados por las raíces de las plantas reciben el nombre de rizo deposiciones. Entre las rizo deposiciones, están los mucílagos, que forman una cobertura alrededor de algunas partes de la raíz (principalmente la cofia) y que están formados

fundamentalmente por polisacáridos. Estos polisacáridos proceden tanto de la planta como de los microorganismos y son capaces de retener gran cantidad de agua formando mucigeles. La tipología química de los exudados radicales depende de la especie estudiada, la edad de la planta y su estado de desarrollo, las características nutricionales y pH del suelo sobre el que se desarrolla, la disponibilidad de agua, la temperatura, la intensidad de luz que reciba el área foliar, la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> y el tipo de microorganismos presentes en la rizosfera, entre otros (Probanza 2012).

### **2.2.2. Hidrotropismo**

El hidrotropismo es el crecimiento direccional de las raíces de las plantas con relación a la disponibilidad de agua. Se produce debido al efecto del agua sobre el metabolismo de las células del ápice de la raíz, es decir cuando la cofia percibe el gradiente de humedad del suelo. Esto provoca que las células de las raíces en contacto con el agua crezcan más que las que no lo están (Castro 2020).

Una teoría sobre la respuesta hidrotrópica postula que para que se lleve a cabo, primero se debe reducir o inhibir la respuesta a la gravedad, para ello deben desarrollarse diferentes mecanismos fisiológicos y moleculares. Se ha propuesto que la capacidad de respuesta reducida a la gravedad, puede ser en parte causada por la degradación simultánea de amiloplastos en células de la columela de raíces, debido a que el desplazamiento de amiloplastos a la parte inferior de la columela es uno de los principales mecanismos que utilizan las plantas para detectar la gravedad (gravitropismo), y al degradarse posiblemente la raíz tienda a dirigirse a otros estímulos como el agua. La hormona vegetal, ácido abscísico (ABA), juega un papel importante en la tolerancia de las plantas a la sequía y está estrechamente relacionado a estrés hídrico, por lo tanto, un cambio en la homeostasis de ABA podría ocurrir bajo un estímulo de potencial hídrico, existe una hipótesis que indica que ABA podría ser un regulador del transporte de auxinas en la respuesta hidrotrópica de la raíz. Así mismo, se ha identificado que ABA favorece la respuesta hidrotrópica (Martínez 2019).

### **2.2.3. Métodos de medición de raíces**

Desde hace dos centurias, se han utilizado muchas técnicas para poder acceder al estudio de las raíces de las plantas. En 1979, Bohm revisó los métodos para estudiar el crecimiento y distribución de raíces en el suelo. El método que utilizó, fue la observación del crecimiento

de las raíces, detrás de paredes transparentes. En 1873, Sachs, utilizó el método de la caja llena de tierra con una pared de vidrio. Recientemente, se han construido varios tipos de cámaras subterráneas sofisticadas que permiten estudiar las raíces de las plantas en condiciones replicadas a las condiciones de campo, llamado rizotrones, del griego "rizos", que significa raíz y "tron", que significa dispositivo para estudiar (Huck y Taylor 1982).

El rizotrón es una herramienta no destructiva de la observación y medición reiterada del sistema radicular de las plantas. Son instalaciones permanentes, generalmente, de superficies transparentes. Es un excelente método para describir semicuantitativamente los cambios en la raíz de diferentes cultivares o especies en las diferentes estaciones o en respuesta de algún tratamiento aplicado, asimismo, facilita la observación del drenaje. Su diseño también puede permitir mediciones entre el balance de masa de agua, nutrientes y el volumen radicular de un cultivo. Permite realizar investigaciones del comportamiento de los nutrientes en la zona radicular, detalles en los procesos de difusión, flujo de masas y gases en el suelo. Así como, tener una mejor información del rol biótico del suelo en el ciclo de nutrición y consumo de la planta (Klepper y Kaspar 1994).

En la Figura 4, se muestra dos tipos de rizotrones utilizados para cuantificar las raíces en el cultivo de maíz; para facilitar la observación, se le ha realizado una cuadrícula de 5 x 5 cm.



**Figura 4: Rizotrón en maíz**

FUENTE: Tomado de Noah *et al.* (2017).

## 2.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

### 2.3.1. Textura arenosa

La textura indica la proporción de las partículas fundamentales del suelo: arcilla, limo y arena, que se pueden agrupar en fina, media y gruesa. El suelo arenoso está compuesto por minúsculas partículas de piedra de 0.05 a 2 mm de diámetro y tiene una textura rasposa. Los suelos de textura gruesa, son los suelos con más de 50 % de arena, pero contienen menos del 20 % de arcilla. Cuentan con una baja capacidad para retener nutrientes y agua. La gran cantidad de poros grandes (macroporos) y bajo contenido de arcilla provoca que se pierda más fácilmente el agua y nutrientes, especialmente nitrógeno. Esto ocasiona un desarrollo pobre de los cultivos al no cubrir sus necesidades nutricionales. La alta lixiviación y volatilización de nitrógeno en estos suelos hace necesario fraccionar la fertilización nitrogenada y la aplicación de materia orgánica (Grupo Sacsa 2015; Intagri 2017).

### 2.3.2. Suelos pedregosos

Son suelos que contienen partículas muy gruesas y su drenaje es muy bueno, pero no retiene ni el agua ni los nutrientes. Es un suelo difícil de cultivar. Las plantas que mejor sobreviven en estas condiciones son las de hoja gris, cerosa, con vellosidad y xerofitas. Las piedras y las gravas disminuyen el volumen efectivo de suelo para almacenar agua, nutrientes y para la exploración de las raíces, además pueden dificultar el laboreo del suelo. Generalmente, suele decirse que las piedras (clastos), se comportan como materiales inertes. La cantidad y tamaño de las piedras es un aspecto muy importante para determinar la capacidad de uso de los suelos (Ibáñez 2008).

Según la Guía para la descripción de perfiles de suelo de la FAO (1977) clasifica a los suelos según la cantidad de piedras presentes en este, tal como se aprecia en el Cuadro 3.

**Cuadro 3: Clasificación de los suelos según porcentaje de piedras presentes en el suelo**

<b>Piedras en el perfil del suelo</b>	<b>(% Volumen)</b>
Muy pocas	< 5
Pocas	5 - 15
Frecuentes	15 - 40
Abundantes	40 - 80
Dominantes	> 80

FUENTE: Adaptado de FAO (1977).

Mohamadzade (2021), en una investigación realizada en olivo sobre la sustitución del riego por gravedad a goteo, reporta las características del perfil del suelo en estudio, como de textura gruesa y alto contenido de gravas. En el Cuadro 4, se detallan las características físicas de dicho suelo.

**Cuadro 4: Propiedades físicas del suelo de un parque de olivo**

Profundidad (cm)	Textura	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Gravas (%)
0 - 20	Franco arcillo arenoso	21.0	24.33	54.67	45.43
20 - 40	Franco arenoso	14.34	16.33	69.33	65.12
40 - 60	Franco arenoso	17.68	17.99	64.33	69.22
60 - 80	Franco arcillo arenoso	22.0	15.67	62.33	61.67

FUENTE: Adaptado de Mohamadzade (2021).

## 2.4. COEFICIENTES HÍDRICOS

### 2.4.1. Capacidad de campo (CC)

Es el contenido de agua que tiene un suelo después que se saturó y drenó libremente por espacio de 24 a 72 horas. En un suelo saturado todos los poros están ocupados por agua. Un suelo a CC, los macroporos perdieron el agua y están llenos de aire, y los microporos están llenos de agua, la que es retenida contra la fuerza de la gravedad. Este es el límite máximo de agua utilizable por las plantas, y representa el máximo nivel de confort hídrico para los cultivos (García *et al.* s.f.).

En términos de tensión, el valor de capacidad de campo se obtiene, generalmente, cuando se aplica al suelo una tensión de 1/3 de atmósfera (-33 KPa) (Flores y Alcalá 2010).

### 2.4.2. Punto de marchitez (PM)

Es el contenido de agua que tiene un suelo cuando el cultivo extrajo toda el agua utilizable. En el suelo queda un cierto contenido de agua, pero tan fuertemente retenida que no es extraíble por el cultivo (García *et al.* s.f.).



El punto de marchitamiento permanente (PMP) se define como la cantidad de agua del suelo en el que las hojas de las plantas que en él crecen se marchitan y no son capaces de recuperarse cuando se colocan en una atmósfera casi saturada de agua durante una noche. En la práctica, se utiliza este concepto para indicar el límite inferior del intervalo de agua disponible en el suelo. El valor de este parámetro se puede obtener aplicando al suelo una tensión de -1500 kPa (Flores y Alcalá 2010).

#### **2.4.3. Densidad aparente (Da)**

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa o peso del suelo seco (peso de la fase sólida) y el volumen total, incluyendo al espacio poroso. En agricultura, la masa del suelo se refiere al peso después de secar el suelo en estufa a 110°C durante 24 horas o hasta peso constante. Esta medida permite ver la facilidad de penetración de las raíces en el suelo, permite la predicción de la transmisión de agua, la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y calcular la lámina de agua en el suelo. Además, permite calcular la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas, y estimar la masa de la capa arable (Flores y Alcalá 2010).

#### **2.4.4. Métodos para monitorear la humedad del suelo**

El monitorear el contenido de agua en el suelo es esencial para optimizar la producción, conservar agua, reducir los impactos ambientales y ahorrar dinero. Ayuda a tomar mejores decisiones en la programación del riego e igualar los requerimientos de agua del cultivo con la cantidad aplicada y así evitar pérdidas de agua excesivas por percolación profunda y/o por escurrimiento. El exceso de riego puede incrementar el consumo de energía y los costos de agua, aumentar el movimiento de fertilizantes por debajo de la zona radicular, producir erosión y transporte de suelo y partículas de químicos a los canales de drenaje.

En el Cuadro 5, se presenta un comparativo de algunos métodos usados para monitorear la humedad del suelo.

**Cuadro 5: Ventajas y desventajas de algunos métodos usados para monitorear la humedad del suelo**

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Gravimétrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy preciso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destructivo.</li> <li>• Requiere de mano de obra.</li> <li>• Consume mucho tiempo.</li> </ul>
Sensores Watermark	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena precisión en suelos de textura media a fina debido a sus partículas de tamaño fino similares a la matriz granular del sensor.</li> <li>• Accesible (aproximadamente \$20 por sensor, \$250 por el medidor).</li> <li>• Manejo fácil (peso ligero, tamaño de bolsillo, instalación fácil y lectura directa).</li> <li>• Rango amplio de lecturas de la humedad del suelo (de 0 a 200cb, o kPa).</li> <li>• Útil durante varias temporadas con un cuidado apropiado.</li> <li>• Medidas continuas en la misma ubicación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respuesta lenta a cambios en el contenido de agua en el suelo después de una lluvia o un riego.</li> <li>• Falta de precisión en suelos arenosos debido a sus partículas grandes.</li> <li>• Requiere de tiempo para determinar cuál lectura del sensor es la más apropiada para el riego.</li> <li>• Requiere de mano de obra intensa para recolectar la información regularmente (sin embargo, es posible conectar los sensores Watermark® a un registro de datos; por lo tanto, las lecturas se recopilan automáticamente y pueden ser descargadas mediante un programa a una computadora personal).</li> <li>• Requiere de calibración para utilizarse en cada tipo de suelo.</li> </ul>
Sensor de Capacitancia: Sensores ECH2O (Modelos EC-20, EC-10, y EC-5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de leer directamente el contenido volumétrico del agua en el suelo.</li> <li>• No requiere de mantenimiento especial.</li> <li>• Alta precisión cuando los sensores están instalados apropiadamente y tienen buen contacto con el suelo.</li> <li>• Amplio rango de operación (de 0 hasta suelo saturado).</li> <li>• Medidas continuas en el mismo sitio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnica de alto costo. Las sondas EC Echo tienen un costo de \$100 (de 1 a 10 unidades); sin embargo tienen un costo de \$70 cada una si se piden 11 unidades o más. Tiene un medidor portátil para tomar mediciones directas que cuesta \$300. Si se quiere recolectar la información con un registro de datos se requiere una computadora personal, el programa cuesta \$95 y el registrador de datos HOBO® tiene un costo de \$200 y permite la conexión de varios sensores.</li> </ul>
Tensiómetros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo.</li> <li>• Lectura directa de la tensión del agua del suelo para programar el riego.</li> <li>• Medidas continuas en el mismo lugar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere chequeo periódico.</li> <li>• Opera solamente para succión de la humedad del suelo menores a 80 cb (no es útil para suelos más secos).</li> </ul>
Dispersor de neutrones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se considera uno de los métodos más exactos para medir el contenido de agua en el suelo cuando se calibra apropiadamente.</li> <li>• Tiene capacidad para medir el agua del suelo a diferentes profundidades, durante muchas veces en la temporada del cultivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No puede proporcionar una lectura precisa en las primeras 6 pulgadas de profundidad del suelo debido al escape de neutrones rápidos emitidos de la sonda de neutrones.</li> <li>• Técnica muy costosa (de \$3,000 a \$4,000) requiere de licencia especial, entrenamiento regular para el operador, manejo especial, procedimientos de embarque y almacenamiento.</li> <li>• Requiere de procesos de seguridad para la radiación, que son molestos.</li> <li>• Requiere calibración de las lecturas de la sonda de neutrones contra medidas gravimétricas mediante la selección de un sitio mojado y uno seco; para calibrarlo para diferentes tipos y profundidades del suelo</li> </ul>

FUENTE: Extraído de Enciso *et al.* (2007).

## 2.5. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

La calidad del agua de riego se define en función de tres criterios principales: salinidad en sentido restringido, sodicidad y toxicidad (Pizarro 1996).

### 2.5.1. Salinidad

El criterio de salinidad evalúa el potencial riesgo del uso del agua, en ocasionar altas concentraciones de sales en el suelo, efecto osmótico y disminución de rendimientos de los cultivos. Es así, que un alto contenido de sales disueltas en el suelo, incrementa la tensión y exige a las raíces un esfuerzo adicional para absorber el agua, limitando el rendimiento de los cultivos (Pizarro 1996).

La conductividad eléctrica del agua de riego (CEa), se expresa en mmhos/cm o dS/m, este valor es empleado como medida indirecta de la concentración de sólidos disueltos totales (TDS) con una precisión del 10 % aproximadamente (Ecuación 1). La conversión se realiza mediante la siguiente expresión (Alaluna 2018):

$$\text{TDS (mg/l)} = \text{CE (dS/m)} \times 0.64 \quad (\text{Ecuación 1})$$

En el riego localizado de alta frecuencia (RLAF) el agua se difunde tanto en profundidad como lateralmente, transportando las sales al límite de las zonas humedecidas. De ello se puede esperar acumulaciones de sales en la superficie del suelo, a poca profundidad y en la periferia del bulbo húmedo, sin embargo, al interior de éste, justo debajo del emisor o gotero, la humedad del suelo es siempre elevada y la concentración de sales es reducida (Pizarro 1996).

El agua de riego puede ser clasificada de acuerdo a la presencia de sales, según lo planteado por Ayer y Westcot en su publicación de la FAO Irrigación (1985) (Cuadro 6).

**Cuadro 6: Criterios para evaluar la calidad de agua de riego: Salinidad**

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción en el uso		
		Ninguno	Ligero o Moderado	Severo
Salinidad:				
CEa	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000

FUENTE: Tomado de Ayer y Westcot (1985).

### 2.5.2. Sodicidad

El criterio de sodicidad analiza el riesgo de que exista en el agua de riego un elevado PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable), con deterioro de la estructura del suelo (Pizarro 1996).

El sodio ( $\text{Na}^+$ ) provoca la separación de los coloides del suelo cuando interacciona y desplaza los cationes divalentes presentes ( $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ), reduciendo el acceso y flujo de agua y oxígeno en el perfil del suelo. La aplicación de aguas con elevadas concentraciones de sodio al suelo, disminuye la fertilidad del mismo debido a la reducción de la aireación, aumento del pH y baja disponibilidad de hierro (Fe) y zinc (Zn) (Castellanos y Ojodeagua 2011).

La sodicidad se expresa como la concentración relativa de sodio comparada con el calcio y magnesio y existen dos formas de representarla: relación de adsorción de sodio (RAS) y relación de adsorción de sodio ajustada (RAS aj).

La fórmula para determinar el RAS del agua es (Richards 1985):

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

RAS = Relación de adsorción de sodio (adimensional)

Na = Concentración de sodio en el agua (me/L)

Ca = Concentración de calcio en el agua (me/L)

Mg = Concentración de magnesio en el agua (me/L)

Este valor nos está indicando el riesgo de incrementar el sodio en el suelo desplazando a los cationes del complejo de cambio, ello trae como consecuencia una dispersión de las partículas y como consecuencia deterioro de la estructura del suelo, reduciendo la percolación del agua en el suelo.

De acuerdo con la fórmula planteada, el calcio y magnesio presentan un inverso a la presencia de sodio, pero el calcio puede interaccionar con otros iones presentes en el agua tal es el caso del bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) que reacciona con el calcio y forman carbonatos alterando la presencia de calcio, ello es considerado como determinación de calcio ajustada, siendo Fertilab (s.f.) quien propone la siguiente correspondencia entre la relación bicarbonato/calcio y el nivel de salinidad (Cuadro 7).

**Cuadro 7: Valores ajustados de calcio para calcular la RAS ajustada**

Relación HCO <sub>3</sub> /Ca	Salinidad del agua aplicada al suelo CE (dS/m)								
	0.1	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3	4
0.05	13.20	13.90	14.40	14.80	15.30	15.90	16.40	17.30	18.00
0.1	8.30	8.80	9.10	9.30	9.60	10.00	10.40	10.90	11.30
0.2	5.20	5.50	5.70	5.90	6.10	6.30	6.50	6.90	7.10
0.3	4.00	4.20	4.40	4.50	4.60	4.80	5.00	5.20	5.40
0.4	3.30	3.50	3.60	3.70	3.80	4.00	4.10	4.30	4.50
0.5	2.80	3.00	3.10	3.20	3.30	3.40	3.50	3.70	3.90
1	1.80	1.90	2.00	2.00	2.10	2.20	2.20	2.40	2.50
2	1.10	1.20	1.20	1.30	1.30	1.40	1.40	1.50	1.50
3	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.20
4	0.70	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	1.00
5	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.80	0.80	0.80
10	0.40	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30

FUENTE: Suarez (1981), tomado de Fertilab (s.f.).

Esta determinación del calcio ajustado o calcio libre presente en el agua de riego, permite efectuar un nuevo cálculo del RAS que le denomina RAS ajustada (Fertilab s.f.).

Los problemas o restricciones de uso del agua en base al RAS se efectúan en base a su relación entre el RAS y la CEa (contenido de sales del agua) (Cuadro 8).

**Cuadro 8: Criterios para evaluar la calidad de agua de riego: RAS en relación con la CEa**

Problema potencial	Grado de restricción en el uso		
	Ninguno	Ligero o Moderado	Severo
RAS		CEa	
0 - 3	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
3- 6	> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
6 - 12	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
12 - 20	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
20 - 40	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9

FUENTE: Adaptado de Ayer y Westcot (1985).

Considerando que el efecto del RAS en el agua se manifiesta en el suelo y en sus características, por ende, las medidas alternativas de prevención se plantean a nivel del suelo, tal como se presenta en el Cuadro 9.

**Cuadro 9: Interpretación del nivel de RAS en el agua y sus alternativas de prevención a nivel del suelo**

RAS	Nivel del problema	Solución
< 3	Libre de sodio	No requiere enmienda
3 - 6	Moderado	Aplicaciones esporádicas de yeso agrícola
6 - 9	Importante	Aplicaciones frecuentes de yeso agrícola
9 - 12	Severo	Requiere de yeso agrícola. Su uso en agricultura depende del nivel de sodio.
>12	Muy Severos	Requiere de yeso agrícola. Su uso en agricultura depende del nivel de sodio.

FUENTE: Adaptado de Alaluna (2018).

Se recomienda el yeso agrícola debido a su disponibilidad y costo. Su aplicación se efectúa en base al porcentaje de saturación de sodio (RAS), considerando que este debe presentar concentraciones óptimas entre 5% y 15% para reducir su efecto tóxico.

**2.5.3. Toxicidad**

El criterio de toxicidad estudia los problemas que pueden crear determinados iones en las plantas (Pizarro 1996).

Los elementos principalmente son absorbidos en forma iónica, pero entre iones existen diferentes interacciones, algunas de las cuales son antagónicas o sinérgicas, pero a la vez si bien los nutrientes permiten un mejor desarrollo en la planta, en concentraciones altas pueden presentar efectos adversos, por ello se plantean niveles que se podrían aportar a través del agua de riego (Cuadro 10).

**Cuadro 10: Criterios para evaluar la calidad de agua de riego: Toxicidad de algunos elementos**

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción en el uso		
		Ninguno	Ligero o Moderado	Severo
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	meq/l	< 4	4.0 - 10.0	> 10.0
Boro (B)	meq/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	meq/l	< 5	5.0 - 30.0	> 30.0
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	meq/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH		Rango normal: 6.5 - 8.4		

FUENTE: Tomado de Ayer y Westcot (1985).

#### **2.5.4. Elementos que obturan los emisores**

Uno de los más grandes problemas en el riego por goteo, es el taponamiento de los emisores, que afecta adversamente la tasa de aplicación y la uniformidad de la distribución de agua (Kafkafi y Tarchitzky 2012).

Según Ferrada (2002), el origen de las obstrucciones puede ser física, química y biológica. Las cuales pueden resumirse en:

- Aglomeración de sedimentos orgánicos.
- Taponamiento por elementos minerales.
- Precipitados en forma de fosfatos y carbonatos de calcio o magnesio.
- Acumulación de sales en los goteros al producirse la evaporación del agua.

##### **a. Obturación tipo físicas**

Son producidas por la carga de partículas sólidas que lleva el agua en suspensión. Estas partículas pueden ser de arcilla, limo, arena, plástico, etc. que pasan los filtros o que se introducen en el sistema a la hora de instalarse o de repararse. Otro tipo de taponamiento común en instalaciones nuevas corresponde al producto de los residuos que se generan al cortar y lijar el PVC de las tuberías de conducción, también es frecuente encontrar restos de tierra y piedras que han ingresado a la tubería al momento de efectuar las uniones respectivas (Ferrada 2002; Hidalgo s.f.). Por tal motivo se recomienda hacer la limpieza periódica de la red principal, bloqueando cada unidad de riego.

Bajo ciertas condiciones, las partículas de tamaño limo pueden acumularse produciendo taponamiento de goteros. Así mismo, la turbidez del agua, se utiliza a menudo como una medida para calcular los sólidos en suspensión, pero no es un buen indicador del potencial de obturación del agua (Smart Fertilizer 2020). Una solución para este problema, es la de usar goteros de flujo turbulento y/o autolimpiante.

##### **b. Obturación tipo biológicas**

Es causada por la presencia de organismos vivos, principalmente algas, bacterias, hongos y materia orgánica en descomposición, que se reproducen y habitan en el agua, en ocasiones se encuentran al interior de las instalaciones del sistema de riego como consecuencia de condiciones ambientales que favorecen su desarrollo (Ferrada 2002).

Las obstrucciones por microorganismos son comunes cuando se utiliza agua con alta actividad biológica y que contiene hierro, compuestos de azufre y compuestos de sulfuro de hidrógeno (Smart Fertilizer 2020).

Las algas son organismos de organización sencilla y fotosintéticas. Existen en formas unicelulares, coloniales y pluricelulares. Se clasifican como: algas azul-verdes, algas verdes, diatomeas y algas flageladas. El incremento anormal de las algas se produce por el exceso de nutrientes y cambios en la temperatura (Fernández s.f.).

No presentan verdaderas raíces, tallos ni hojas, porque, al estar rodeadas de agua, no requieren de un sistema conductor de nutrientes. Puede presentarse, que algunas células solitarias se agreguen para formar una colonia o filamentos originando un talo pluricelular más o menos complejo. Tienen una alta tasa de crecimiento, ocasionando que el agua se enturbie adquiriendo una coloración verdosa (Menéndez y Fernández 2021; Ferrada 2002).

Las colonias de algas a manera de masas gelatinosas, son las que mayores problemas causa en los sistemas de riego localizado, debido a que su densidad es similar a la del agua lo que les permite flotar e introducirse al sistema. Las algas se reproducen en aguas superficiales, cuando el agua de riego se almacena en reservorios al aire libre, y las condiciones de luz y temperatura son favorables para su desarrollo. Si el agua de riego proviene de pozo directamente o de reservorios cubiertos, no se desarrollan principalmente por la falta de luz (Ferrada 2002). Una solución sería la de utilizar goteros de diámetro de paso grande relacionado con el caudal del gotero, para evitar este tipo de obturaciones.

### **c. Obturación tipo químicas**

La obstrucción química es la precipitación de minerales, que pueden formarse cuando la solubilidad de los minerales en el agua es suficientemente baja. La solubilidad de un mineral depende de la temperatura del agua, el pH, el potencial redox y la concentración de los elementos minerales presentes en el agua. Los elementos más comunes son el calcio, magnesio, hierro y manganeso. El agua que contiene altos niveles de estos elementos, y tiene un pH superior a 7.0, podría potencialmente causar la obstrucción de los goteros (Smart Fertilizer 2020).

Las aguas duras también denominado aguas calcáreas, se producen generalmente cuando las aguas de riego presentan un pH básico y en su composición hay niveles importantes de carbonatos, bicarbonatos y altos contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , que llegan a ocasionar el



taponamiento de los emisores, independientemente de que se disponga de un buen sistema de filtrado. Los precipitados de carbonato cálcico se producen si las aguas calcáreas llevan en disolución el ión bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en una concentración mayor que 130 mg/l (2.13 meq/l) y pH mayor de 7.5 (Gonzales y Campos, 2012; Hidalgo, s.f.) y niveles de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , superiores a los 50 ppm (Gutiérrez 2018).

La dureza del agua es expresada en base a la equivalencia del contenido de calcio y magnesio en términos de carbonato. Una forma de calcular la dureza del agua (D) es mediante la siguiente fórmula:

$$D = (\text{Ca}^{2+} \times 2.5 + \text{Mg}^{2+} \times 4.12) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  expresados en unidades ppm (Gutiérrez 2018).

En base al valor obtenido, se clasifica el agua en términos de agua blanda y agua dura, tal como es expresado en el Cuadro 11.

**Cuadro 11: Clasificación de la dureza del agua**

Tipo de agua	ppm $\text{CaCO}_3$
Muy blanda	0 – 15
Blanda	16 – 75
Semidura	76 – 150
Dura	151 – 300
Muy dura	> 300

FUENTE: Tomado de Gutiérrez (2018).

González y Campos (2012), afirman que para prevenir la formación de precipitados se aconseja bajar el pH del agua de riego a un nivel entre 5.5 – 6.5, a través de la adición de ácido a la misma. Los ácidos que suelen utilizarse son el sulfúrico, fosfórico, clorhídrico y nítrico, siendo este último el más empleado. La cantidad de ácido a inyectar en el agua de riego va a depender principalmente de las características del ácido empleado y de las características químicas del agua de riego.

La cantidad de ácido se puede determinar a través de distintos procedimientos, uno de esos métodos consiste en una aproximación numérica a través del Índice de saturación de Langelier (Is). Este índice viene definido por la siguiente expresión:

$$I_s = \text{pH agua} - \text{pH}_s. \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

pHs = pH al cual un agua con una determinada alcalinidad y contenido de calcio está en equilibrio (ni sobresaturada ni subsaturada de carbonato cálcico).

Valores positivos indican que el agua depositará carbonato cálcico. Valores negativos expresan que la tendencia del agua no sólo no es la de depositar carbonato cálcico, sino la de disolver depósitos calizos. Este índice indica el valor del pH de equilibrio a alcanzar.

En el Cuadro 12, se presenta una relación de los problemas que pudieran presentarse por la calidad del agua.

**Cuadro 12: Problemas potenciales con respecto a la calidad del agua en el riego por goteo**

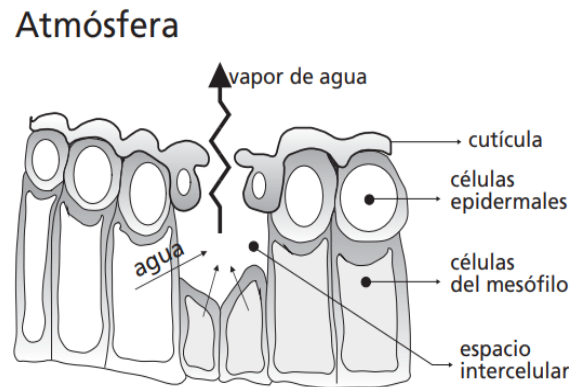
TIPO DE FACTOR	LEVE	MODERADO	GRAVE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS (ppm)			
INORGÁNICOS	<10	10 - 100	>100
ORGÁNICOS	<10		>10
OBSTRUCCIÓN			
HIERRO (ppm)	0.0 - 0.1	0.1 - 0.4	0.4+
MANGANESO (ppm)	0.0 - 0.2	0.2 - 0.4	0.4+
SULFUROS (ppm)	0.0 - 0.1	0.1 - 0.02	0.2+
CARBONATO DE CALCIO	0.0 - 50.0	50.0 - 100.0	150.0+
BIOLOGICOS			
POBLACIONES DE BACTERIAS	10,000	10,000 - 50,000	50,000+

FUENTE: Tomado de Netafim (2014).

## 2.6. EVAPOTRANPIRACIÓN (ET)

Allen *et al.* (2006), definen la evapotranspiración (ET) como la pérdida de agua del suelo por dos procesos distintos: Evaporación del agua contenida en el suelo y por la transpiración del agua contenida en las plantas. Ambos procesos ocurren simultáneamente. La transpiración es el transporte y evaporación del agua desde el suelo a la atmósfera, a través del tejido de las plantas, los estomas, pequeñas aberturas en las hojas, por donde atraviesan gases y vapor de agua. A mayor demanda evaporativa de la atmósfera, los estomas (Figura 5) tendrán una mayor apertura, por lo tanto, la transpiración será mayor, es decir, la transpiración depende del clima y de la planta.

Gran parte del agua absorbida por las plantas se pierde por la transpiración y solo una pequeña parte se queda en los tejidos vegetales, sin embargo, existen plantas, del tipo xerófitas que se desarrollan en los desiertos, que no presentan hojas, por ende, no pierden agua por transpiración (Cuba-Ochoa 2014).



**Figura 5: Representación esquemática de un estoma**

FUENTE: Extraído de FAO (2006).

En la mayoría de especies vegetales, a la siembra, casi el 100 % de la ET ocurre en forma de evaporación, conforme va desarrollándose la cobertura vegetal, la ET puede llegar a un 90 % de la transpiración (FAO 2006).

Así mismo, los factores que determinan la ET, son el clima, el cultivo y el manejo. Las variables climáticas que afectan este proceso son: radiación, temperatura ambiental, humedad atmosférica y velocidad del viento. Es necesario contar con registros climáticos y por medio de la aplicación de algún modelo matemático desarrollado y correlacionado con determinaciones en campo. De igual forma, la disponibilidad de agua en el suelo, es uno de los elementos de mayor efecto, misma que está relacionada con las características del suelo (textura, estructura, densidad aparente, etc.). La incidencia de plagas y enfermedades, saturación del perfil, prácticas culturales, entre otros, pueden aumentar o disminuir la tasa de evaporación (FAO 2006).

### **2.6.1. Evapotranspiración potencial o de cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>)**

Es la cantidad de agua evaporada y transpirada (evapotranspiración máxima) por un cultivo de tamaño corto (cultivo de referencia), de crecimiento activo, que sombrea totalmente la superficie del terreno y cuenta con un adecuado y constante suministro de agua. La ET<sub>o</sub> que

realmente se produce en un momento determinado es función de una serie de factores climáticos, de la cubierta vegetal presente en ese momento y de la humedad disponible (Pizarro 1990).

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

Es la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra libre de enfermedades, con buena fertilización, que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza su máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona (FAO 2006).

Se calcula:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

ET<sub>c</sub>: evapotranspiración del cultivo (mm/d)

K<sub>c</sub>: coeficiente del cultivo (adimensional)

ET<sub>o</sub>: evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/d)

El valor de ET<sub>c</sub> es bajo condiciones estándar, es decir, cuando no hay impedimentos en el crecimiento del cultivo, debido a limitaciones de agua, densidad de siembra, patógenos, malezas o excesiva salinidad. Cuando estas condiciones estándar cambien por factores que puedan limitar el valor ET<sub>c</sub>, el cual deberá ser ajustado (ET<sub>c</sub> aj) (FAO 2006).

### **2.6.3. Coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>)**

El coeficiente del cultivo hace mención, a un cultivo típico de campo (pasto de referencia), con apariencia uniforme y que cubre completamente la superficie del suelo. Por ende, los cultivos poseen distintos valores de K<sub>c</sub> que varían durante el crecimiento del mismo. Los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectan al valor de K<sub>c</sub> (FAO 2006).

### **2.6.4. Coeficiente de riego (fr)**

Es una de las estrategias usadas para ahorrar agua en agricultura. Se basa en aportar una menor cantidad de agua a la planta con respecto a la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>), es decir, emplear láminas de riego en función de la gradiente de la ET<sub>o</sub>: 100% ET<sub>o</sub>, 80% ET<sub>o</sub>, 60 % ET<sub>o</sub>, 40% ET<sub>o</sub> y 20% ET<sub>o</sub>, para la determinación del coeficiente de riego.

En una investigación realizada por Ascencios *et al.* (2019) en césped americano, seleccionaron diferentes coeficientes que permitieron mantener al césped con bajo requerimiento de agua y mantenimiento (ahorro del volumen de agua del 31%) y buena calidad visual, aplicando el proceso de análisis jerárquico para la selección de los coeficientes. Los coeficientes seleccionados fueron: 0,8; 0,8; 0,4 y 0,6 de la ETo para la época de verano, otoño, invierno y primavera, respectivamente.

Zhang *et al.* (2021) llevaron a cabo un experimento de campo de tres años para examinar los efectos de diferentes métodos de riego en el uso del agua y la economía del maíz en el distrito de riego de Hetao en China. El riego por surcos incluyó el 100% (450 mm), el 80% (360 mm) y el 60% (270 mm) del nivel recomendado, el riego por surcos de 360 mm obtuvo un rendimiento de grano y una ganancia neta comparables con el control, con la reducción de la aplicación de agua en un 31%.

## 2.6.5. Métodos para determinar la evapotranspiración

### a. Estaciones meteorológicas

La Estación meteorológica portátil Kestrel 5000 es un medidor ambiental con batería de litio AA, permite registrar datos y gráficos integrados. Mide la velocidad del viento (velocidad del aire), temperatura, humedad y presión y muestra más de diez parámetros ambientales totales en una pantalla gráfica, de alta resolución y alto contraste (Figura 6). La conectividad LiNK opcional con tecnología Bluetooth de baja energía proporciona comunicación inalámbrica a dispositivos móviles y computadoras (Kestrel s.f.).



**Figura 6: Medidor ambiental Kestrel 5000**

FUENTE: Tomado de Kestrel (s.f).

## **b. Tanque tipo A**

El tanque de evaporación tipo A, es utilizado para medir fácilmente la tasa evaporativa. En ausencia de lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un período (mm/día) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese período. Los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de agua (FAO 2006).

Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada: la reflexión de la radiación solar del agua, el almacenaje de calor dentro del tanque, las diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire, así como la transferencia de calor a través de las paredes del tanque, podrían afectar el balance energético, sin embargo, el uso de la evaporación del tanque para predecir la ETo puede ser considerado confiable si se usa el coeficiente empírico correcto, derivado del mismo tanque:

$$E_{To} = k_p \times E_{pan} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

ETo: evapotranspiración de referencia (mm/d)

kp: coeficiente del tanque evaporímetro (adimensional)

Epan: evaporación del tanque evaporímetro (mm/d)

En el Cuadro 13, se determinan los valores de kp para el caso A (tanque situado en una superficie sembrada) según la velocidad del viento y la humedad relativa de la zona en estudio.

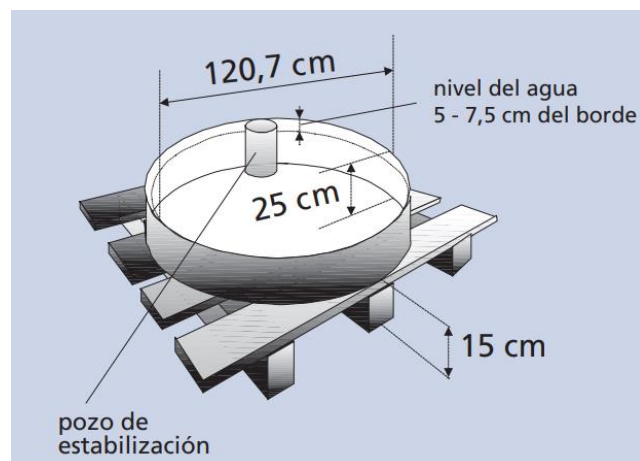
El tanque clase A es circular, 120.7 cm de diámetro y 25 cm de profundidad, tal como se describe en la Figura 7. Está construido de hierro galvanizado o de láminas de metal (0.8 mm). El tanque se sitúa sobre una plataforma de madera en forma de reja que se encuentra a 15 cm por encima del nivel del suelo. El tanque debe estar a nivel. Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7.5 cm por debajo del borde. El agua debe ser regularmente cambiada, al menos semanalmente, para eliminar la turbidez. Si el tanque es galvanizado, debe ser pintado anualmente con pintura de aluminio. Los tanques deben ser protegidos con

mallas de seguridad para evitar el acceso de los animales. Es preferible que la estación se encuentre situada en el centro o dentro de grandes campos cultivados (FAO 2006).

**Cuadro 13: Valores de Kp para el tanque clase A. Caso A, en base a la velocidad media del viento y la humedad relativa**

Tanque Clase A	HR media	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada		
		baja < 40	media 40-70	alta > 70
Velocidad del viento (m s <sup>-1</sup> )	Distancia del cultivo a barlovento (m)			
Baja	1	,55	,65	,75
< 2	10	,65	,75	,85
	100	,7	,8	,85
	1 000	,75	,85	,85
Moderada	1	,5	,6	,65
	10	,6	,7	,75
	100	,65	,75	,8
Alta	1	,45	,5	,6
	10	,55	,6	,65
	100	,6	,65	,7
Muy alta	1	,4	,45	,5
	10	,45	,55	,6
	100	,5	,6	,65
	1 000	,55	,6	,65

FUENTE: Adaptado de FAO (2006).



**Figura 7: Dimensiones del tanque evaporímetro clase A**

FUENTE: Tomado de FAO (2006).

### c. Método FAO Penman-Monteith – Datos climatológicos

Es un método estándar único para el cálculo de la ETo a partir de datos meteorológicos, en un cultivo de referencia (pasto verde) de 0.12 m de altura, uniforme, con crecimiento activo y con un adecuado riego. Este método requiere los datos de temperatura del aire, humedad atmosférica, radiación y velocidad del viento (FAO 2006).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (\text{Ecuación Penman-Monteith})$$

donde:

ET <sub>o</sub>	evapotranspiración de referencia (mm día <sup>-1</sup> )
R <sub>n</sub>	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
R <sub>a</sub>	radiación extraterrestre (mm día <sup>-1</sup> )
G	flujo del calor de suelo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u <sub>2</sub>	velocidad del viento a 2 m de altura (m s <sup>-1</sup> )
e <sub>s</sub>	presión de vapor de saturación (kPa)
e <sub>a</sub>	presión real de vapor (kPa)
e <sub>s</sub> - e <sub>a</sub>	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C <sup>-1</sup> )
γ	constante psicrométrica (kPa °C <sup>-1</sup> )

## 2.7. RIEGO POR GRAVEDAD

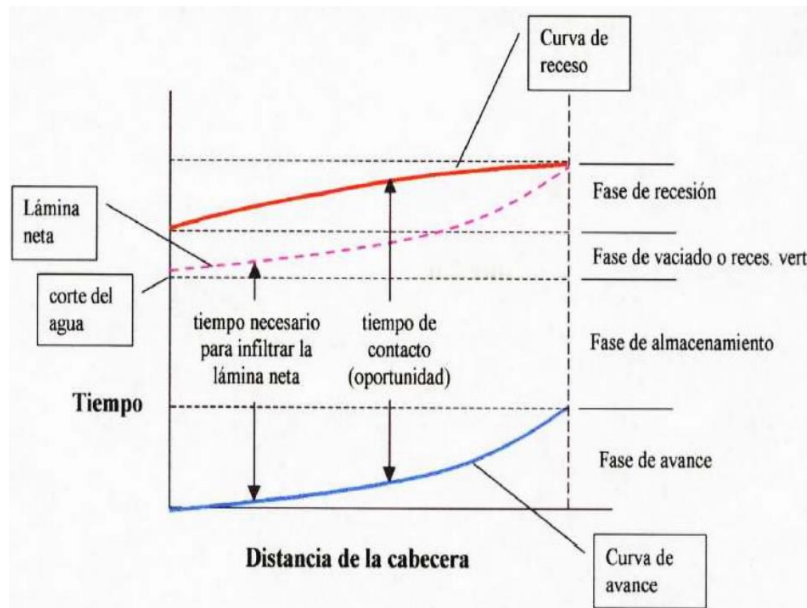
Según Rázuri (2017) el riego por superficie conocido también como riego por gravedad, es la forma tradicional de aplicar el agua al suelo con la finalidad de compensar el agua perdida por la evapotranspiración del cultivo. Este sistema de riego es recomendable para ser utilizado en terrenos con topografía plana o con escasa pendiente. La característica principal, es el suelo como sistema de distribución del agua, por lo cual, este método es poco costoso en instalaciones y mantenimiento, pero generalmente, no se consiguen altas eficiencias de riego.

Con respecto a este último punto, García (2011) afirma que no se puede generalizar al hablar de la eficiencia de aplicación de determinado método de riego, y mucho menos si se refiere a los riegos por gravedad, porque dependen del diseño y de su correcta operación.



### 2.7.1. Fases del riego

En la Figura 8, se puede apreciar las fases del riego por gravedad, las cuales son:



**Figura 8: Fases del riego por gravedad**

FUENTE: Tomado de Fernández *et al.* (2010).

#### a. Avance

Es el movimiento del agua a partir del momento en que comienza a ser aplicada y avanza por la superficie del suelo hasta alcanzar el punto más lejano. Se considera que ha finalizado el avance cuando todos los lugares que necesitan de riego se han mojado. La duración del avance puede ser diversa y depende de factores como el caudal aplicado, pendiente del terreno, longitud del surco y capacidad de infiltración del suelo (Fernández *et al.* 2010).

#### b. Almacenamiento

Una vez que finaliza el avance, el agua comienza a almacenarse sobre el suelo mientras continúa infiltrándose hasta que se corta el suministro de agua, cuando se ha alcanzado el tiempo de aplicación del riego (Fernández *et al.* 2010).

#### c. Vaciamiento

Esta fase se inicia al suspender el suministro de agua y termina cuando queda descubierto el suelo de agua en la cabecera (Razuri 2017).

#### **d. Recesión**

Se denomina recesión a lo que tarda el agua en desaparecer de la superficie del suelo después de cortar su ingreso. Si la parcela está nivelada el receso ocurre simultáneamente en todos los puntos, por el contrario, en el caso de tener una pendiente, lo normal es que el receso comience en la cabecera y termine en la cola (Fernández *et al.* 2010; Demin 2014).

Utilizando el tiempo que el agua tarda en avanzar y tarda en desaparecer de cada fase de riego, la curva del riego se puede representar fácilmente mediante el denominado diagrama de avance-receso (Figura 8), de donde se puede deducir los tiempos de infiltración en cada punto del surco. El conocimiento de los tiempos de infiltración es necesario para analizar la eficiencia y uniformidad del riego por superficie. Un riego será más uniforme cuanto más parecidos sean los tiempos de infiltración en todos los puntos de la parcela (Fernández *et al.* 2010).

#### **2.7.2. Velocidad de infiltración**

La velocidad de infiltración es la rapidez con que ingresa el agua en el perfil del suelo. Es alta en los primeros minutos del riego, después de un tiempo siempre decrece dependiendo de las condiciones del suelo. El conocimiento de este parámetro permite saber el tiempo de riego a utilizar, el tamaño de las unidades de riego y el caudal óptimo (Demin 2014).

Razuri (2017) afirma que se han propuesto varias ecuaciones empíricas para expresar la velocidad de infiltración como una función del tiempo, que puede ser representada por una curva hiperbólica (Figura 9). La ecuación de Kostiakov (1932) expresa la velocidad de infiltración en un punto

$$I = at^b \quad (\text{Ecuación de Kostiakov})$$

Donde:

I: velocidad de infiltración (mm/h)

t: tiempo de infiltración (min)

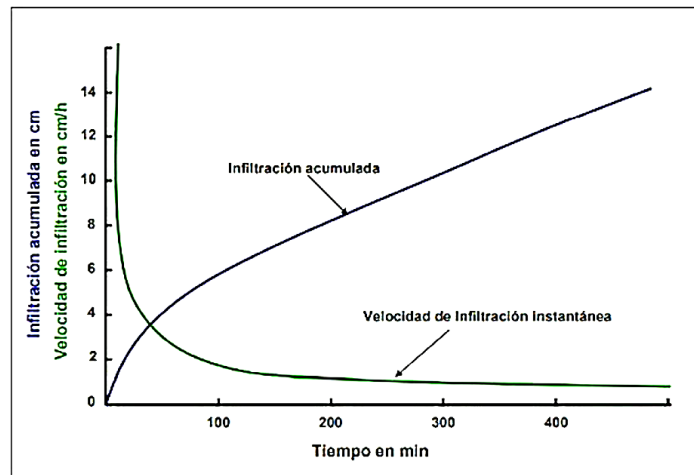
a: coeficiente, representa la velocidad de infiltración a  $t=1$  ( $\text{mm}/\text{min}^{-(b+1)}$  o  $\text{mm}/\text{h}^{-(b+1)}$ )

b: coeficiente adimensional, siempre es negativo con valores que van de 0 a -1.

La infiltración acumulada ( $I_{\text{cum}}$ ), proviene de derivar la ecuación de Kostiakov entre los límites  $t=0$  y  $t$ :

$$I_{\text{cum}} = At^B \quad (\text{Infiltración acumulada})$$

Por otro lado la infiltración de entrada básica ( $I_b$ ), es el valor instantáneo, cuando la velocidad de cambio de entrada, para un periodo estandar, es 10 % o menos de su valor.



**Figura 9: Velocidad de infiltración instantánea e infiltración acumulada**

FUENTE: Extraído de ABC Geotechnical Consulting (2021).

En suelos arenosos y gravosos, el agua percola rápidamente (poros y partículas minerales más grandes) presentando una mayor infiltración básica. Contrariamente, los suelos arcillosos (con poros y partículas extremadamente pequeños) mantienen una infiltración muy lenta, mostrando una infiltración básica muy reducida, pudiendo ocasionar problemas de encharcamiento. Así mismo, la forma en que el agua se infiltra, varía según la textura del suelo, en el suelo arenoso el agua se mueve principalmente hacia capas profundas, es decir, se produce un movimiento vertical, motivo por el cual los suelos arenosos suelen generar filtración profunda ante un exceso de agua. En los suelos arcillosos el agua se mueve principalmente en forma lateral mientras que el movimiento hacia capas más profundas es limitado (Ministerio de Agricultura 1975; Fernández *et al.* 2010).

En el Cuadro 14, se presenta la velocidad de infiltración según la clase textural de acuerdo a lo propuesto por la FAO. Las clases son estimadas a partir de propiedades del suelo y se refieren a una velocidad de infiltración estable.

**Cuadro 14: Velocidad media de infiltración para diferentes texturas de suelo**

<b>Textura</b>	<b>Velocidad de Infiltración (mm/h)</b>
Arenoso	50
Franco arenoso	25
Franco	13
Franco arcilloso	8
Arcilloso limoso	2.5
Arcilloso	0.5

FUENTE: Adaptado de FAO (s.f.).

Los métodos para medir la velocidad de infiltración en el suelo son el del infiltrómetro de doble anillo, el de surco infiltrómetro y la del surco trunco.

El método de surco infiltrómetro, consiste en la medición de los caudales de entrada y de salida del agua que escurre a través de un surco. La diferencia entre estos caudales corresponde al volumen del agua infiltrada en una unidad de tiempo. En este caso, solo una parte del suelo se encuentra en contacto con el agua; la infiltración total del suelo regado dependerá de la infiltración vertical como de la infiltración lateral entre surcos consecutivos. Este método proporciona valores promedio de la infiltración y solo se adapta a suelos regados por el método por surcos. El método del surco trunco, consiste en utilizar una sección del surco el cual se interrumpe en un tramo determinado. Se le agrega un volumen de agua conocido y se va midiendo la lámina de agua infiltrada hasta que esta desaparezca de la superficie del suelo, así mismo se va contabilizando el tiempo que demora este proceso. En general todos los métodos usados para medir la infiltración de agua en el suelo en condiciones de campo proporcionan una gran variabilidad de resultados para un mismo lugar. Por esa razón, su aplicación merece mucho criterio en la interpretación (PRONAMACHCS s.f.).

### **2.7.3. Eficiencia del riego**

La eficiencia de riego implica un manejo adecuado del agua en el predio agrícola, involucra el grado de habilidad que tiene el regador para manejar el agua y de las características hidrodinámicas del suelo. La eficiencia de los sistemas de riego superficiales, generalmente operan por debajo de su límite inferior, no se proporciona en forma homogénea las condiciones de humedad edáfica que requiere el cultivo, produciéndose pérdidas

considerables de agua por percolación profunda y por escurrimiento superficial (FAO, 1990; PRONAMACHCS s.f.).

#### a. Eficiencia de conducción (Efc)

Según FAO (1990), la Efc desde la fuente de agua hasta la parcela, depende básicamente del caudal entregado en cabecera, pendiente del canal o acequia, rugosidad, tipo de sección y de la permeabilidad del suelo o material de que está construido dicho canal. En general, la Efc se puede definir en base a la siguiente relación:

$$Efc = \frac{\text{Volumen de agua entregado en la cabecera de la acequia}}{\text{Volumen de agua captado en la fuente de abastecimiento}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

También se puede expresar:

$$Efc = \frac{\text{Caudal entregado en la conducción} - \text{Caudal perdido en la conducción}}{\text{Caudal entregado en la conducción}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

El caudal perdido en la conducción se puede estimar en base a las pérdidas por filtración en los canales, por medio de la siguiente ecuación:

$$P = A / Q^m \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

P: Porcentaje de pérdida de agua/km de canal (%)

Q: Caudal conducido por el canal, m<sup>3</sup>/s

A y m: constantes empíricas que dependen de la permeabilidad del suelo o material del canal.

En el Cuadro 15, se señala el porcentaje de permeabilidad según las constantes A y m.

**Cuadro 15: Porcentaje de permeabilidad según las constantes A y m**

Constante	Permeabilidad baja	Permeabilidad media	Permeabilidad alta
A	0.7	1.9	3.4
m	0.3	0.4	0.5

FUENTE: Adaptado de FAO (1990).

#### b. Eficiencia de aplicación (Efa)

La eficiencia de aplicación se define por la relación entre el volumen del agua retenida en la zona de raíces y que será utilizada para la evapotranspiración del cultivo (V<sub>1</sub>), más el volumen de agua necesario para mantener un balance conveniente de sales en el perfil (V<sub>2</sub>),

y el volumen total de agua aplicado en el riego ( $V_o$ ). Se utiliza  $V_2$ , cuando se tiene agua o suelos con altos contenidos de sales, en caso contrario  $V_2 = 0$ .

Según Vásquez *et al.* (2017), la relación utilizada para la determinación de la eficiencia de aplicación ( $Ea$ ) es la siguiente:

$$Ea = \frac{V_1 + V_2}{V_o} \times 100 \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

$Ea$ : Eficiencia de aplicación (%)

$V_1$ : Volumen de agua retenida en la zona de raíces

$V_2$ : Volumen de agua aplicada para mantener un balance de sales apropiado en la zona de raíces

$V_o$ : Volumen total de agua aplicado en el riego.

El Cuadro 16, muestra los rangos de eficiencia de aplicación de los sistemas de riego convencionales y grado de manejo.

**Cuadro 16: Eficiencia de aplicación según método de riego y grado de manejo**

Método de riego	Manejo bueno (%)	Manejo pobre (%)
Surcos	<b>50 - 75</b>	<b>30 - 50</b>
Melgas	50 - 85	30 - 50
Aspersión	60 - 85	40 - 60
Goteo	<b>60 - 85</b>	<b>50 - 60</b>

FUENTE: Tomado de FAO (1990).

## 2.8. SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Según Hurtado (s.f.), indica que el sistema de riego por goteo, es una técnica de riego en la que se pone el agua a disposición de las raíces de las plantas en pequeños caudales a baja presión, distribuyendo el agua a cada una, mediante puntos de emisión a través de una extensa red de tuberías. Dentro de las ventajas del uso de este tipo de riego, está el ahorro de mano de obra; no interfiere con otras labores de cultivo, ya que no se moja toda la superficie del terreno; mantiene una humedad constante en el suelo; permite la utilización de aguas de

mala calidad; aumento de la precocidad, productividad y calidad de los productos cosechados; ahorros importantes de agua por la reducción del área evaporada; reducción del problema de malas hierbas; obtención de riegos uniformes en terrenos accidentados y eliminación de la escorrentía al utilizar caudales bajos. Con respecto a los inconvenientes, está la obturación de emisores por partículas inorgánicas (arena, limo, arcillas), partículas orgánicas (algas, bacterias, etc.), químicas (carbonato de calcio y/o magnesio) o biológicas (bacterias ferruginosas). En caso de lluvias se debe tener en funcionamiento el riego localizado para lixiviar las sales acumuladas y que no alcancen la zona radicular.

### **2.8.1. Criterios del diseño del sistema de riego localizado de alta frecuencia (RLAF)**

El diseño de una instalación de riego localizado es un proceso sumamente importante ya que de él depende el buen funcionamiento posterior del sistema. Se debe fijar previamente las exigencias requeridas en la instalación como caudal, presión, uniformidad esperada, etc. Paralelamente, conocer las limitaciones a las que se debe someter al proyecto, tal como características de suelo, tipo y necesidades de agua del cultivo y cantidad y calidad del agua a aportar. Una vez que se ha determinado este tipo de información se proyecta todo el sistema de riego, tratando que la relación entre los costos de la instalación y los beneficios obtenidos, sean los más rentables. A este proceso se le denomina diseño de la instalación.

El proceso de diseño se divide normalmente en dos fases, diseño agronómico del riego, con el que se determina la cantidad de agua que ha de transportar la instalación, correspondiente a las necesidades brutas de riego en las épocas de máxima necesidad; y diseño hidráulico de la instalación, cuyo fin es determinar las dimensiones, ubicación y funcionamiento óptimo de las conducciones, componentes y resto de elementos, para satisfacer las exigencias establecidas previamente en el diseño agronómico (Fernández *et al.* 2010).

#### **a. Diseño agronómico**

Según Pizarro (1986), el diseño agronómico se desarrolla en dos fases:

i) Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos. Determinadas por la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) que engloba a la transpiración y la evaporación. La ET<sub>c</sub> se expresa en milímetros de altura de agua evapotranspirada en cada día (mm/día) y se calcula multiplicando la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) por el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>). Los datos de ET<sub>o</sub> se obtienen con frecuencia usando un tanque evaporímetro clase A, en el que se pueden medir los descensos de nivel de la superficie del agua (Fernández *et al.* 2010).

Según Pizarro (1986), las necesidades netas de agua también pueden ser determinada según la lámina neta o a capacidad de retención del suelo en base a parámetros hídricos ( $L_n$ ), expresada en la siguiente ecuación:

$$L_n = (CC - PM) / 100 \times (d_a/d_s) \times Pr \times (1 - P_p) \times H_d \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

CC: Capacidad de campo

PM: Punto de marchitez

$d_a$ : Densidad aparente ( $\text{gr/cm}^3$ )

$d_s$ : Densidad del agua ( $1 \text{ gr/cm}^3$ )

Pr: Profundidad de raíces (mm)

$P_p$ : Porcentaje de piedras (%)

$H_d$ : Humedad disponible (%)

Así mismo, si se considera el porcentaje de área mojada ( $P_{a.m}$ ), la capacidad de retención del suelo presenta la siguiente ecuación:

$$L_{n.a.m} = L_n \times P_{a.m} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Para facilitar los cálculos, se considera la lámina neta recalculada en base a un día  $L_{n(rec)}$ , la cual se representa, por medio de la formula:

$$L_{n(rec)} = 1 \text{ día} \times ET_c \quad (\text{Ecuación 13})$$

Por otro lado, las necesidades netas de agua se incrementan como consecuencia de las pérdidas que puedan producirse por filtración profunda o percolación, necesiándose calcular las necesidades brutas ( $L_b$ ), en base a la eficiencia de riego ( $E_f$ ), la cual se haya en base al coeficiente de uniformidad (CU) y percolación profunda o requerimiento de lavado (K):

$$E_f = CU \times (1 - K) \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$L_b = L_n / E_f \quad (\text{Ecuación 15})$$

ii) Determinación de la dosis, frecuencia y tiempo de riego; número de emisores por planta y caudal del emisor.

La dosis o volumen de agua aplicado por planta (Vol.), se plantea mediante la ecuación:



$$\text{Vol.} = (\text{Área /planta}) \times \text{Lb} \quad (\text{Ecuación 16})$$

La frecuencia de riego (Fr) se deduce en base a las necesidades netas (Ln) y a la evapotranspiración del cultivo (ETc):

$$\text{Fr} = \text{Ln} / \text{ETc} \quad (\text{Ecuación 17})$$

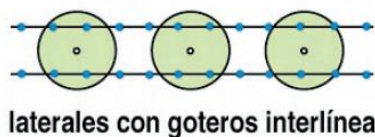
El tiempo de riego por planta, se calcula del volumen aplicado y el caudal (q) que recibe cada planta, como se aprecia en la ecuación:

$$t = (\text{Vol.} / q) \quad (\text{Ecuación 18})$$

La capacidad preliminar del sistema (Q), es decir el caudal que requeriría todo el sistema de riego, se valora del producto del área total del sistema de riego (At), las necesidades totales y las horas de trabajo de la bomba al día (h/D) multiplicado por el factor 2.78:

$$Q = \frac{2.78 \times \text{At} \times \text{Lb}}{\text{Fr} \times \text{h/D}} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Con respecto al número de emisores y la disposición de los mismos, Fernández *et al.* (2010), señala, procurar mojar bien toda la superficie de terreno bajo la copa del árbol situando los emisores debajo de ella, lo que evita en gran medida la evaporación y las pérdidas de agua por filtración profunda. Esto también se logra, instalando un mayor número de emisores, al aumentar el porcentaje de suelo mojado, tal como se aprecia en la Figura 10, en la que se ha dispuesto dos líneas de manguera.



**Figura 10: Disposición de dos líneas de laterales por hilera de planta**

FUENTE: Adaptado de Fernández *et al.* (2010).

## b) Diseño hidráulico

El diseño hidráulico comienza con la selección del gotero, lateral de riego, sub unidad de riego, red principal, selección del motor y bomba.

### 2.8.2. Coeficiente de uniformidad (CU)

Hayashi (2006) señala que para lograr una buena uniformidad será necesario, que todos los emisores de la instalación sean de buena calidad, garantizados por el fabricante y que cumplan las normas de calidad; y que la presión del agua en todos los emisores sea lo más parecida posible, para lo que se debe dimensionar la red de tuberías correctamente.

Por tanto, la uniformidad es una magnitud que interviene en el diseño agronómico e hidráulico de todo sistema de riego, para su diseño propiamente dicho o para la evaluación del funcionamiento de instalaciones establecidas. Para el primer caso, la ecuación utilizada es:

$$CU = 1 - \frac{1.27 * CV}{\sqrt{e}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

CV: Coeficiente de variabilidad del gotero seleccionado (dato proporcionado por el fabricante).

e: Número de goteros por planta.

Cuando se desea evaluar el funcionamiento de un sistema de riego establecido, se puede aplicar la siguiente expresión propuesta por Christiansen:

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a} \quad (\text{Ecuación 21})$$

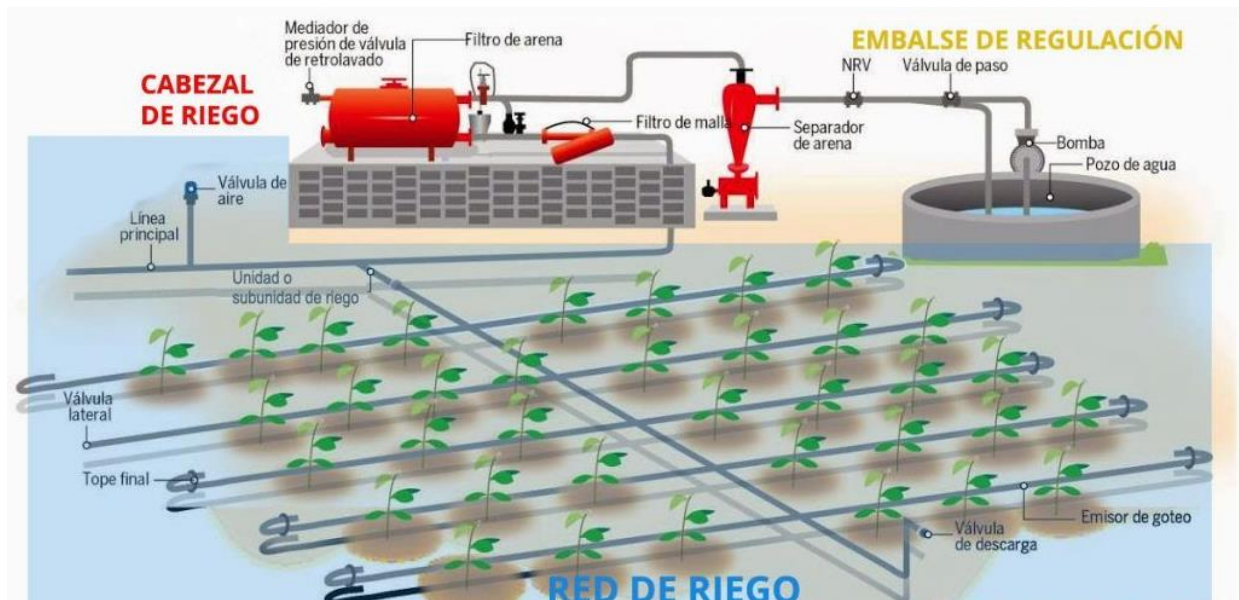
Donde:

$q_a$ : es el caudal promedio de todos los emisores de la instalación.

$q_{25}$ : es el caudal medio de los emisores que constituye el 25 por ciento de más bajo caudal.

### 2.8.3. Componentes del sistema

Peña (2010), afirma que un sistema de riego está constituido por: el cabezal de riego, red de distribución, aparatos de control, automatización y emisores de riego por goteo, tal como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11: Componentes de un sistema de riego**

FUENTE: Extraído de Prakor (2018).

#### a. Sistema de bombeo

- La carga dinámica total (CDT) representa las pérdidas de presión, originadas por la fricción del fluido en las tuberías, válvulas, accesorios y otros componentes, más las diferencias topográficas.

$$\text{Carga dinámica total (CDT total)} = H (\text{estática}) + H (\text{dinámica}) \quad (\text{Ecuación 22})$$

- El cálculo de las pérdidas de carga en tuberías, se determina mediante la ecuación de Darcy-Weisbach o la Hazen – Williams (Campos *et al.*, s.f.)

$$hf_{[m]} = 10,67 \cdot \left( \frac{Q_{[m^3/s]}}{C} \right)^{1,852} \frac{L_{[m]}}{D_{[m]}^{4,87}} \quad (\text{Ecuación Hazen – Williams})$$

Donde:

Hf: pérdida de carga por fricción (m)

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

C: coeficiente de fricción de Hazen – Williams (depende del material)

L: longitud de la tubería (m)

D: diámetro interno (m)

- Para el cálculo de la potencia de la bomba (Kw), se debe tener en cuenta la eficiencia de la bomba (Efb), la eficiencia de motor (Efm) y caudal de la bomba (Qb) según la ecuación señalada por Pizarro (1996):

$$Kw = \frac{Qb \times CDT}{102 \times Ef b \times Ef m} \quad (\text{Ecuación 23})$$

### b. Sistema de filtrado

Existen variedad de filtros que se seleccionan de acuerdo al elemento a filtrar (Moya 2002).

- Filtro de anillas o discos:

Este sistema cuenta con un conjunto de anillas ranuradas que se comprimen unas contra las otras formando un cilindro filtrante, de manera que el agua pasa por las pequeñas ranuras entre las anillas, quedando atrapados en el filtro las partículas de mayor. Son apropiados para la limpieza de aguas de mediana a mala calidad. La calidad del filtrado está determinada por el diámetro de paso, radio de las anillas, el número de ranuras y su color. Cada tipo de anilla tiene un color asociado al grado de filtración como se aprecia en la Figura 12 (Fernández 2010).

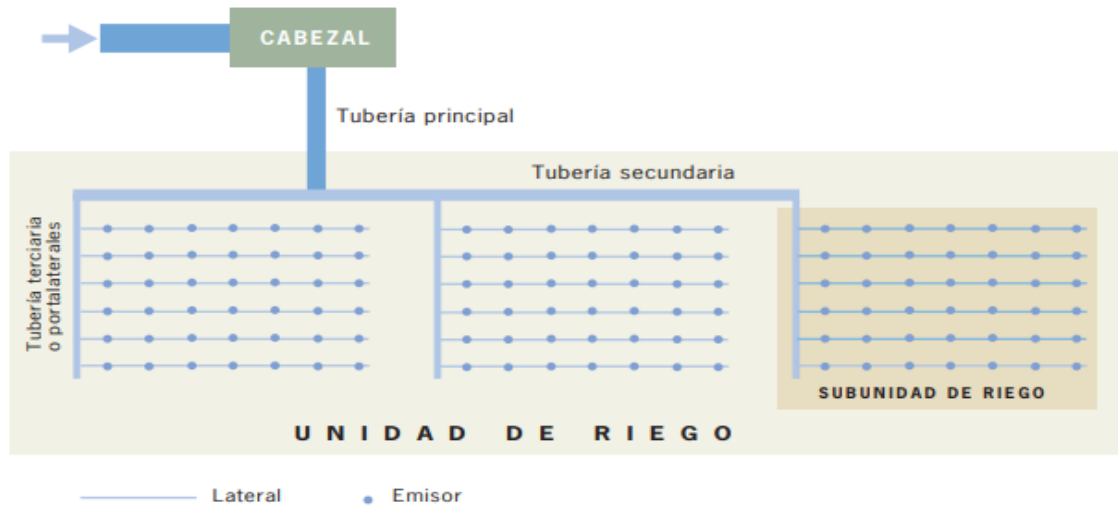


**Figura 12: Filtro de malla y anillas de distintos tipos y tamaños con sus elementos filtrantes**

FUENTE: Tomado de Fernández (2010).

### c. Red de conducción y distribución

Las tuberías que se utilizan en riego localizado son normalmente de plástico, siendo los materiales más frecuentes el PVC (policloruro de vinilo) y el PE (polietileno). Las tuberías laterales, las terciarias y normalmente las secundarias se instalan en polietileno, mientras que la tubería principal puede ser de polietileno o de PVC dependiendo de su diámetro (Fernández 2010). Se presenta una red de distribución en la Figura 13.



**Figura 13: Diagrama de una red de distribución**

FUENTE: Fernández (2010).

### d. Elementos de medida, de control y protección

- Medidores de caudal o caudalímetros.
- Medidores de presión o manómetros.
- Válvulas de aire.
- Válvulas de corte o aislamiento
- Válvula anti retorno o de retención.
- Válvula para el control de sobre presiones.

### e. Emisores

Son los elementos de la red que producen y controlan la salida de agua desde los laterales. Los emisores estén situados a cierta distancia unos de otros, por lo que la salida del agua se produce a lo largo del lateral de riego formando los bulbos de humedecimiento (Fernández 2010).

Ecuación característica del emisor, dato imprescindible para el diseño de la instalación y se expresa por la siguiente ecuación:

$$q = k H^x \quad (\text{Ecuación 24})$$

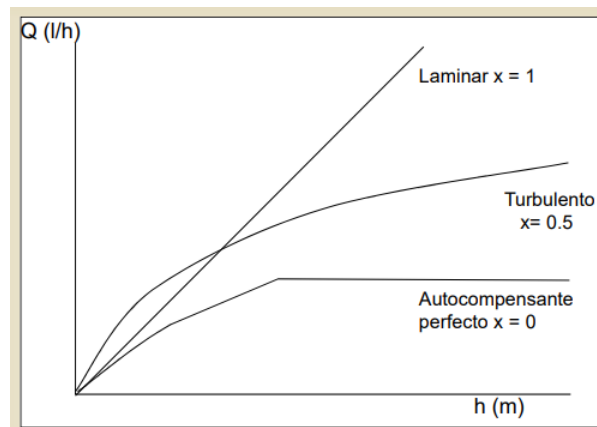
Donde:

q: Caudal del emisor (l/h)

k: Coeficiente de descarga (adimensional)

H: Presión a la entrada del emisor (mca).

x: Exponente de descarga (adimensional), indica la sensibilidad de los emisores a la variación de presión, de forma que cuanto más se aproxime a la unidad, el régimen hidráulico más se acerca al laminar ( $x = 1$ ). Para  $x = 0.5$ , el régimen es turbulento. Para  $x = 0$  emisor autocompensante perfecto en la teoría, en la práctica se considera autocompensante el emisor de  $x < 0.2$ , como se puede observar en la Figura 14.



**Figura 14: Curvas de gasto real de un gotero de régimen laminar, turbulento y autocompensante**

FUENTE: Tomado de Hayashi (2006).

- Coeficiente de variación de fabricación (CV), es un dato que indica la variabilidad que se produce en el proceso de fabricación de los emisores. Se define mediante la siguiente expresión:

$$CV = S/qm \quad (\text{Ecuación 25})$$

Donde:

S: Desviación típica respecto a la media de los caudales ensayados.

qm: Caudal medio

- Diámetro mínimo, es la dimensión del paso más estrecho que encuentra el agua en su recorrido dentro del emisor. Cuanto menor sea el diámetro, mayor será la sensibilidad a las obturaciones. Es así que se ha clasificado la sensibilidad de la obturación según el diámetro mínimo del emisor (mm), siendo < 0.7 Alta, 0.7-1.5 Media, > 1.5 Baja.

#### **2.8.4. Operación y mantenimiento del sistema**

Se centra en la identificación de los factores que pueden conducir a la reducción del rendimiento del sistema de goteo, y los procedimientos para mitigar estos impactos negativos. La durabilidad de todo sistema de riego, dependerá de factores tales como la calidad del agua, el buen funcionamiento, el mantenimiento habitual y la calidad de la línea de goteo (Netafim 2014).

Ferrada (2002) y Netafim (2014) presentan una compilación de las acciones por realizar periódicamente para la puesta en marcha y el mantenimiento del sistema de riego por goteo:

a. Monitoreo de la presión del sistema y pruebas de caudal, se debe evaluar la uniformidad del sistema de goteo. Esto se logra a través de:

- Medir la presión en el sistema en varios puntos y compararla con la presión de diseño.
- Leer el medidor de agua o calcular el caudal del sistema y comparar el resultado con el caudal de diseño.

b. Evaluación de la presión del sistema. Medir la presión en varios puntos del sistema de goteo es la forma más sencilla de evaluar el rendimiento.

c. Caudal del sistema, se debe tener un contador de agua o caudalímetro en el sistema de riego.

d. Mantenimiento del filtro, los filtros son la primera protección para el sistema de goteo y necesitan mantenimiento regular para operar a un nivel alto. La suciedad puede acumularse en los filtros de disco y estos necesitar ser limpiados con ácido.

e. Lavado de la línea de goteo, para minimizar la acumulación de sedimentos, se recomienda el lavado regular de las tuberías de riego por goteo. El lavado de las líneas laterales de goteo

debe continuar hasta que fluya agua limpia de la línea lavada durante al menos dos minutos. Un programa regular de mantenimiento y lavado ayuda a prevenir la obstrucción del gotero.

#### f. Tratamiento químico

El tratamiento químico se requiere a menudo para prevenir la obstrucción del gotero debido al crecimiento microbiano y/o la precipitación mineral. La cloración es una medida eficaz contra la actividad microbiana. La inyección ácida puede eliminar depósitos de incrustaciones, reducir o eliminar la precipitación de minerales y crear un ambiente no apto para el crecimiento microbiano.

Las obstrucciones químicas ocasionadas por la precipitación de carbonatos y bicarbonatos cálcicos, se produce generalmente cuando las aguas de riego presentan un pH básico y en su composición hay niveles importantes de carbonatos y bicarbonatos, que llegan a ocasionar el taponamiento de los emisores, independientemente de que se disponga de un buen sistema de filtrado. Para prevenir este problema, se aconseja bajar el pH del agua de riego entre 5.5 – 6.5 (acidificación del agua), a través de la adición de ácido (Gonzales y Campos 2012).

Los ácidos que suelen utilizarse para prevenir la formación de los precipitados cálcicos son el sulfúrico, fosfórico, clorhídrico y nítrico, siendo este último el más empleado. La cantidad de ácido a inyectar en un agua de riego va a depender principalmente de las características del ácido empleado, así como de las características químicas del agua de riego. La cantidad de ácido se puede determinar mediante el método del Índice de saturación de Langelier (Is).

Con respecto a la cantidad de ácido que se desea inyectar en el sistema, Netafim (2014), recomienda calcular la cantidad requerida de ácido con el fin de obtener 0.6% de concentración en el agua de riego, este se debe inyectar en el sistema quince minutos sólo después de que el sistema haya alcanzado la máxima presión de operación. Siendo los ácidos adecuados para ser inyectados en concentraciones de 0.6% son: Ácido nítrico 60% Ácido fosfórico 75% - 85% Ácido sulfúrico 90% - 96% Ácido clorhídrico 30% - 35%.

#### g. Tratamiento de las algas en el reservorio

Los controles físicos como el uso de rastrillos, tamiz de alambre u otro aparato similar, para jalar y remover las algas de la fuente de agua almacenada, es otra opción para el control de las algas filamentosas o macroalgas, sin embargo, no es una forma viable para controlar las algas planctónicas debido a su tamaño microscópico. El control físico, es un método



laborioso y con duración breve debido a la rápida recolonización de las algas (Sink *et al.* 2016).

El control biológico funciona efectivamente por medio de la incorporación de alevines a la fuente de agua. Las tilapias grises (*Oreochromis niloticus*) son peces provistos de branquiespinas con los cuales pueden filtrar el agua para obtener su alimentación a base de algas, macroalgas como las *Nitella* y de otros organismos acuáticos microscópicos; es una especie muy prolífera a temprana edad. Otra especie utilizada en el control biológico, es la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) que puede consumir algas filamentosas y otros tipos de vegetación sumergida (Saavedra 2006; Sink *et al.* 2016).

Con respecto al control químico, el problema de las algas puede tratarse eficazmente con sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) a una dosis de una a dos ppm. El sulfato de cobre debe aplicarse cuando la temperatura del agua del reservorio esté por encima de 16 °C. Los tratamientos pueden repetirse a intervalos de dos a cuatro semanas, dependiendo de la carga de nutrientes en el reservorio. El sulfato de cobre puede ser dañino para los peces y su uso repetido puede resultar en acumulación de niveles tóxicos para las plantas. El sulfato de cobre y los complejos de cobre quelado son herbicidas de contacto, solo matan las células de las algas que el cobre toca directamente. Por eso, deben ser rociadas o dispersados por el área completa donde estén creciendo las algas para proveen un control adecuado. No es efectivo en aguas duras o con alcalinidad alta porque precipita con calcio y hace que el cobre sea inefectivo como alguicida; temperaturas extremas también afectan su rendimiento (Netafim 2014; Sink *et al.* 2016).

Ferrada (2002), recomienda para el control de algas, la aplicación de cloro en forma: gaseosa, líquida o sólida; como componente del hipoclorito sódico o hipoclorito cálcico. El producto más difundido y económico es la solución de hipoclorito sódico, la más común corresponde a la concentración de 100 gramos de cloro activo por litro. La solución de hipoclorito sódico tiene una acción oxidante muy activa, corrosiva y presenta una toxicidad alta. Sin embargo, tomando mínimas precauciones durante su empleo es de fácil manejo y aplicación. También se utiliza el hipoclorito cálcico en tabletas y granulado con una concentración del 65 % en cloro activo, principalmente en piscinas, contra las algas y para mantener el agua cristalina. Las dosificaciones recomendadas de hipoclorito sódico son relativas, dependiendo de las características del agua de riego. Las dosis recomendadas son:

Hipoclorito sódico..... 15-20 cc/m<sup>3</sup> de agua estancada

Hipoclorito cálcico..... 2-3 g/m<sup>3</sup> de agua

Para impedir la formación de algas es conveniente mantener constante una concentración de cloro residual entre 0.6 y 1 ppm.

A continuación, se presenta un resumen (Cuadro 17) de los problemas que podrían presentarse en el sistema de riego y su diagnóstico para ser solucionado.

### **Cuadro 17: Problemas diagnosticados a través del caudal y la presión del sistema de riego**

<b>SÍNTOMA</b>	<b>POSIBLE PROBLEMA</b>
Disminución gradual del caudal	Obstrucción de gotero Posible desgaste de la bomba (verifique la presión)
Disminución repentina del caudal	Válvula de control atascada Falla en el suministro de agua
Aumento gradual en el caudal	Daño progresivo en la línea de goteo por plagas
Aumento repentino del caudal	Lateral, portarramal o línea principal rotos Fallo del regulador de presión
Gran caída de presión a través de los filtros	Acumulación de residuos en filtros Limpieza inadecuada de los filtros
Disminución gradual de la presión en la entrada del filtro	Desgaste de la bomba o problemas de suministro de agua
Disminución repentina de presión en la salida del filtro	Lateral, portarramal o línea principal rotos Falla del regulador de presión o en el suministro de agua
Aumento gradual de presión en la salida del filtro	Obstrucción de gotero
Aumento repentino de la presión en la salida del filtro	Válvula de control atascada Otras restricciones de flujo
Disminución repentina de presión en el portarramal	Lateral dañado o roto

FUENTE: Extraído de Netafim (2014).

## **2.9. CAMBIO DE SISTEMA DE RIEGO DE GRAVEDAD A GOTEO**

En una investigación realizada en Irán, para evaluar la adaptación de olivos maduros (de ocho años de edad) a la sustitución del sistema de riego tradicional por superficie a un sistema de riego por goteo automático en un ámbito urbano y en un suelo de baja calidad (suelo arena-franco-arcilloso en los 20 cm de profundidad y arena franca entre los 20 a 60 cm con un 67% de grava, y una infiltración promedio del suelo de 60 mm.h<sup>-1</sup>), los resultados no mostraron diferencias significativas en términos de productividad de la fruta entre el riego por gravedad tradicional y el sistema automatizado de riego por goteo recientemente

establecido. Al segundo año del cambio del sistema de riego, se observó un 40% de incremento en el peso de los frutos regados por goteo. Así mismo, el riego por goteo automatizado obtuvo un patrón uniforme de distribución y una mayor densidad de raíces, donde se observó que las raíces se expandieron por todo el perfil del suelo. En cambio, en el riego tradicional por superficie, las raíces se distribuyeron irregularmente, con mayor densidad cerca del anillo de riego (Mohamadzade *et al.* 2021).

Li *et al.* (2021), después de recopilar, seleccionar y realizar un meta-análisis de 130 publicaciones afirman, que la fertirrigación por goteo puede sincronizar el suministro de agua y nitrógeno (N) con la demanda de los cultivos, mejorando la productividad del agua (WP) y la eficiencia en el uso de nitrógeno (NUE). Los resultados mostraron que, en general, la fertirrigación por goteo llevó a rendimientos significativamente más altos (12.0%), WP (26.4%) y NUE (34.3%), mientras que disminuyó significativamente la evapotranspiración del cultivo (ET) en un 11.3%, en comparación con las prácticas de los agricultores de regar tradicionalmente por surco o inundación y fertilización edáfica nitrogenada. Sin embargo, el grado de mejora dependía en gran medida de los tipos de cultivo y estaba sujeto a factores edáficos, climáticos y de gestión. A escala regional, la fertirrigación por goteo mejoró en regiones semiáridas.

La sustitución de los sistemas de riego superficiales a gravedad por los sistemas presurizados genera importantes ventajas e inconvenientes que impactan sobre el ambiente. Entre los impactos negativos están los relacionados con la menor demanda de puestos de trabajo en las labores de distribución del agua para riego, mayor demanda energética-costos y riesgo de desmejoramiento y pérdida del arbolado (público y privado) por la desaparición de la conducción del agua para su abastecimiento (por los canales y acequias de riego tradicional), salinización de suelos, riesgos de aparición de enfermedades por la presencia de reservorios y posible aumento de poblaciones de nemátodos y filoxera en vides regadas por goteo; así mismo, el riego por goteo afecta las características del enraizamiento de los cultivos, debido a la formación del bulbo mojado, el constante humedecimiento del suelo y el menor volumen de suelo mojado, genera un menor desarrollo radicular (número y profundidad). Por otro lado, los beneficios que se generan ante el cambio del sistema de riego, es permitir la entrega del agua según la demanda de los usuarios y no según la oferta del río, lo que implica un aumento de producción, ya sea por incremento de la superficie regada o por la posibilidad de cambio a cultivos más rentables al disminuir el riesgo del abastecimiento de agua; se

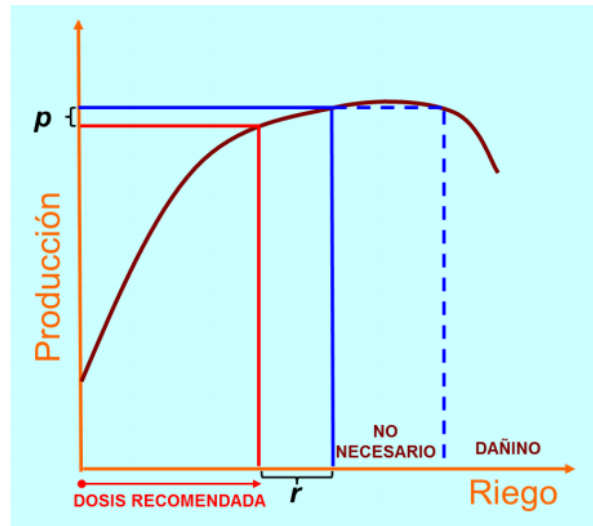
elimina las pérdidas de agua infiltrada, permitiendo el aumento de la eficiencia de conducción y distribución; mayor productividad al dar el agua en el momento y cantidad adecuada según el desarrollo del cultivo; se reduce el peligro de contaminación del recurso, al conducir el agua en tuberías (Salomón *et al.* s.f.).

En una investigación realizada en Chihuahua México, en la que se usó el método comparativo para dos escenarios: el antes, como la condición previa a la tecnificación del riego, caracterizada por una superficie con riego por gravedad, y el después, con riego tecnificado (multicompuestas, aspersión y goteo). Los resultados muestran ahorros marginales de aproximadamente 63,454 dm<sup>3</sup> de agua y una producción de 124,662 t de producto agrícola. Con goteo y aspersión se generó el mayor ahorro de agua, producción e ingresos económicos (Olvera-Salgado *et al.* 2014).

## **2.10. FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DEL AGUA**

La función de producción es la relación que hay entre el rendimiento de un cultivo y la cantidad aplicada de agua. El rendimiento aumenta con el riego, rápidamente al principio y disminuye al aproximarse a la producción máxima. A partir de ese momento no se registra ningún aumento en la producción, aunque se incremente la dosis de riego. Si se continúa aumentando la cantidad de riego, el rendimiento disminuye por problemas de exceso de agua en suelo.

En la Figura 15 se ilustra, que se pueden conseguir rendimientos próximos al máximo potencial con dosis de riego más bajas que las necesarias para reponer el 100% de las necesidades del cultivo. Con este manejo del riego (*r*) se logra una mayor rentabilidad del cultivo, es decir, lo que se deja de percibir monetariamente por el descenso de producción (*p*) está compensado con el ahorro en agua y electricidad. Por otro lado, riegos excesivos arrastran los herbicidas y fertilizantes por debajo del área radicular, provocando un perjuicio económico y un riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Se controla el vigor de la planta, al evitar el crecimiento excesivo del follaje y por ende, ahorro de mano de obra por concepto de poda, así mismo, mejora la calidad de ciertos productos, como el aceite de oliva y el vino (Fernández *et al.* 2015).



**Figura 15: Respuesta de la producción de un cultivo al riego (Función de producción)**

FUENTE: Tomado de Fernández *et al.* (2015).

Por lo general, la función agua aplicada-rendimiento es lineal sólo cuando se considera en un rango de riego deficitario, donde toda el agua aplicada es usada como evapotranspiración y puede existir entonces similitud con la función evapotranspiración (ET) – rendimiento. La respuesta no lineal en algunos cultivos indica que no toda el agua fue usada por los mismos, y una parte de ella se pierde por drenaje libre. En estos casos, las funciones cuadráticas permiten estimar los niveles óptimos de riego para maximizar los rendimientos. Para la papa la función cuadrática  $R = -0,00033 I^2 + 0,2 I$  fue la de mejor ajuste, con valores óptimos de riego y rendimiento de 298.5 mm y 30.3 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esta función cuadrática, para el caso específico de este cultivo en las condiciones de Cuba, refleja que la necesidad de mantener una temperatura adecuada en el suelo obliga a aplicar agua (expresado como mayor frecuencia de riegos) por encima del requerimiento del cultivo, sin que se traduzca en un incremento en los rendimientos (González *et al.* 2015).

Así mismo, González *et al.* (2015) citando a Farré y Faci (2006), afirman que, si los aportes de agua van desde una cantidad moderada hasta aportes excesivos, se explica la correlación por una curva sigmoideal que presenta las tres fases de consumo: moderado, óptimo y excesivo. Musick y Dusek (1971) citados por González *et al.* (2015) obtuvieron una relación sigmoideal entre la producción de grano y el agua aplicada por riego para el maíz en ambientes áridos, donde los consumos de agua son elevados. Según estos autores, a medida que aumenta la aplicación de agua por riego, el suplemento de cosecha que se obtiene por cada

unidad de agua disminuye, hasta llegar a un punto en que todo incremento de la aplicación no se traduce en suplemento alguno de la cosecha, e incluso puede producir una disminución de la producción y no cubrir el gasto adicional en agua.

Kumar *et al.* (2007) presentaron al polinomio de segundo orden como la mejor opción para describir la relación entre el agua aplicada por riego y el rendimiento de la cebolla cultivada en suelo arenoso con condiciones semiáridas en la India en dos años de investigación. Sin embargo, González *et al.* (2015) obtuvieron un efecto lineal positivo en las ecuaciones obtenidas y un efecto cuadrático negativo en este mismo cultivo. Estos resultados indican que el incremento en el rendimiento de la cebolla no fue proporcional al incremento de la cantidad de agua.

### **2.10.1. Productividad del agua (WP), productividad agronómica del agua o uso eficiente del agua**

Kijne *et al.* (2003), citados por Ortiz y Larios (2020), definieron la productividad del agua como una medida que determina la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir agua en alimento, es decir, cuánto producto se generó respecto al volumen de agua asignado. Este diagnóstico permite considerar y tomar decisiones respecto a la eficiencia del uso del agua en los sistemas y en cada región o área de siembra, considerando la relación de los factores climáticos, geográficos, hidrológicos y económicos.

Se puede calcular la productividad del agua como la relación entre el rendimiento de cosecha y el agua total aplicada al sistema, según la siguiente ecuación, (González *et al.* 2011):

$$\mathbf{WP = R/I} \qquad \text{(Ecuación 26)}$$

Donde:

WP: Productividad del agua aplicada por riego (kg/m<sup>3</sup>)

R: Rendimiento (kg/ha)

I: Lámina de agua aplicada (m<sup>3</sup>/ha)

El conocimiento de las funciones agua aplicada por riego-rendimiento y el uso de la productividad del agua, resultan parámetros factibles de introducir como indicadores de eficiencia en el planeamiento del uso del agua en la agricultura, con lo cual es posible reducir

los volúmenes de agua a aplicar y elevar la relación beneficio-costo actual (González *et al.* 2015).

En una investigación realizada por Ortiz y Larios (2020), utilizando tres láminas de riego: 489 mm, 298 mm y 464 mm. con el objetivo de determinar la lámina que permita un adecuado rendimiento y uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) usando riego por aspersión. Las variables evaluadas fueron rendimiento en kg ha<sup>-1</sup> y análisis de productividad del agua en kg m<sup>3</sup>. No se registraron diferencias estadísticas en el rendimiento y se obtuvo mayor productividad de agua con la lámina de 298 mm, por lo que recomiendan el uso de ésta debido a que permite el ahorro de energía, optimiza el uso del sistema de riego y una mayor productividad en el proceso de transformación de agua en relación con rendimiento de semilla.

González *et al.* (2015), en su investigación de las funciones agua-rendimiento y productividad del agua en varios cultivos de importancia agrícola en Cuba, consideraron dos posibles estrategias a seguir en función de la disponibilidad de agua. Una de las estrategias, fue la de maximizar la producción por unidad de superficie, cuando el agua no está limitada y los costos del riego son bajos, en este caso, se justifica desde el punto de vista económico buscar el óptimo agronómico, la segunda estrategia fue la de maximizar la producción por unidad de agua aplicada por riego, en un escenario de déficit hídrico o cuando los costos del riego aumentan, la práctica a seguir es lograr la máxima eficiencia del riego.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Ubicación área experimental

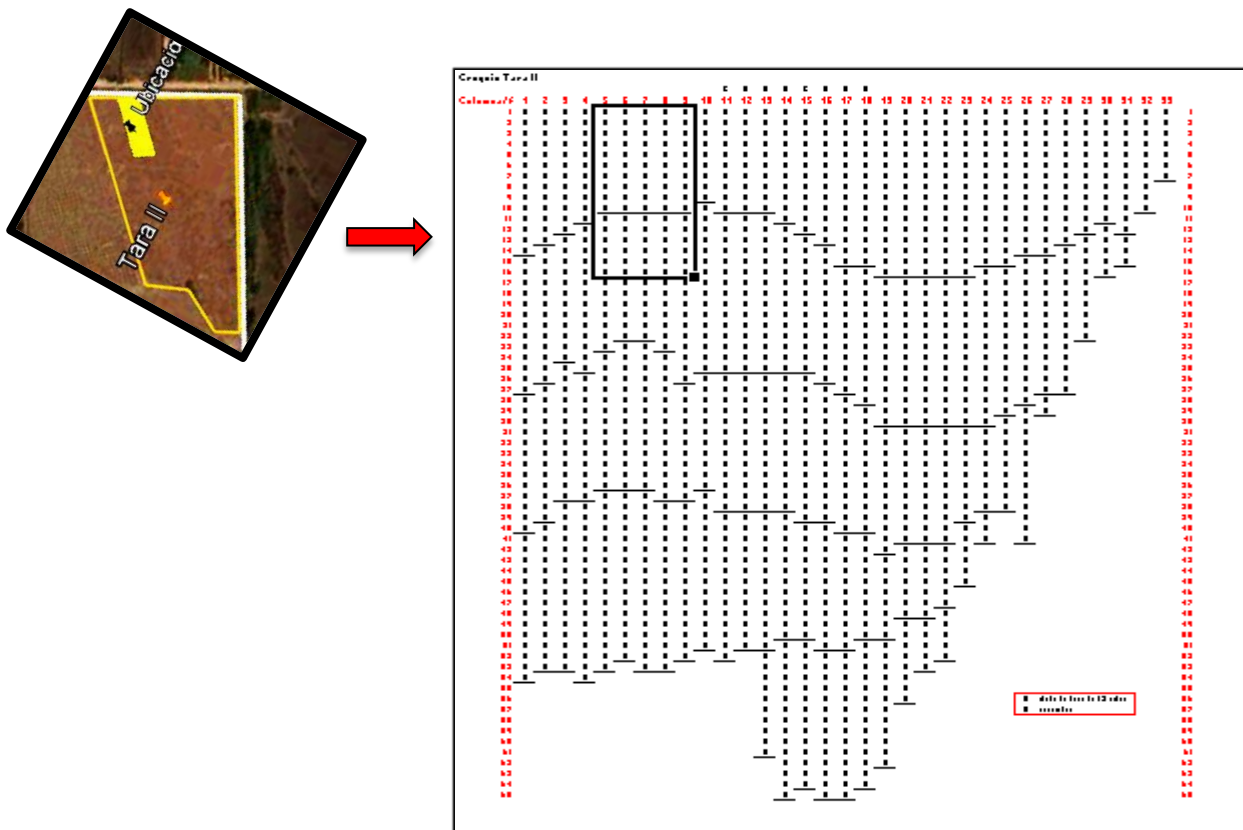
El experimento se realizó en el fundo de la familia Belloni, en el sector La Arena, distrito de Pachacamac, provincia de Lima. En las Figura 16 y 17, se detalla la localización del área de estudio en el fundo y la del área experimental dentro de la plantación de tara.

- Longitud y Latitud: 12° 13.673' S 76° 51.074' O
- Altitud: 110 m
- Nombre del Predio: H-127A sub lote C.
- Fuente de Agua: Superficial. Rio Lurín - Puquio Pan de Azúcar. Canal San Fernando.



**Figura 16: Localización del área experimental en el fundo Belloni**





**Figura 17: Ubicación del área experimental en la plantación de tara**

### 3.1.2. Cultivos

Los cultivos sembrados en el fundo son *Pirus communis* var. Italiana “pera”, *Caesalpinia spinosa* “tara”, *Malus communis* var. Israel “manzana” y plantas de eucalipto. Los lotes de manzana y eucalipto se renovarían con tara para el 2023.

El hectareaje total de pera en producción es de 3.54 has y de tara 10.2 has, de los cuales se estima que las 2.28 has del lote de tara IV, entren en producción el 2021.

A continuación, se presenta en el Cuadro 18 y en la Figura 18, el detalle de los lotes, su fecha de trasplante, hectareaje, número de plantas en producción y su marco de plantación, así como su distribución en el fundo.

**Cuadro 18: Datos básicos de los cultivos por lote en el fundo Belloni**

Lote	Año Trasplante	Área (ha)	N° Plantas/ha	N° Plantas en producción	Marco de plantación (m)
Pera I	1,995	1.87	1,111	1,856	3 x 3
Pera II	2,007	0.60	1,333	733	3 x 2.5
Pera III	2,018	1.07	1,111	1,133	3 x 3
Tara I	1,995	5.46	1,111	5,320	3 x 3
Tara Q	2,005	0.15	1,111	167	3 x 3
Tara II	2,014	1.71	952	1,325	3 x 3.5
Tara III	2,015	0.60	952	642	3 x 3.5
Tara IV	2,018	2.28	1,042	2,271	3 x 3.2
Manzana	2,007	0.75	1,111	611	3 x 3
Eucalipto	antes 1995	2.20			
Caminos, cerco, área construida		1.30			
<b>Total</b>		<b>17.99</b>			



**Figura 18: Localización de los cultivos por lote en el fundo Belloni**

### 3.2. VARIABLES CLIMÁTICAS Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET<sub>o</sub>)

El clima de Pachacamac corresponde a la Costa o Chala descrita por Pulgar Vidal. En invierno, se caracteriza por presentar nubes estratos y ocasionalmente llovizna hasta media mañana, en esta temporada los cerros de Quebrada Verde en la margen derecha, y Punta Blanca, Manzano y Pucará en la margen izquierda, reverdecen por el conocido fenómeno de Lomas.

Los datos climáticos del fundo fueron obtenidos con los registros periódicos realizados con la estación meteorológica portátil Kestrel.

Se tomaron los datos climáticos de temperatura, humedad relativa y velocidad de viento diariamente a las 7:30, 12:00 y 17:30.

La determinación de la ET<sub>o</sub>, se obtuvo de la instalación en campo de un Tanque tipo A, en el cual se midió el agua evaporada en forma diaria, dicha lectura se realizaba a las 7:30.

El tanque tipo A ubicado dentro del área de estudio, tenía las dimensiones propuestas por la FAO en el Manual 56. Se optó por reponer diariamente la cantidad de agua evaporada utilizando una probeta graduada. En la Figura 19 se muestra la ubicación e instalación en campo del Tanque tipo A, así como la reposición de agua y su mantenimiento con sulfato de cobre (coloración azul del agua).

Aplicando la fórmula del área para el tanque (ka):

$$k_a = A = \Pi r^2 = \Pi (120/2)^2 = 1.13 \text{ m}^2 \quad (\text{Ecuación 27})$$

Se determinó que habría que asignar un factor de corrección de 1.13 para llevar dicha área a 1 m<sup>2</sup> y poder aplicar la correlación de 1 lt de agua evaporada en el Tanque A igual a 1 mm de lámina de agua por reponer al cultivo.

El valor obtenido fue multiplicado por 0.8 coeficiente del tanque (kp), estimado según las características de velocidad media del viento y humedad relativa de la zona (FAO, 2006).

Es así, que la ET<sub>o</sub> en el tanque A, se determinó por medio de la siguiente fórmula:

$$ET_o = (\text{líteros evaporados/día}) / k_a \times k_p \quad (\text{Ecuación 28})$$

Con este método, se obtuvo un porcentaje de error aproximado del  $\pm 0.1\%$ .



**Figura 19: Instalación del tanque tipo A en el área experimental**

### **3.3. RECURSO HÍDRICOS**

El río Lurín tiene sus nacientes en las alturas de Matucana-Huaroquirí, formándose por la unión de los ríos Taquia, Sunicancha, Lahuaytambo de un lado y río Langa por otro. En épocas de avenidas recibe también el aporte de las quebradas Tupicocha por la margen derecha y Tinajas por la margen izquierda (Palacios, 1992).

Las fuentes de agua utilizada en los cultivos de la zona de estudio, provienen del río Lurín (época de avenida de diciembre a mayo) y del puquio Pan de Azúcar (época de estiaje de junio a diciembre).

En la Figura 20, se aprecia la ubicación del área experimental y de las fuentes de agua.

Ambas fuentes de agua, son administradas por la Comisión de Usuarios Canal San Fernando - Sector Hidráulico Lurín.



**Figura 20: Ubicación del fundo Belloni, rio Lurín y puquio Pan de Azúcar**

FUENTE: Google Earth (2021).

En lo referente a la calidad química del agua, se tomó una muestra del agua de riego del reservorio y se analizó en el Laboratorio de Riego de la UNALM, el resultado obtenido se presenta en el Cuadro 19. La conductividad eléctrica (C.E.) fue de 1.07 dS/m, no presentándose problema de sales y el pH de 9.92 considerado una alcalinidad moderada a alta.

**Cuadro 19: Análisis químico del agua de puquio**

Fuente de agua	C.E. (dS/m)	pH
Agua puquio Pan de Azúcar	1.07	9.92

### 3.4. TOPOGRAFÍA

El reservorio está ubicado en el punto más alto del fundo a 110 m.s.n.m.

La cota más baja, está localizada al extremo opuesto del terreno a una distancia de 743.9 m a 82.9 m de altura (pendiente de 3%).

Del reservorio al área experimental, se presenta pendiente a favor de 1.8%, tal como se muestra en la Figura 21.



**Figura 21: Imagen de pendientes del fundo Belloni**

### 3.5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

En el diagnóstico preliminar, se tomaron muestras de suelo y se efectuaron los análisis de textura y porcentaje de piedras en el Laboratorio de Riegos de la UNALM, obteniéndose un pH de 7.3 lo que corresponde a un suelo ligeramente alcalino, CE de 2.54 dS/m suelo medianamente salino, de textura arena franca y con un 65.65% de piedras en los primeros 20 cm. En el Cuadro 20, se puede observar los datos obtenidos.

**Cuadro 20: Diagnóstico preliminar del suelo**

Análisis Suelo	pH	C.E. dS/m	Partículas % < 2 mm.			Partículas % >2mm. Gravas %	% TOTAL MUESTRA				
			Ao	Lo	Arc		Ao	Lo	Arc	Gravas	Textura
0 – 20 Prof. raíz	7.3	2.54	77.88	19.4	2.72	65.65	26.75	6.66	0.93	65.65	Arena Franca

### 3.6. MATERIALES, EQUIPO E INSUMOS

En los Cuadros 21 al 29, se enumeran los materiales, equipos e insumos utilizados para la realización de la presente investigación, según labor realizada

**Cuadro 21: Materiales y equipos para la instalación del sistema de riego**

<b>Materiales y equipo</b>	<b>Cantidad</b>
Rollo de manguera por 500 m. con goteros Eurodrip Diam: 13. Caudal gotero: 2.4 l/h.	1
Rollo de manguera por 50 m de 25 mm.	1
Rollo de manguera por 500 m de 32 mm.	1
Conector 32 25 mm.	1
Conector 32 32 mm.	5
Conector Tee 25 16 25mm.	12
Conector Tee 16mm x 16mm.	25
Conector final de línea 16mm en ocho.	12
Válvula 16 mm (bola).	32
Electrobomba Pentax modelo CMT214, 2.2 HP, 220/380, Trifásico, 60hz, conexiones 1 1/4 "x 1".	1
Filtro anillos 2".	1
Manómetros Azud.	3
Válvula volumétrica 1".	1
Válvula de aire 1".	1
Tablero de mando eléctrico	1
Puntos de prueba.	3
Bushing de 1/2" a 1/4".	3
Abrazaderas de 1" a 1/2".	3
Tubo de PVC 1".	1
Niples 1".	4
Válvulas 1" (polietileno).	2
Válvula Check 1" (bronce)	1
UPR (unión presión rosca) 1".	8
Unión universal 1".	2
Reducción de 2" a 1".	2
Unión de 2" hembra.	2
«continuación»	
Enlace de tubería a manguera de 1" a 32 mm.	1
Unión 1" hembra.	2
Codos de 1".	3
Teflón.	2
Pegamento ¼.	1
Anclajes y reja para protección de electrobomba.	1

**Cuadro 22: Materiales y equipo para la instalación de rizotrones**

<b>Materiales y equipo</b>	<b>Cantidad</b>
Acrílicos de 1.25 m	4
Cinta aislante amarilla	6
Cámara fotográfica	1



**Cuadro 23: Materiales e insumos para la instalación del tanque evaporímetro**

<b>Materiales e insumo</b>	<b>Cantidad</b>
Tanque tipo A	1
Pallet de madera.	1
Jarra de plástico medidora por 1 lt	2
Probeta graduada por 100 ml	1
Sulfato de Cobre (kg)	1
Malla metálica	1
Malla artesanal de piscina	1

**Cuadro 24: Materiales e insumos para el mantenimiento del reservorio**

<b>Material e insumo</b>	<b>Cantidad</b>
Alevines de tilapia gris	500
Hipoclorito de sodio (lt)	1
Malla para limpiar piscina	1

**Cuadro 25: Materiales e insumos para las evaluaciones de campo y pruebas de coeficiente de uniformidad**

<b>Material y equipo</b>	<b>Cantidad</b>
Letreros rotulados	18
Balanza digital	1
Libreta de apuntes	1
Recipientes de 120 cc	9
Cinta métrica por 3 m	1
Plumón indeleble	2
Sobres manila	50
Bolsas plásticas	500
Tarjetas de identificación	200

**Cuadro 26: Materiales y equipo para la medición de caudales a nivel de surco**

<b>Materiales y equipo</b>	<b>Cantidad</b>
Aforador Ballofet	1
Regla metálica	2
Flotador de Tecnopor	2
Cronómetro	1

**Cuadro 27: Relación de análisis realizados**

<b>Análisis</b>	<b>Cantidad</b>
Agua	3
Suelo	7
Materia orgánica	1
Foliar	5
Taninos	6

**Cuadro 28: Relación de pesticidas utilizados**

<b>Insumo</b>	<b>Cantidad</b>
Lufenex (Inhibidor de quitina) (lt)	0.5
<i>Bacillus thuringiensis var. kurstakii y aizawai</i> (kg)	3
Azufre polvo seco (kg)	25
Azufre polvo mojable (kg)	6
Coadyuvante (lt)	1

**Cuadro 29: Relación de fertilizantes**

<b>Insumo</b>
Nitrato de Calcio (kg)
Fosfato monoamónico (MAP) (kg)
Sulfato de potasio (kg)
Sulpomag (kg)
Fosfato monopotásico (MKP) (kg)
Microelementos foliares (kg)
Calcio, Boro foliar (lt)

### **3.7. METODOLOGÍA**

Se detalla a continuación, la metodología empleada para la obtención de los objetivos específicos de la presente investigación.

#### **3.7.1. Diagnóstico del riego por gravedad**

El punto de partida, fue realizar un diagnóstico del estado del fundo, el cual consistió en:

- a. Determinación de las fuentes de agua que abastecen las plantaciones en el fundo.
- b. Caracterización de la infraestructura de riego.
- c. Conocimiento de los turnos de riego recibidos en época de avenida y estiaje.

d. Cálculo de la oferta, demanda y balance de agua durante el año.

e. Análisis de las características del agua (C.E. y pH).

f. Determinación de las características topográficas.

g. Análisis textural y del perfil del suelo por medio de la excavación de dos calicatas en las cuales se determinó, la densidad aparente y porcentaje de piedra por horizonte, como se muestra en la Figura 22.



**Figura 22: Calicata en el área experimental**

h. Cálculos hidráulicos del riego por gravedad por el método del surco infiltrómetro y el surco trunco. Para la prueba del surco infiltrómetro, se empleó el aforador tipo Ballofet, con el cual se registró el caudal de entrada, la duración de la prueba y se calculó las fases de riego. La ecuación del aforador Ballofet, es la siguiente:

$$Q = 66.84 H^{2/3} \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

Q: Caudal (l/s)

H: Altura del agua de riego (m)

En la Figura 23 se presenta imagen del aforador Ballofet.



**Figura 23: Aforador tipo Ballofet**

Para la prueba del surco trunco se realizaron dos repeticiones, una en una sección de surco de 1.07 m y la otra en una sección de 0.74 m, en las cuales se midió el tiempo parcial, tiempo acumulado, lámina infiltrada acumulada y velocidad de infiltración acumulada.



**Figura 24: Prueba de infiltración por el método del surco trunco**

### **3.7.2. Diseño estadístico**

Se realizó el diseño estadístico completamente al azar (DCA) en 18 parcelas de tara contando con seis tratamientos y tres repeticiones.

### a. Tratamientos

Los tratamientos fueron definidos en base al factor riego (fr) determinado por la evapotranspiración potencial (ET<sub>0</sub>).

Se evaluaron cinco tratamientos por goteo (T<sub>1</sub> al T<sub>5</sub>) y un tratamiento bajo riego por gravedad (T<sub>0</sub>).

En el Cuadro 30, se presenta la descripción de cada tratamiento.

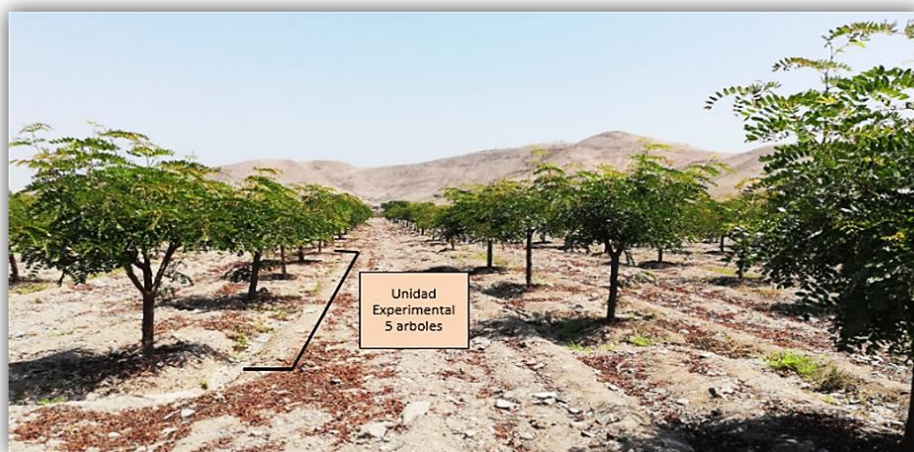
**Cuadro 30: Descripción de los tratamientos según el factor riego (fr) asignado**

Tratamiento	Factor de riego (fr)	% ET <sub>0</sub>
T <sub>0</sub>	Riego por gravedad	
T <sub>1</sub>	1	100
T <sub>2</sub>	0.8	80
T <sub>3</sub>	0.6	60
T <sub>4</sub>	0.4	40
T <sub>5</sub>	0.2	20

### b. Unidad Experimental

El área de investigación contó con 18 unidades experimentales de plantas de tara *Caesalpinia spinosa* con un marco de plantación de 3 x 3.5 m<sup>2</sup> disposición en tresbolillo.

Cada unidad experimental (ue) estaba constituida por cinco arboles de tara con un área de 52.5 m<sup>2</sup>/ue, tal como se aprecia en la Figura 25.



**Figura 25: Unidad experimental**

### c. Análisis estadístico

El diseño estadístico se realizó con el procedimiento ANOVA, análisis de varianza, para un diseño completamente al azar con un nivel de significancia al 5% (prueba de Turkey).

El análisis estadístico se efectuó con el software libre InfoStat.

En la Figura 26, se muestra la disposición al azar de las unidades experimentales.

**Factor T** = 5 tratamientos de factores de cultivo a goteo + 1 tratamiento con riego por gravedad (tratamiento testigo).

### ANOVA

Fuente de variabilidad G.L.

Factor T  $(t - 1) = 5$

Error Experimental  $(a) t (r - 1) = 12$

**Total:**  $t r - 1 = 17$



**Figura 26: Distribución de los tratamientos en campo seleccionados al azar**

### 3.7.3. Diseño e instalación del sistema de riego por goteo en el área experimental

#### a. Datos básicos

a.1. Recopilación de los planos topográficos con la ubicación de la fuente de agua y energía eléctrica.

a.2. Registro de las variables climáticas y cálculo de la ETo. La recopilación de las variables climáticas, se realizó con la estación meteorológica portátil Kestrel, se tomaron los valores de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. El cálculo de la ETo se obtuvo de las mediciones diarias tomadas en el Tanque A instalado en el área experimental.

a.3. Análisis de agua de las fuentes utilizadas.

a.4. Análisis químico del suelo. Para tal fin se realizó una calicata en la que se tomaron muestras de cada capa del perfil del suelo, obteniéndose cinco muestras a diferentes profundidades. El análisis se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM.

a.5. Cálculo de la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM). Se extrajeron dos muestras de suelo entre los 0 a 30 cm de profundidad y se analizaron en el laboratorio de Riego de la UNALM; allí se procedió a colocar las muestras en la olla de presión a 0.33 y 15 atmósfera, obteniéndose los resultados de CC y PM respectivamente.

a.6. Cálculo de la densidad aparente (Da) y porcentaje de piedras (Pp). Para el cálculo de estos parámetros físicos del suelo, se emplearon tarros muestreadores diferente al estándar del laboratorio, el motivo se debió a la cantidad y al diámetro de las piedras presente en el suelo. Las características de los tarros muestreadores utilizados, se detallan en el Cuadro 31.

**Cuadro 31: Características de los tarros muestreadores utilizados para el cálculo de la densidad aparente y porcentaje de piedras**

Características muestreador	Altura (h) (cm)	Radio r (cm)	Volumen V (cm <sup>3</sup> )
Tarro muestreador 1	10.0	3.5	384.8
Tarro muestreador 2	21.5	10.0	6754.4

El volumen fue calculado según la fórmula:

$$V = \Pi r^2 h \quad (\text{Ecuación 30})$$

El Porcentaje de piedras (Pp) fue determinado en base al peso (gr) de las partículas > 2mm dividido entre el peso total de la suma de las partículas < 2mm y las de >2mm, multiplicado por cien.

a.7. Cálculo del porcentaje de área mojada en el surco de riego. Se tomó con referencia el largo del anillo por el ancho del surco.

a.8. Simulación del diámetro de humedecimiento que debería tener el gotero para las condiciones de la zona. Para tal fin se colocaron tres botellas de plástico de 2.5 lt con agua con una aguja N°18 en la base, recreando las condiciones para que el agua dentro de la botella se vacíe en una hora y se procedió a medir el bulbo formado.

a.9. Estimación del porcentaje de cobertura verde de la plantación. Por medio de la medida del diámetro de la copa de la planta.

a.10. Determinación del coeficiente de uniformidad (CU) a utilizar en el diseño. Teniendo en cuenta el coeficiente de variabilidad (CV) del gotero seleccionado (dato proporcionado por el fabricante) y el número de goteros por planta (e), mediante la *Ecuación 20*.

#### **b. Diseño agronómico e hidráulico**

Con estos datos, se procedió a efectuar el diseño agronómico y diseño hidráulico, calculando los tiempos de riego según tratamiento en base a la reposición de la lámina de agua evapotranspirada diariamente. Los cálculos realizados para la determinación del diseño agronómico e hidráulico del sistema fueron los siguientes:

b.1. Cálculo de la capacidad de retención del suelo en base a parámetros hídricos ( $L_n$ ), empleando la *Ecuación 11*.

b.2. Cálculo de la capacidad de retención del suelo considerando el porcentaje de área mojada ( $P_{a.m}$ ), ( $L_{n.a.m}$ ), por medio de la utilización de la *Ecuación 12*.

b.3. Frecuencia de riego ( $Fr$ ) en base a la *Ecuación 17*.

b.4. Lámina neta recalculada en base a 1 día  $L_{n(rec)}$  utilizando la *Ecuación 13*.

b.5. Cálculo de la Eficiencia de riego ( $E_f$ ): La eficiencia de riego se calculó en base al coeficiente de uniformidad obtenido ( $CU=0.99$ ) y el porcentaje de percolación profunda ( $PP=8\%$ ) empleando la *Ecuación 14*.

b.6. Lámina bruta de riego ( $L_b$ ): Para el cálculo de  $L_b$ , se utilizó la *Ecuación 15* y se consideró una cobertura verde del 50%.



b.7. Cálculo del volumen aplicado (Vol.), por medio de la *Ecuación 16*.

b.8. Tiempo de riego por planta / tratamiento (t) por medio de la *Ecuación 18*, siendo Q el caudal por planta. Los valores del factor de riego (fr), se muestran en el Cuadro 29.

b.9. Capacidad preliminar del sistema (Q), por medio de la *Ecuación 19*.

b.10. Cálculo del caudal y presión del lateral: Para dicho cálculo, fue necesario conocer:

- Número de laterales.
- Número goteros/planta.
- Número de goteros/lateral/planta.
- Caudal que recibe cada planta ( $Q_p = Q_{\text{emisor}}(l/s) \times N^{\circ} \text{ goteros/planta}$ ).
- Caudal del lateral ( $Q_l = Q_{\text{emisor}}(l/s) \times N^{\circ} \text{ goteros/lateral/planta} \times N^{\circ} \text{ plantas/línea} \times N^{\circ} \text{ líneas}$ ).
- Presión mínima del gotero = 7 m.
- Longitud del lateral =  $N^{\circ} \text{ plantas/línea} \times \text{Distanciamiento entre plantas (m)}$ .
- Diámetro interno de manguera con goteros = 13.7 mm.

b.11. Cálculo de la pérdida de carga en el lateral J(m), aplicando la fórmula de Hazen – Williams con un coeficiente  $C = 150$ .

- Cálculo de  $J'(m) = J(\text{separación gotero} + \text{Long. equivalente}) / \text{separación goteros}$ .
- Pérdida de carga en el lateral  $hf(m) = J' \times \text{Factor Christiansen}$ .
- Presión del lateral = Presión gotero +  $hf(m)$  – Desnivel topográfico en el lateral ( $Az(l)$ ).

b.12. Cálculo del caudal y presión del portalateral: Con el dato de caudal del lateral ( $Q_l$ ) se realizó el cálculo del caudal del portalateral ( $Q_p$ ), siguiendo esta secuencia de cálculos:

- $Q_p = Q_l(l/s) \times N^{\circ} \text{ laterales} \times N^{\circ} \text{ tratamientos}$ .
- Long. portalateral =  $N^{\circ} \text{ plantas/línea} \times \text{Distanciamiento entre línea}$ .
- Conociendo el diámetro interno de manguera  $PE = 17 \text{ mm}$ , se aplicó la fórmula de Hazen – Williams y se obtuvo la pérdida de carga en el portalateral J(m).
- Presión del portalateral = P lateral + J(m) – Desnivel topográfico en el portalateral ( $Az(p)$ ).

b.13. Cálculo del caudal y presión de la tubería de conducción: Sabiendo el  $Q_p$  (l/s), la longitud de la tubería de conducción, el diámetro interno de la manguera PE= 27 mm, se aplicó la fórmula de Hazen – Williams para el cálculo de pérdida de carga en la tubería de conducción  $hf(m)$ .

b.14. Cálculo de la electrobomba: Se requirió conocer el caudal de la bomba, la carga dinámica total (CDT) y la potencia necesaria.

- Conociendo el caudal del portateral ( $Q_p$ ), se tiene el caudal total del sistema ( $Q_t$ ) y por lo tanto el caudal de la bomba requerida ( $Q_b$ ).
- La CDT se calculó de la suma de la carga estática y la carga dinámica (Ecuación 22).
- Cálculo de la potencia de la bomba ( $K_w$ ), teniendo en cuenta una eficiencia de la bomba ( $E_{fb}$ ) de 24% y una eficiencia de motor ( $E_{fm}$ ) de 64%, empleando la Ecuación 23.

**c. Obtención de todos los materiales y equipo para la instalación del sistema y el cabezal de bombeo.**

#### **3.7.4. Evaluación del cambio del sistema de riego por gravedad a goteo en el cultivo de tara**

a. Manejo de los datos obtenidos en el diagnóstico y cálculos hidráulicos del riego por gravedad, por medio del método del surco infiltrómetro, para lo cual se utilizó el aforador Ballofet (*Ecuación 29*), calculándose los caudales de entrada en el surco, cálculo de las fases del riego con sus respectivas curvas de avance y recesión, y la obtención de la velocidad de infiltración del terreno por medio de la prueba del surco trunco. Así mismo, se calculó la eficiencia de riego por gravedad (eficiencia de conducción y eficiencia de aplicación) por medio de las *Ecuaciones 8, 9 y 10*.

b. Con la información diaria de  $ET_o$  y el factor de riego ( $fr$ ) de cada tratamiento por goteo, se realizó la programación de riego, es decir, el cálculo de las láminas a regar por tratamiento con sus tiempos de riego respectivos.

c. Se realizaron las mediciones y monitoreo periódico de los parámetros agronómicos y la evapotranspiración potencial del cultivo ( $ET_o$ ).

d. En los tratamientos por goteo, la frecuencia de riegos se realizó según la ETo acumulada:

- En verano (febrero y marzo) y primavera (setiembre – noviembre) se regó con una frecuencia diaria e interdiaria hasta acumular 4 mm de ETo.
- En abril los riegos también fueron interdiario hasta acumular 5 mm de ETo.
- En invierno se regó con una frecuencia de 4 días en los meses de mayo y junio, y 7 días en los meses de julio y agosto, hasta acumular 5 a 6 mm ETo.

e. Finalmente, se compararon los resultados obtenidos en el tratamiento por gravedad y los tratamientos por goteo.

f. Así mismo, se recopiló información sobre el manejo agronómico.

g. Monitoreo de parámetros agronómicos del cultivo. Se identificó el estado fenológico del cultivo de tara para la zona de Pachacamac en base a las evaluaciones realizadas quincenalmente, en la que se cuantificaron el tiempo de aparición de los diferentes órganos en la planta. Se definieron cuatro estados fenológicos para facilitar las evaluaciones:

- Brotación después de la poda, se midió: área de cobertura foliar y estado sanitario de la planta durante todo el ciclo del cultivo.
- Floración – cuaje – llenado de vainas, se evaluó cada quince días, la cantidad de inflorescencias.
- Cosecha: se midió: número de vainas cosechados por tratamiento, número de semillas por vaina, rendimiento (kg/planta), calidad de la vaina (en base al tamaño y número de semillas).
- Postcosecha, se cuantificó el porcentaje de taninos en el polvo de tara seca en el laboratorio INASSA (2020). Se enviaron 200 gr de vainas comerciales por tratamiento. Se realizó la molienda total de los 200 gr y se separó 2 gr, el cual fue introducido en un matraz de 500 ml, se le incorporó 400 ml de agua destilada, se hizo hervir por 4 horas (reflujo recirculante) y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Seguidamente, se vació a una fiola de 500 ml, se filtró. Paralelamente, en un vaso de 1 lt, se llevó 25 ml de la alícuota anterior y se le agregó 20 ml de índigo de carmín y se tituló con permanganato, obteniéndose la concentración de taninos requerida.

h. Monitoreo de la zona radicular y frente de humedad. Se efectuó cada mes, por medio de la instalación de cuatro rizotrones colocados en el tratamiento 1 ( $T_1$ ), tratamiento 3 ( $T_3$ ), tratamiento 5 ( $T_5$ ) y tratamiento 0 ( $T_0$ ). Cada rizotróon estaba constituido por una lámina de acrílico transparente de 1.2 m de ancho y 1 m de alto, con divisiones en forma de cuadrícula a cada 10 cm. Para el establecimiento de cada rizotróon, se tuvo que hacer una calicata a 0.4 m de la planta con una profundidad de 1 m y 1.2 m de largo, con la finalidad de:

- Realizar la medición de la distribución de las raíces.
- Cuantificar la distribución de la humedad en el suelo.

### **3.7.5. Evaluación de los efectos en el rendimiento a diferentes volúmenes aplicados de agua y función de producción**

Para tal fin, se evaluaron los rendimientos totales y comerciales según los volúmenes de agua aplicados y el peso de vaina comercial. Con esta información, se elaboró la función de producción y productividad del agua.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL ÁREA EXPERIMENTAL

#### 4.1.1. Datos básicos

En la Figura 27 se presenta el plano topográfico con curvas de nivel, la ubicación de la fuente de agua (reservorio) y la fuente energética, información necesaria para la elaboración del diseño del sistema de riego.

- Área total del proyecto: 1,050 m<sup>2</sup>

- Área del sistema de riego por goteo del proyecto: 892.5 m<sup>2</sup> (51 m x 17.5 m)

- Capacidad del reservorio: 1,113 m<sup>3</sup>

- Turnos de riego:

En época de Avenida (diciembre a mayo) cada 4 días por 7.25 horas.

En época de estiaje (junio a diciembre) cada 7 a 15 días por 7.25 a 5 horas.

En el Cuadro 32, se muestra las características de la fuente energética contratada.

**Cuadro 32: Características de la fuente energética**

Tarifa	BT5B Residencial
Conexión	Aérea C2.1
Potencia contratada	10.00 KW
Nivel tensión	220 V
Medidor	Trifásico Mecánico 3 hilos

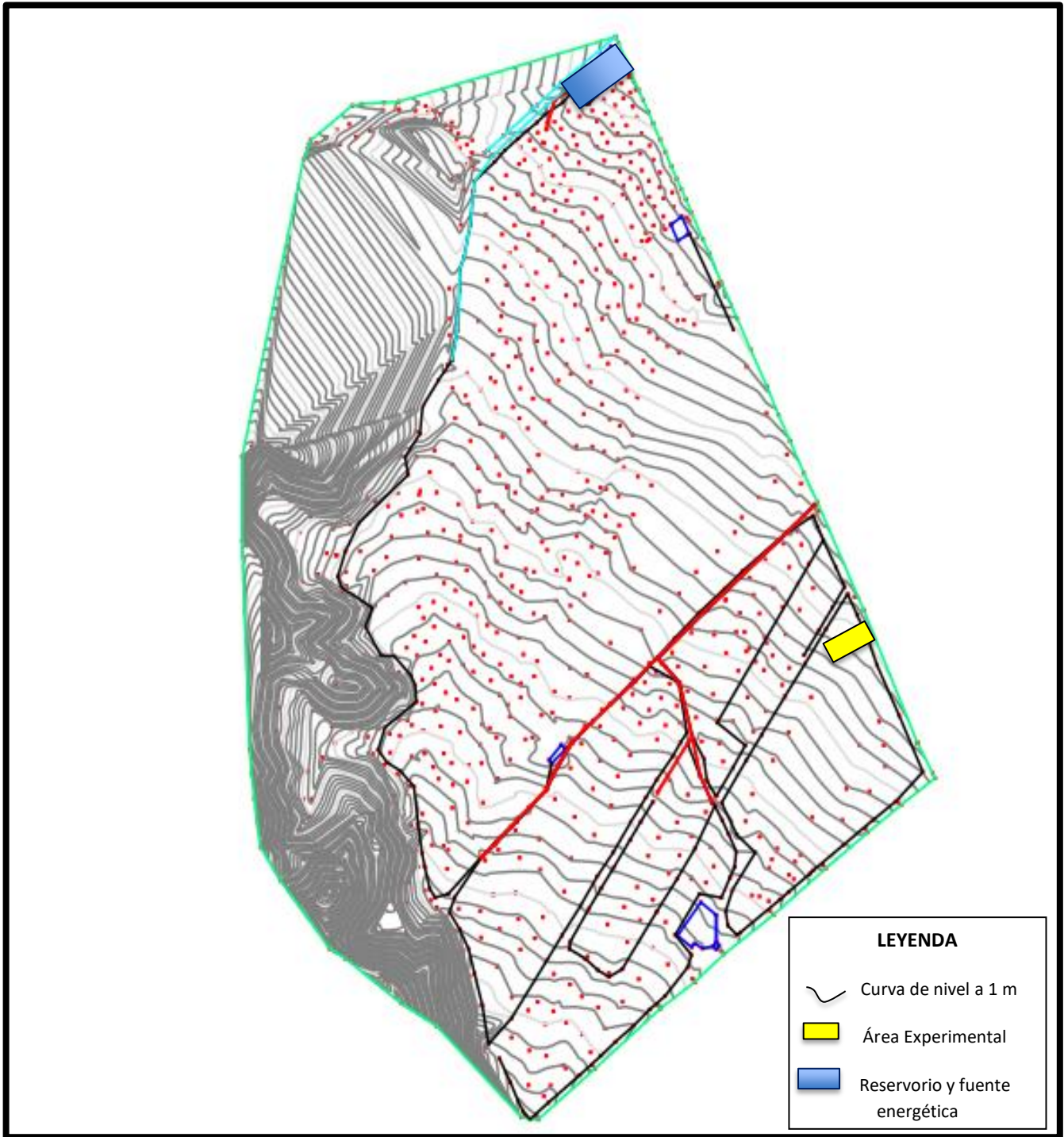


Figura 27: Plano topográfico del terreno

#### **4.1.2. Variables climáticas y evapotranspiración potencial**

En el Cuadro 33 se pueden apreciar los datos climatológicos, obtenidos durante la campaña 2,020.

Durante todo el año, las mayores temperaturas y velocidad de viento se registraron al mediodía, la humedad relativa se mantuvo por encima del 80% en las primeras horas de la mañana.

Con respecto a la ETo, la mayor registrada fue en el mes de enero con 4.39 mm y la más baja en el mes de junio con 1.05 mm (Figura 28).

#### **4.1.3. Análisis químico del agua**

A continuación, se presentan dos análisis de agua, obtenidos en diferentes fechas (Cuadro 34). Una extraída terminando la época de avenida, que presenta un porcentaje aproximado de 75 % de agua proveniente del río Lurín y 25 % de agua de puquio, y una segunda muestra de agua obtenida a inicios de época de estiaje, en la que el porcentaje de agua de puquio es de 75 % y la de río 25 %.

La calidad del agua se midió en base a su contenido de sales, porcentaje de sodio y toxicidad de algunos elementos como son el cloro y el boro.

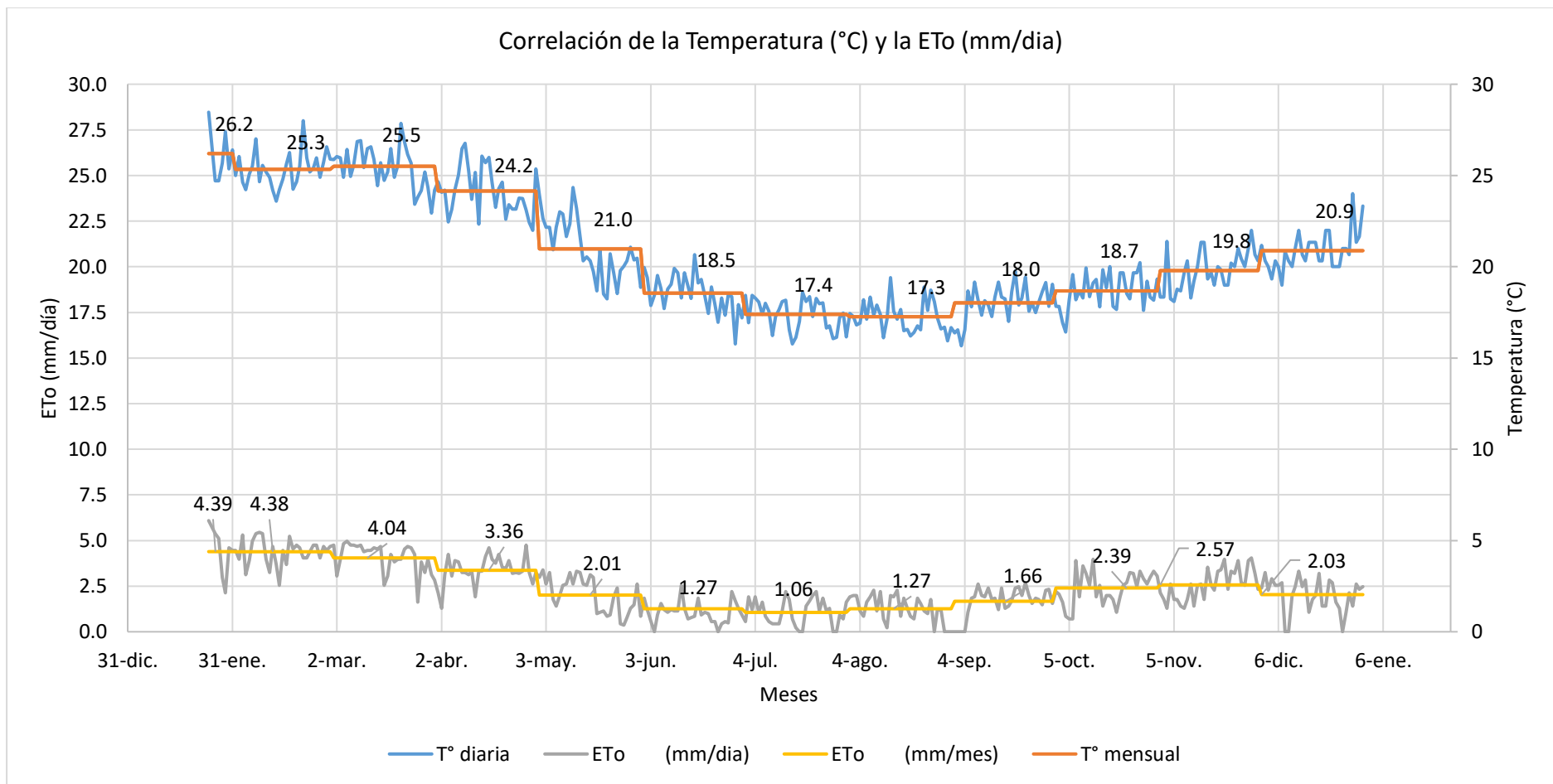
Con respecto al contenido de sales, en el Cuadro 33, se puede observar que ambas aguas presentan una C.E. de 0.74 y 2.14 dS/m y un total de sólidos en el suelo (TDS) igual a 0.47 y 1.37 g/l respectivamente. Lo que significa que ambos tipos de agua, tienen un grado de restricción con respecto a las sales, de leve a moderado.

Con respecto al grado de sodicidad del agua, el RAS obtenido fue de 3.1 y de 6.62 respectivamente, lo que significa que el calcio y magnesio presentan un inverso a la presencia de sodio, pudiendo el calcio interaccionar con los bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) presentes en el agua, reaccionar con el calcio y formar carbonatos. El agua que tiene mayor concentración, en volumen, de agua de puquio, además de tener una mayor RAS (6.62) tiene 10.4 meq/l de ion cloro lo que indica que esta calidad de agua, podría ocasionar problemas con este elemento, sin embargo, cabe recordar que este tipo de agua es estacional.

**Cuadro 33: Datos climáticos año 2020**

Parámetro Climático	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Temperatura (°C)</b>												
A las 7:30	25.05	23.71	24.01	22.25	19.67	17.52	16.19	15.70	16.11	17.26	18.44	19.35
A las 12:00	28.67	27.76	27.88	26.71	22.99	19.56	18.68	18.99	20.15	20.73	21.46	22.84
A las 17:30	24.71	24.64	24.49	23.82	20.32	18.66	17.38	17.05	18.05	18.11	19.22	20.39
<b>Promedio</b>	<b>26.20</b>	<b>25.30</b>	<b>25.50</b>	<b>24.20</b>	<b>21.00</b>	<b>18.50</b>	<b>17.40</b>	<b>17.30</b>	<b>18.00</b>	<b>18.70</b>	<b>19.78</b>	<b>20.87</b>
<b>Humedad Relativa (%)</b>												
A las 7:30	87.38	86.92	83.03	82.08	84.96	88.34	86.65	88.98	87.97	86.82	83.62	88.48
A las 12:00	71.98	72.01	66.78	67.66	73.84	80.48	81.27	78.49	77.03	74.49	70.65	75.06
A las 17:30	80.48	79.53	76.15	73.16	77.67	80.68	79.75	80.89	79.26	79.42	75.41	80.03
<b>Promedio</b>	<b>79.80</b>	<b>79.60</b>	<b>75.60</b>	<b>74.60</b>	<b>78.90</b>	<b>83.30</b>	<b>82.50</b>	<b>82.90</b>	<b>81.60</b>	<b>80.40</b>	<b>76.33</b>	<b>81.30</b>
<b>Vel. Viento (m/s)</b>												
A las 7:30	2.55	2.31	1.06	1.27	0.97	1.17	0.92	1.26	1.08	1.99	1.16	1.84
A las 12:00	7.70	7.17	8.20	8.56	6.74	5.70	4.97	6.47	7.02	8.65	8.63	8.71
A las 17:30	4.39	5.01	4.09	6.44	5.29	4.95	5.48	5.91	5.52	6.15	6.28	6.15
<b>Promedio</b>	<b>5.20</b>	<b>4.80</b>	<b>4.20</b>	<b>5.20</b>	<b>4.30</b>	<b>3.90</b>	<b>3.80</b>	<b>4.40</b>	<b>4.40</b>	<b>5.50</b>	<b>5.46</b>	<b>5.55</b>
<b>ETo (mm/día)</b>	<b>4.39</b>	<b>4.38</b>	<b>4.06</b>	<b>3.38</b>	<b>2.04</b>	<b>1.05</b>	<b>1.06</b>	<b>1.27</b>	<b>1.66</b>	<b>2.39</b>	<b>2.57</b>	<b>2.03</b>
<b>ETo (mm/mes)</b>	<b>136.00</b>	<b>127.08</b>	<b>125.81</b>	<b>101.45</b>	<b>63.36</b>	<b>31.51</b>	<b>32.92</b>	<b>39.29</b>	<b>49.70</b>	<b>74.19</b>	<b>77.24</b>	<b>63.01</b>





**Figura 28: Correlación de la temperatura y la ETo diaria**

Otra característica del agua por analizar, es el criterio de dureza sobre todo cuando se utiliza sistema de riego a goteo. En ambos casos, el agua utilizada para regar el área experimental, son aguas duras, lo que se refleja en los contenidos de calcio más magnesio superiores a los 50 ppm, contenido de bicarbonato mayor de 130 ppm y pH superior a los 7.5.

**Cuadro 34: Cuadro comparativo de dos análisis de agua extraídos en épocas de avenida y estiaje**

Fecha Extracción		05/05/2019	27/06/2019
Muestra N° Lab.		334	407
Procedencia de la muestra de agua	Unidades	Rio 75% + Puquio 25%	Rio 25% + Puquio 75%
pH		9.39	8.21
C.E.	(dS/m)	0.74	2.14
Ca <sup>++</sup>	meq/l	2.87	7.20
	ppm	57.4	144
Mg <sup>++</sup>	meq/l	0.60	1.52
	ppm	7.2	18.24
K <sup>+</sup>	meq/l	0.10	0.09
Na <sup>+</sup>	meq/l	4.08	13.83
Suma Cationes	meq/l	7.65	22.64
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	meq/l	0.04	0.10
Carbonatos (CO <sub>3</sub> =)	meq/l	0.50	0.05
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	meq/l	2.28	4.37
SO <sub>4</sub> =	meq/l	1.67	7.63
Cl <sup>-</sup>	meq/l	3.20	10.40
Suma Aniones	meq/l	7.69	22.55
Na <sup>+</sup>	%	53.35	61.08
RAS		3.10	6.62
BORO	(ppm)	0.19	0.41
Clasificación		<b>C2-S1</b>	<b>C3-S2</b>
TDS	g/l	<b>0.47</b>	<b>1.37</b>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%	<b>29.65</b>	<b>19.38</b>
Dureza	ppm	<b>173.16</b>	<b>435.15</b>
		<b>Agua Dura</b>	<b>Agua Muy Dura</b>

FUENTE: Adaptado del análisis realizado por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM (2019).

En el Cuadro 35, se aprecia los cálculos obtenidos al realizar el Índice de saturación de Langelier, método utilizado para determinar si el agua es propensa a formar incrustaciones de carbonato de calcio, al comparar el pH del agua con el pHs, es decir pH al cual un agua con una determinada alcalinidad y contenido en calcio está en equilibrio con el carbonato de calcio. Los

valores positivos obtenidos y cercanos a la unidad en ambas aguas, indican que son propensas a depositar carbonato cálcico en los goteros, problema que se pudo solucionar con aplicación de ácido en forma localizada en el sistema de riego.

**Cuadro 35: Calculo del Índice de Langelier**

<b>Índice de Langelier (Is)</b>	<b>Rio 75% + Puquio 25%</b>	<b>Rio 25% + Puquio 75%</b>
<b>Cálculo de <math>pK'2 - pK's</math>:</b>		
meq/l (Na + Ca + Mg)	7.55	22.55
$pK'2 - pK's$ 25° C	2.25	2.36
<b>Cálculo de <math>pCa</math>:</b>	2.85	2.45
<b>Cálculo de <math>pAlc</math>:</b>		
Alc = CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.78	4.42
$pAlc$	2.55	2.34
<b>Cálculo de <math>pHs</math>:</b>		
$pHs = (pK'2 - pK's) + pCa + pAlc$	7.65	7.15
<b>Is = pH – pHs</b>	<b>1.74</b>	<b>1.06</b>

Con respecto a los niveles de boro, ambas aguas no tienen restricciones por su valor por debajo de 0.7 meq/l.

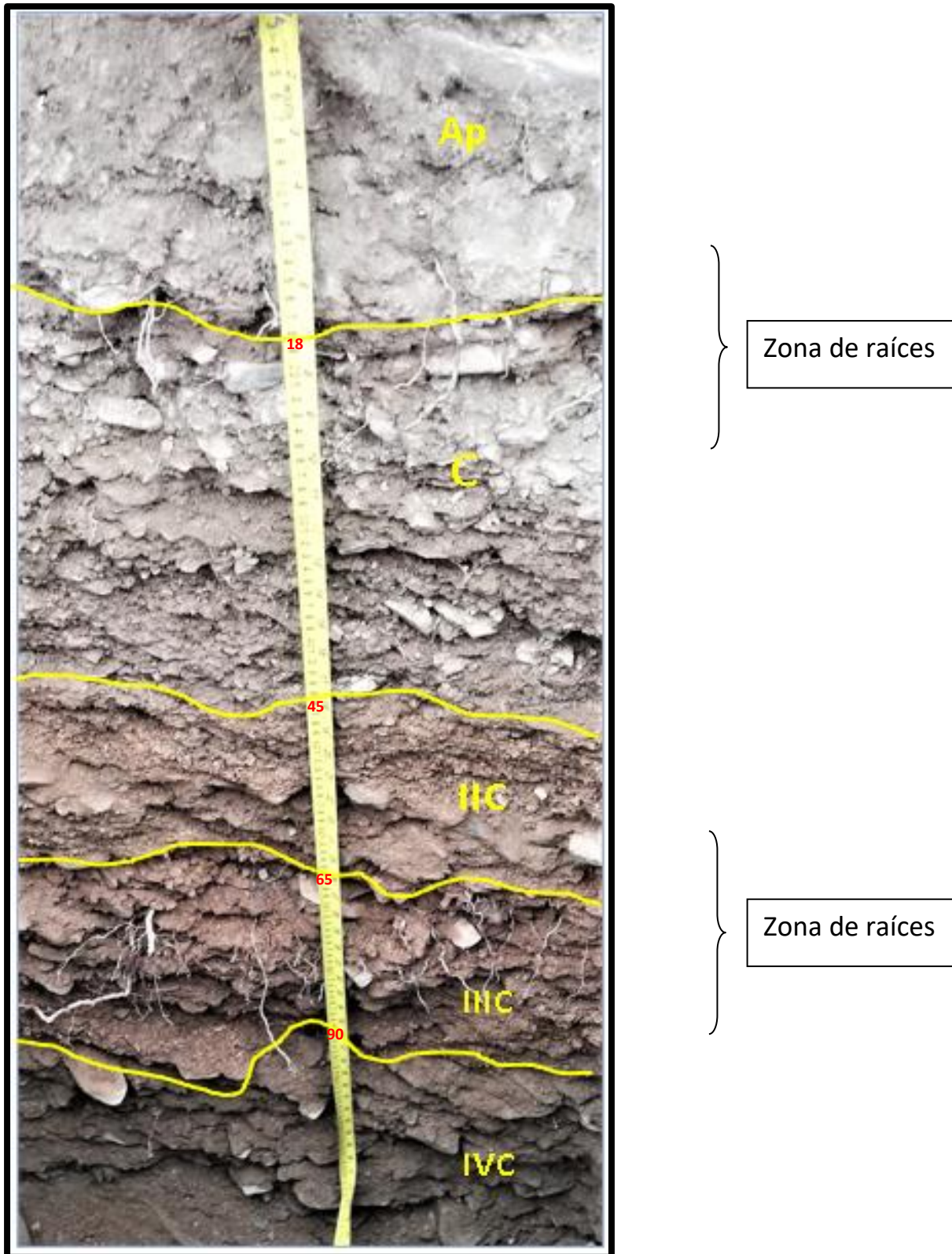
Debido a las características del agua de puquio y avenida, los fertilizantes edáficos aplicados fueron en base a fuentes sulfatadas que tienden acidificar el área de la rizósfera y hacer los microelementos y el fósforo más disponible para la planta, así mismo, se hicieron aplicaciones periódicas de microelementos vía foliar.

#### **4.1.4. Coeficientes hídricos y capacidad de retención del suelo**

En el perfil del suelo (Figura 29) se puede apreciar la presencia de diferentes horizontes, lo cual se corrobora con la información de INGEMMET (1992) sobre la formación litográfica que señala que esa parte del valle de Pachacamac, presentan suelos coluviales con depósitos aluviales.

Se pueden identificar dos horizontes marcados el Ap y el C. El horizonte C a su vez presenta una marcada discontinuidad litológica, representada por IIC, IIIC y IVC, diferenciados por el color, tamaño de las partículas mayores a 2 mm y porcentaje de piedras. Cabe recalcar que a pesar que el horizonte C en general, presenta una textura arena franca, el porcentaje de la

fracción limo es mayor que la de la arcilla (color rojizo), lo que podría darle cierta característica retentiva al suelo conjuntamente con la disposición a manera de lajas de las piedras.



**Figura 29: Perfil del suelo del área experimental**

De los valores obtenidos (Cuadro 36), observamos que, a los 20 cm de profundidad, hay un 67 % de piedras y conforme vamos ahondando en el perfil, el porcentaje de piedras va en aumento. Según la Guía para la descripción de perfiles de suelo de la FAO (1977), este suelo pertenece a la clasificación abundante pedregosidad con un rango comprendido entre los 40 a 80 % de piedras.

**Cuadro 36: Calculo de la densidad aparente (Da) y porcentaje de piedras (Pp) por horizonte del perfil del suelo**

Horizonte	Prof. (cm)	Partícula Menor 2 mm					Partícula Mayor 2 mm (piedras)					TOTAL (gr)	Da (gr/cm <sup>3</sup> )	Piedras %
		Peso 1 (gr)	Peso 2 (gr)	Prom (gr)	tara (gr)	Peso (gr) <2mm	Peso 1 (gr)	Peso 2 (gr)	Prom (gr)	tara (gr)	Peso (gr) >2mm			
Ap	0 - 20	215	213	214	3	211.0	435	434	434.5	3	431.5	642.50	1.67	67.16
C	20 - 50	200	199	200	3	196.5	530	527	528.5	3	525.5	722.00	1.88	72.78
II C	50 - 70	215	214	215	3	211.5	455	453	454.0	3	451	662.50	1.72	68.08
III C	70 - 100	195	193	194	3	191.0	520	521	520.5	3	517.5	708.50	1.84	73.04
IV C	100 - 140	224	223.8	224	3	220.9	11040		11040.0	28	11012	11232.90	1.66	98.03

En el Cuadro 37, se aprecia que, al considerar el porcentaje de piedras en el análisis mecánico del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM, los porcentajes de las partículas finas (<2mm) en el horizonte Ap se redujeron a 17.73, 8.21 y 6.9% para arena, limo y arcilla respectivamente. Estos nuevos valores de las partículas menores de 2 mm y el alto porcentaje de piedras del suelo, nos indican la gran cantidad de macroporos y el bajo porcentaje de arcillas que está directamente relacionado con la Capacidad de Intercambio catiónico (CIC) del suelo, baja capacidad para retener nutrientes y agua (Grupo Sacsá, 2015; Intagri, 2017), así mismo, la presencia de piedras y gravas disminuyen el volumen efectivo de suelo (Ibáñez, 2008).

**Cuadro 37: Cuadro comparativo de la variación de las partículas finas del suelo al considerar el porcentaje de piedras**

Horizonte	Prof. (cm)	Análisis Mecánico (s/considerar % piedras)				Análisis Mecánico (Total Muestra)			
		Arena %	Limo %	Arcillas %	Clase textural	Arena %	Limo %	Arcillas %	Piedras %
Ap	0 - 20	54	25	21	Fr.Ar.A.	17.73	8.21	6.90	67.16
C	20 - 50	80	11	9	A.Fr.	21.77	2.99	2.45	72.78
II C	50 - 70	84	9	7	A.Fr.	26.82	2.87	2.23	68.08
III C	70 - 100	84	9	7	A.Fr.	22.65	2.43	1.89	73.04
IV C	100 - 140	90	5	5	A.	1.77	0.10	0.10	98.03

Por otro lado, se calculó la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez (PM) en base a peso seco:

$$CC = 10.67 \%$$

$$PM = 4.94 \%$$

Con respecto al análisis químico del suelo, se puede apreciar en el Cuadro 38, que el suelo es ligeramente básico en los primeros 20 cm y en general moderadamente básico en la profundidad del perfil, con baja presencia de carbonato de calcio, tiene una C.E. en dilución de 1:1, de 2.69 dS/m (C.E. en pasta saturada ~ 5.4 dS/m), medianamente salino. Tiene un porcentaje de materia orgánica en los primeros 20 cm de 1.38 %, proveniente de la descomposición de la hoja de tara que cae al suelo durante su defoliación natural, sin embargo, si consideramos la materia orgánica hasta la profundidad de raíces, este valor disminuye a 0.88 %. Considerando el porcentaje de piedras de 69.6 % en la zona radicular, una tasa de mineralización de 2.5 % y un factor de uso de 30 %, podemos inferir que la materia orgánica de este suelo, solo aporta 6.2 kg N/ha/año.

Con respecto a los cationes intercambiables, se puede calcular, que el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es de 15.45 %, lo cual puede ocasionar algunos problemas de sodio, sin embargo, este elevado porcentaje se presentan en los primeros 20 cm, en los horizontes inferiores, el PSI disminuye. Las concentraciones de calcio, magnesio y potasio cambiabiles son altos, aunque solo en la parte superficial., mientras que la capacidad de intercambio catiónico (CIC = 11.2 meq/100 g) indica una fertilidad media a baja. La presencia de fósforo y potasio en forma disponible son de valores medios en la capa superficial (primeros 20 cm) pero baja a mayor profundidad.

**Cuadro 38: Análisis químico del suelo**

Horizonte	Prof. (m)	pH (1:1)	C.E. (1:1) (dS/m)	CaCO <sub>3</sub> %	M.O %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico				CIC meq/100g	CATIONES CAMBIABLES (meq/100g)					Suma Cationes	Porcentaje Sodio Intercamb. (PSI)	Suma Bases	% Sat. Bases
								Arena %	Limo %	Arcillas %	Clase textural		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>				
0 - 20	0.20	7.63	2.69	0.5	1.38	14.0	192	54	25	21	Fr.Ar.A.	11.20	6.88	2.15	0.44	1.73	0.00	11.20	15.45	11.20	100
20 - 30	0.10	7.80	0.59	0.3	0.21	7.6	114	80	11	9	A.Fr.	6.08	3.99	1.10	0.28	0.71	0.00	6.08	11.68	6.08	100
30 - 50	0.20	7.80	0.59	0.3	0.21	7.6	114	80	11	9	A.Fr.	6.08	3.99	1.10	0.28	0.71	0.00	6.08	11.68	6.08	100
50 - 70	0.20	7.59	1.24	0.2	0.06	4.8	123	84	9	7	A.Fr.	5.12	3.12	0.98	0.31	0.70	0.00	5.12	13.67	5.12	100
70 - 100	0.30	8.18	0.85	0.1	0.05	8.5	128	84	9	7	A.Fr.	4.16	2.33	0.95	0.29	0.59	0.00	4.16	14.18	4.16	100
100 - 140	0.40	7.80	0.47	0.1	0.02	5.7	133	90	5	5	A.	4.00	2.44	0.82	0.31	0.43	0.00	4.00	10.75	4.00	100

FUENTE: Elaborado en base a los datos obtenidos en el análisis de suelo del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM.

#### 4.1.5. Diagnóstico del riego por gravedad

##### a. Oferta de agua

El turno de riego o mita es de 17 a 30 min/ha dos veces por semana o cada 15 días, variando según la época del año, es así que, en época de avenida, la mita es de 30 min/ha dos veces a la semana; en época de estiaje, la mita de agua puede disminuir a 17 min/ha con una frecuencia de 15 días. En el Cuadro 39, se puede observar la variación del turno y la frecuencia de riego según época del año para las 18 hectáreas del Fundo Belloni.

La oferta de agua promedio recibida en época de avenida es aproximadamente de 20,173 m<sup>3</sup>/mes, y para la época de estiaje, 1,391 m<sup>3</sup>/mes (octubre y noviembre).

**Cuadro 39: Oferta de agua anual aproximada campaña 2020**

Época	Avenida						Estiaje					
Mes	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov
Frecuencia de riego (días)	4	4	4	4	4	4	7	7	7	7	15	15
Turno riego (h)	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	6	6	5	5	5
Turno riego (m <sup>3</sup> /h)	445.2	445.2	445.2	445.2	371.0	371.0	278.3	222.6	185.5	159.0	139.1	139.1
Turno riego (m <sup>3</sup> /día)	3,227.7	3,227.7	3,227.7	3,227.7	2,689.8	2,689.8	2,017.3	1,335.6	1,113.0	795.0	695.6	695.6
Total (m <sup>3</sup> /mes)	24,207.8	24,207.8	24,207.8	24,207.8	20,173.1	20,173.1	8,645.6	5,724.0	4,770.0	3,407.1	1,391.3	1,391.3

##### b. Volumen de agua aplicado campaña 2020

La demanda de agua del fundo está distribuida en las 10.2 has de tara y en las 4.3 has de pera. Los lotes de tara se agostan terminando la cosecha (mes de diciembre a enero). En cambio, la plantación de pera, entra en agoste en los meses de julio y agosto, coincidiendo con la época de estiaje. En el Cuadro 40 se presenta el hectareaje de las plantaciones de tara y pera, su volumen requerido de agua por mes, así como el volumen total utilizado en el fundo. La mayor demanda hídrica requerida, es en el mes de marzo (época de avenida) con 16,308 m<sup>3</sup>.



**Cuadro 40: Volumen de agua aplicado campaña 2020**

EPOCA	Avenida						Estiaje					
Mes	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov
Área regada tara (ha)	10.2	0	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Área regada pera y manzana (ha)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	AGOSTE		4.3	4.3	4.3
Numero de riego tara/mes	1	AGOSTE	1	3	3	2	2	2	2	2	2	1
Numero de riego pera/mes	6	6	6	6	3	3	2	0	0	1	2	2
Volumen riego tara (m <sup>3</sup> /mes)	2,856.0	0.0	2,856.0	8,568.0	8,568.0	5,712.0	5,712.0	5,712.0	5,712.0	5,712.0	5,712.0	2,856.0
Volumen riego pera (m <sup>3</sup> /mes)	7,740.0	7,740.0	7,740.0	7,740.0	3,870.0	3,870.0	2,580.0	0.0	0.0	1,290.0	2,580.0	2,580.0
<b>Total (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>10,596.0</b>	<b>7,740.0</b>	<b>10,596.0</b>	<b>16,308.0</b>	<b>12,438.0</b>	<b>9,582.0</b>	<b>8,292.0</b>	<b>5,712.0</b>	<b>5,712.0</b>	<b>7,002.0</b>	<b>8,292.0</b>	<b>5,436.0</b>

### c. Balance hídrico

Haciendo el balance hídrico, se observa en el Cuadro 41 que hay un déficit de agua durante los meses de agosto a noviembre (época de estiaje), momento donde la tara está en pleno llenado de vaina y el cultivo de pera está en plena floración y cuajado de fruto.

**Cuadro 41: Balance hídrico bajo riego por gravedad campaña 2020**

EPOCA	Avenida						Estiaje						TOTAL
Mes	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	
OFERTA (m <sup>3</sup> )	24,207.8	24,207.8	24,207.8	24,207.8	20,173.1	20,173.1	8,645.6	5,724.0	4,770.0	3,407.1	1,391.3	1,391.3	<b>162,506.5</b>
DEMANDA (m <sup>3</sup> )	10,596.0	7,740.0	10,596.0	16,308.0	12,438.0	9,582.0	8,292.0	5,712.0	5,712.0	7,002.0	8,292.0	5,436.0	<b>107,706.0</b>
BALANCE HIDRICO (m <sup>3</sup> )	<b>13,611.8</b>	<b>16,467.8</b>	<b>13,611.8</b>	<b>7,899.8</b>	<b>7,735.1</b>	<b>10,591.1</b>	<b>353.6</b>	<b>12.0</b>	<b>-942.0</b>	<b>-3,594.9</b>	<b>-6,900.8</b>	<b>-4,044.8</b>	<b>54,800.5</b>

### d. Infraestructura de riego

Con respecto a la infraestructura de riego, el fundo cuenta con un reservorio revestido de cemento cuyo volumen es de 1,113 m<sup>3</sup>, 12.7 m de ancho interno x 38.1 m de longitud x 2.3 m de profundidad en la parte media. Es utilizado para almacenar el sobrante de agua de riego en época de avenida y para recibir el agua de puquio en época de estiaje, la cual es almacenada y distribuida posteriormente (Figura 30).



**Figura 30: Trabajos de limpieza en el reservorio**

#### **e. Fases de riego e infiltración**

Se empleo el aforador tipo Ballofet, para el cálculo del caudal de avance.

Se designó una longitud de surco de 39.3 m ubicado en la cabecera del terreno, como se observa en la Figura 31.



**Figura 31: Orientación del surco de riego y pendiente 3.5%**

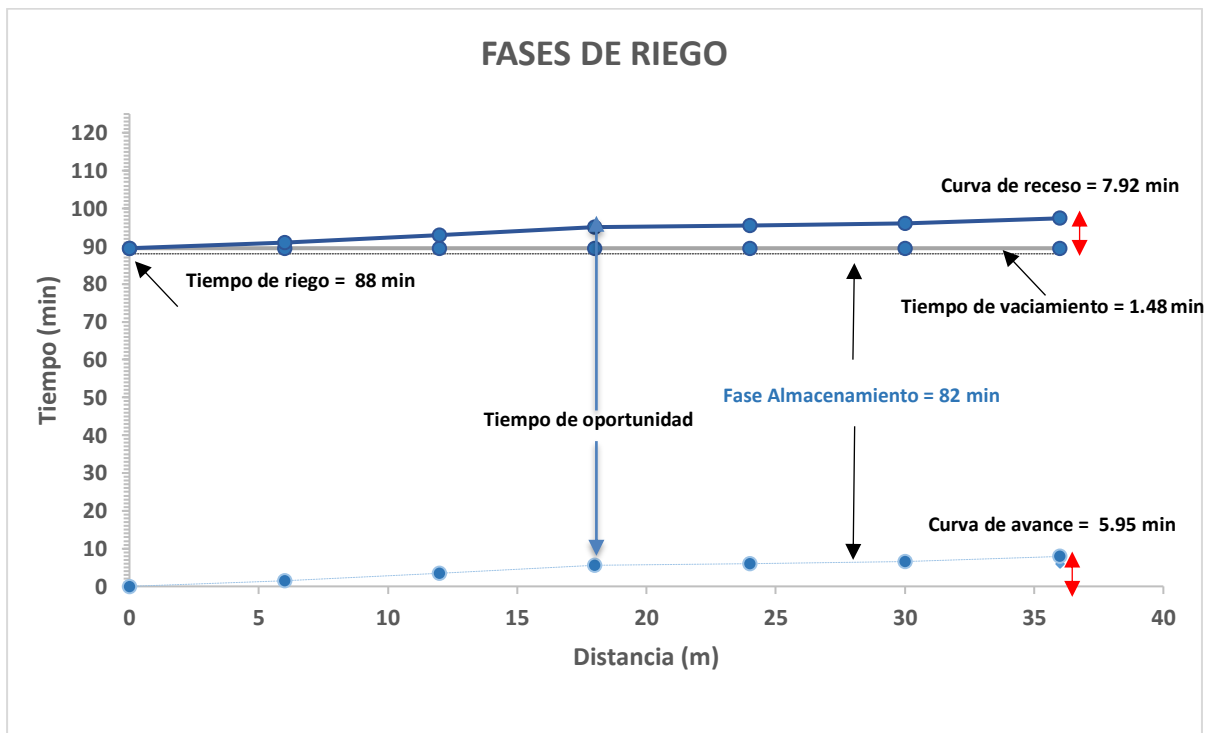
Los datos obtenidos, indicaron 5.95 minutos en el tiempo de avance, 82.06 minutos en la fase de almacenamiento al final del surco, 7.92 minutos en el tiempo de recesión y una duración en el tiempo de oportunidad (contacto) en el final del surco de 97.4 minutos, cabe resaltar que la disposición de los surcos de riego tenía una pendiente de 3.5% y un caudal de entrada promedio por surco de 10 l/s, como se muestra en el Cuadro 42; en el Cuadro 43, se detalla el tiempo de recesión y tiempo de oportunidad obtenidos a lo largo del surco de riego. En la Figura 32, se diagrama las fases del riego, con sus respectivas curvas de avance y receso.

**Cuadro 42: Cálculo del tiempo total de aplicación del riego por gravedad**

Inicio surco (m)	0
Ancho surco (m)	0.3
Final surco (m)	39.30
Pendiente (%)	3.50
Caudal entrada promedio (l/s)	10.27
Tiempo de riego (corte) (min)	88.00
Tiempo Avance (min)	5.95
Fase almacenamiento al final del surco (min)	82.06
Tiempo de vaciamiento (min)	1.48
Tiempo de recesión (min)	7.92
<b>Tiempo de contacto al inicio del surco (oportunidad) (min)</b>	<b>91.46</b>
<b>Tiempo de contacto al final del surco (oportunidad) (min)</b>	<b>97.40</b>

**Cuadro 43: Cálculo del tiempo de receso**

Longitud (m)	6	12	18	24	30	36
Tiempo receso acumulado (min)	1.48	3.42	5.55	6.05	6.55	7.92
Tiempo de oportunidad (min)	91.46					97.40



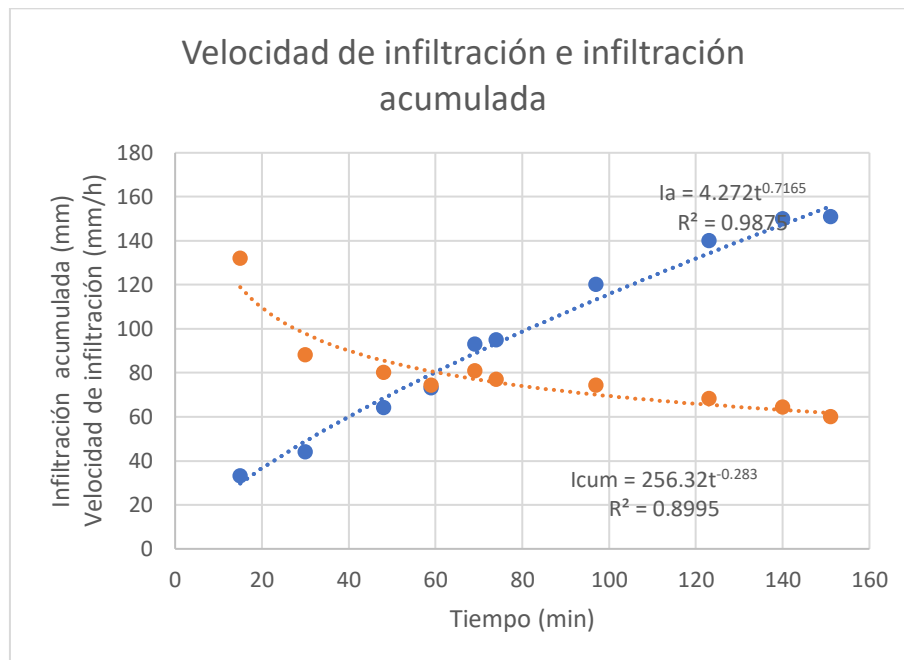
**Figura 32: Curva de avance y recesión**

Con respecto a la velocidad de infiltración, esta se calculó mediante la prueba del surco trunco, se hicieron dos repeticiones, las cuales se detallan en el Cuadro 44 y Figura 33, para la repetición 1 y en el Cuadro 45 y Figura 34 para la repetición 2.

En ambos casos, se puede apreciar que en el tiempo  $t = 0$ , la velocidad de infiltración fue de 132 y 124 mm/h respectivamente, llegando a la infiltración básica a partir de los 151 minutos en la repetición 1 y a los 209 minutos en la repetición 2, con una infiltración básica de 60 y 62.9 mm/h, respectivamente. Esto indica la alta tasa de infiltración del campo, que fue dos veces más rápida que el valor estimado por la FAO para suelos arena franca (20-30 mm/h). La diferencia puede deberse a la textura gruesa y alto porcentaje de partículas de más de 2 mm (69 % de piedras) en el área experimental. La gran cantidad de macroporos y bajo contenido de arcilla provoca que se pierda más fácilmente el agua hacia las capas más profundas. Resultados similares de infiltración, se presentaron en el estudio realizado por Mohamadzade (2021) en olivo, en la que se reportó una velocidad de infiltración de 60 mm/h en un suelo de textura franco arenosa y con un contenido de grava de 67 % entre los 20 a 60 cm de profundidad

**Cuadro 44: Lámina acumulada y velocidad de infiltración obtenida (repetición 1)**

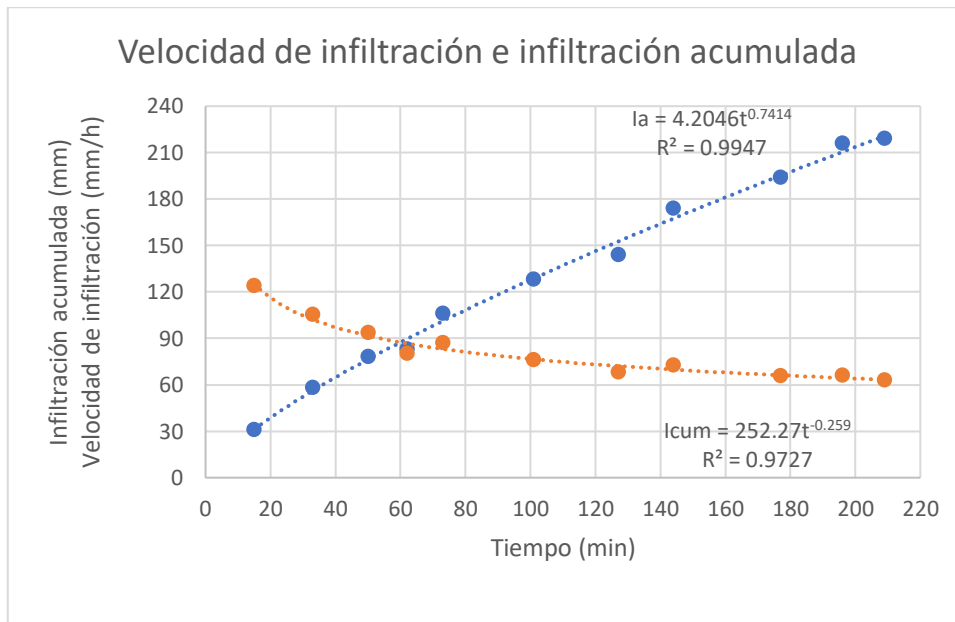
Tiempo parcial (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lámina Infiltrada (mm)	Lámina Acumulada (Ia) (mm)	Velocidad de Infiltración Acumulada (Icum) (mm/h)
0	0	0	0	0.0
15	15	33	33	132.0
15	30	11	44	88.0
18	48	20	64	80.0
11	59	9	73	74.2
10	69	20	93	80.9
5	74	2	95	77.0
23	97	25	120	74.2
26	123	20	140	68.3
17	140	10	150	64.3
11	151	1	151	60.0



**Figura 33: Velocidad de infiltración e infiltración acumulada (repetición 1)**

**Cuadro 45: Lamina acumulada y velocidad de infiltración (repetición 2)**

Tiempo parcial (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lámina Infiltrada (mm)	Lámina Acumulada (Ia) (mm)	Velocidad de Infiltración Acumulada (Icum) (mm/h)
0	0	0	0	0
15	15	31	31	124.0
18	33	27	58	105.5
17	50	20	78	93.6
12	62	5	83	80.3
11	73	23	106	87.1
28	101	22	128	76.0
26	127	16	144	68.0
17	144	30	174	72.5
33	177	20	194	65.8
19	196	22	216	66.1
13	209	3	219	62.9



**Figura 34: Velocidad de infiltración e infiltración acumulada (repetición 2)**

#### 4.1.6. Diseño de riego por goteo

##### a. Características del cultivo

Con respecto a las características del cultivo (Cuadro 46), el experimento se realizó en un lote de tara de 6 años. Los plantines procedieron de las semillas de una de las plantaciones del fundo de 20 años de edad.

El marco de plantación es de 3 m entre plantas y 3.5 m entre líneas (952 plantas/ha), con una profundidad de raíces absorbentes (en promedio) de 35 cm, sin embargo, se encontró una segunda capa de raíces entre los 70 a 90 cm de profundidad. Así mismo, se considera a la tara, un cultivo tolerante a las sales.

**Cuadro 46: Marco de plantación y profundidad de raíces del cultivo**

Cultivo tara de 6 años de edad		
Tolerante a sales		
Marco de plantación:		
entre plantas	m	3.0
entre líneas	m	3.5
Profundidad de raíces 1era capa ( $Pr_1$ )	mm	350
Profundidad de raíces 2da capa ( $Pr_2$ )	mm	900

##### b. Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>)

La evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) máxima, empleada para el diseño del sistema, es la registrada históricamente en el mes de enero (4.5 mm) y el factor de riego, es el asignado según tratamiento. En el Cuadro 29 se detallan los valores de fr.

##### c. Características del suelo

El área experimental total fue de 1,050 m<sup>2</sup>, sin embargo, para poder realizar el diseño del sistema solo se tomó en cuenta el área de los tratamientos con goteo de 892.5 m<sup>2</sup>.

La capacidad de campo (CC) utilizada para el diseño fue de 10%, el punto de marchitez (PM) 5% y la densidad aparente (da) de 1.758 gr/cm<sup>3</sup>. Se consideró, un porcentaje de agotamiento de 70 % y un porcentaje de piedras presente en la zona radicular de 69.6 %.

Con respecto a la conductividad eléctrica (C.E.) promedio en la zona de raíces, se calculó del promedio ponderado de los datos obtenidos en el análisis químico del suelo de la UNALM y

fue de 1.79 dS/m, así como el valor de pH de 7.7. En el Cuadro 47 se presenta un resumen de las características del suelo consideradas para el diseño agronómico.

**Cuadro 47: Resumen de las características del suelo tomadas en cuenta para el Diseño Agronómico**

Tipo de suelo	FrArcAo / AoFr	
Área con goteo	ha	892.5
Densidad aparente (da)	gr/cm <sup>3</sup>	1.76
Capacidad de Campo (CC)	%	10
Punto de Marchitez (PM)	%	5
Porcentaje Agotamiento (Ur)	%	70
Piedras (Pp)	%	69.6
CE suelo (0 a 200 mm)	dS/m	2.69
CE suelo (200 a 350 mm)	dS/m	0.59
CE suelo ponderada prof. raíz	dS/m	1.79
pH		7.7

**d. Características del Agua**

Del Cuadro 34, se ha elaborado el Cuadro 48, donde se presenta la C.E. y pH del agua de riego en época de avenida y en estiaje. El agua de estiaje presenta una mayor C.E. y menor pH que el agua de avenida, esto podría deberse a que son aguas de drenaje de las partes altas y medias de la cuenca.

**Cuadro 48: CE y pH del agua de riego**

Calidad de agua de riego			
C.E. época de Avenida (Dic - May)	dS/m	0.74	C2 - S1
C.E. época de Estiaje (Jun -Dic)	dS/m	2.14	C3 - S2
pH en avenida		9.39	
pH en estiaje		8.21	

**e. Características de los emisores**

El emisor seleccionado para el diseño del sistema de riego, fue el Eurodrip modelo PC2 cilíndrico con dos orificios de salida integrado a la manguera de riego, caudal (Qe) de 2.3 l/h y con una presión mínima de trabajo (P) de 5 m y máxima de 45 m y coeficiente de variabilidad de fábrica (CV) de 0.04. La información del gotero se puede ver en detalle en la Figura 35, Cuadros 49 y 50.



Con el coeficiente de variabilidad y el número de goteros por planta, pudo calcularse el coeficiente de uniformidad (CU=0.99) del diseño.

Tipo de gotero	Cylindrical PC
Compensación de presión	Sí
Caudales (l/h)	16 mm: 1,4, 2,3, 3,9 20 mm: 1,5, 2,3, 3,9
Diámetro (mm) de la pared de la tubería de goteo	16, 20
Espesor (mil) de la pared de la tubería de goteo	16 mm: 35, 40 mil 20 mm: 35, 40, 45, 47 mil
Color del tubo	Negro, marrón
Salida	Orificio   2 salidas estándar



**Figura 35: Información del gotero Eurodrip PC2**

FUENTE: Extraído de Eurodrip (2004).

**Cuadro 49: Rendimiento y distancia longitudinal máxima del gotero Eurodrip PC2**

Ø nominal (mm)	Espesor de pared (mil)	Ø interno (mm)	Presión de trabajo máxima (bar)	Bobina (m)	Caudales (l/h)	Longitudes de línea máximos   Calculadas con una presión de trabajo máxima   Pendiente: 0%   Separación entre goteros (cm)											
						15	20	25	30	33	40	50	60	75	80	90	100
					1,4	85	111	136	160	174	205	248	289	346	364	399	433
16	35	13,7	3,5	400	2,3	63	82	100	118	128	151	183	212	254	266	293	317
					3,9	43	56	69	81	88	104	125	145	174	182	201	218
					1,4	97	126	154	182	197	233	282	328	392	413	454	492
16	40	13,7	4,5	400	2,3	70	91	111	131	142	168	203	235	281	296	325	353
					3,9	49	63	78	91	99	117	141	164	197	206	227	246

FUENTE: Adaptado de Eurodrip (2004).

El distanciamiento entre goteros fue de 0.4 m y se dispusieron dos laterales por planta, es así que cada planta se regó con 15 goteros, haciendo un total de 1,275 goteros en toda el área experimental. En el Cuadro 50 se presenta las características del emisor seleccionado.

**Cuadro 50: Características del emisor**

Parámetro	Unid	Cantidad
Nº de laterales/hilera de planta	Nº	2
Gotero (Eurodrip PC2 0.4 x 2.3L)		
Presión de trabajo gotero min.	m	5
Presión de trabajo gotero máx.	m	45
Caudal emisor (Qe)	l/h	2.30
Separación de goteros	m	0.40
Nº goteros por planta	unid	15
Nº goteros/ área experimental	unid	1275
Coeficiente de variabilidad (CV)		0.04
Coeficiente de Uniformidad (CU)	%	0.99

#### f. Porcentaje de área mojada

Los resultados del diagnóstico previo, indican que el área mojada total del surco de riego fue de 0.81 m<sup>2</sup> (23.16 por ciento del área del marco de plantación), tal como se detalla en el Cuadro 51.

**Cuadro 51: Porcentaje de área mojada del surco de riego**

Longitud del Anillo (m)	Ancho del Surco (m)	Área mojada total/planta (m <sup>2</sup> )	Área Mojada Total (%)
3.86	0.21	0.81	<b>23.16</b>

Para el diseño del riego por goteo, se colocaron dos mangueras por hilera de planta, tratando de humedecer toda el área mojada que se venía regando por gravedad, para evitar el reacomodo de las raíces con el nuevo sistema y evitar la disminución del rendimiento, obteniéndose de esta forma, un porcentaje de área mojada de 21.76 %, resultado similar al obtenido en el diagnóstico previo.

#### g. Porcentaje de cobertura verde

Se estimó que el porcentaje de área foliar para el diseño, fue de 50% debido a que es el área aproximada que alcanza el árbol a mitad de su ciclo fenológico.

#### h. Cálculos del diseño agronómico y diseño hidráulico

A continuación, se presenta en forma detallada los pasos para el cálculo del diseño agronómico. En el Cuadro 52 se muestra el resumen de los resultados obtenidos:

- Cálculo de la capacidad de retención del suelo en base a parámetros hídricos (Ln)

$$Ln = 16.83 \text{ mm} = 168.3 \text{ m}^3/\text{ha}$$

- Cálculo de la capacidad de retención del suelo considerando el porcentaje de área mojada (Ln<sub>a.m</sub>):

$$Ln_{a.m} = 3.66 \text{ mm}$$

- Frecuencia de riego (Fr):

$$Fr = 0.81 \text{ días}$$

- Lámina neta recalculada Ln (rec):

$$Ln (\text{rec}) = 4.5 \text{ mm} = 45 \text{ m}^3/\text{ha}$$

- Cálculo de la Eficiencia de riego (Ef):

$$Ef = 91.08\%$$

- Lámina neta de riego (Lb):

$$Lb = 4.95 \text{ mm/día (al 100\% cobertura verde)}$$

$$Lb = 2.48 \text{ mm/día (al 50\% cobertura verde)}$$

- Cálculo del Volumen aplicado (Vol): Vol = 26.02 lt

- Tiempo de riego por planta / tratamiento (t)

Para el Tratamiento 1 (T<sub>1</sub>): t<sub>1</sub> = 45.2 min.

Para el Tratamiento 2 (T<sub>2</sub>): t<sub>2</sub> = 36.2 min.

Para el Tratamiento 3 (T<sub>3</sub>): t<sub>3</sub> = 27.1 min.

Para el Tratamiento 4 (T<sub>4</sub>): t<sub>4</sub> = 18.1 min.

Para el Tratamiento 5 (T<sub>5</sub>): t<sub>5</sub> = 9.00 min.

- Capacidad preliminar del sistema: Q = 0.615 l/s

**Cuadro 52: Resumen del Diseño Agronómico**

ETo máx.	ETo	mm/día	4.50
Área mojada (1 lateral)	Am	%	10.88
Área mojada (2 laterales)	Am	%	21.76
Cobertura verde	Cv	%	50.0
Lámina neta suelo (100% área mojada)	Ln	mm/día	16.83
Lámina neta del área mojada	Ln	mm/día	3.66
Frecuencia de riego real	Fr	día	0.81
Frecuencia de riego para diseño	Fr	día	1.00
Percolación profunda	Pp	%	8.00
Eficiencia de aplicación	Ef	%	91.08
Lámina bruta al 100% área foliar	Lb	mm/día	4.96
Lámina bruta al 50% área foliar	Lb	mm/día	2.48
Volumen diario/planta	V	l	26.02
Tiempo de riego (fr=1)	t	horas	0.75
Tiempo de riego (fr=1)	t	min	45.25
Capacidad preliminar del sistema	Q	l/s	0.615

Con respecto al diseño hidráulico, en el Cuadro 53 se presenta el resumen de los cálculos realizados.

La mayor pérdida de carga en el área experimental, fue en la manguera de conducción, debido a que la distancia del cabezal hasta los portlaterales de riego fue de 450 m, esta pérdida de carga fue de 37.7 m.

La carga dinámica total (CDT) fue de 45.6 m, es la suma de la presión al inicio del portlateral, más la pérdida en la conducción, más la pérdida en el cabezal (filtro de malla, accesorios y tubería de succión de la bomba) menos la diferencia topográfica de 1.8%.

Con este dato de CDT, el caudal del portlateral (caudal total) y el cálculo de la potencia mínima de trabajo de la bomba, se seleccionó la bomba de riego Pentax CMT214, trifásica de 2 HP (Figura 36). Dicha bomba, presenta una curva extremadamente plana, como se puede observar en la Figura 37, lo que garantizó presiones casi constantes cuando se variaba el caudal al cerrar las válvulas de los tratamientos a los que les correspondía menor tiempo de riego. Es así que cuando se requería regar todos los tratamientos a la vez ( $Q_{pl}=0.815 \text{ l/s} = 48.9 \text{ l/min}$ ), la presión de la bomba estaba en 50 m, conforme iba transcurriendo el tiempo de riego y se requería cerrar las válvulas de los tratamientos con menor ETo ( $Q_l=0.163 \text{ l/s} = 9.78 \text{ l/min}$ ), la presión de trabajo de la bomba se elevó hasta 52.5 m.

**Cuadro 53: Resumen Diseño Hidráulico**

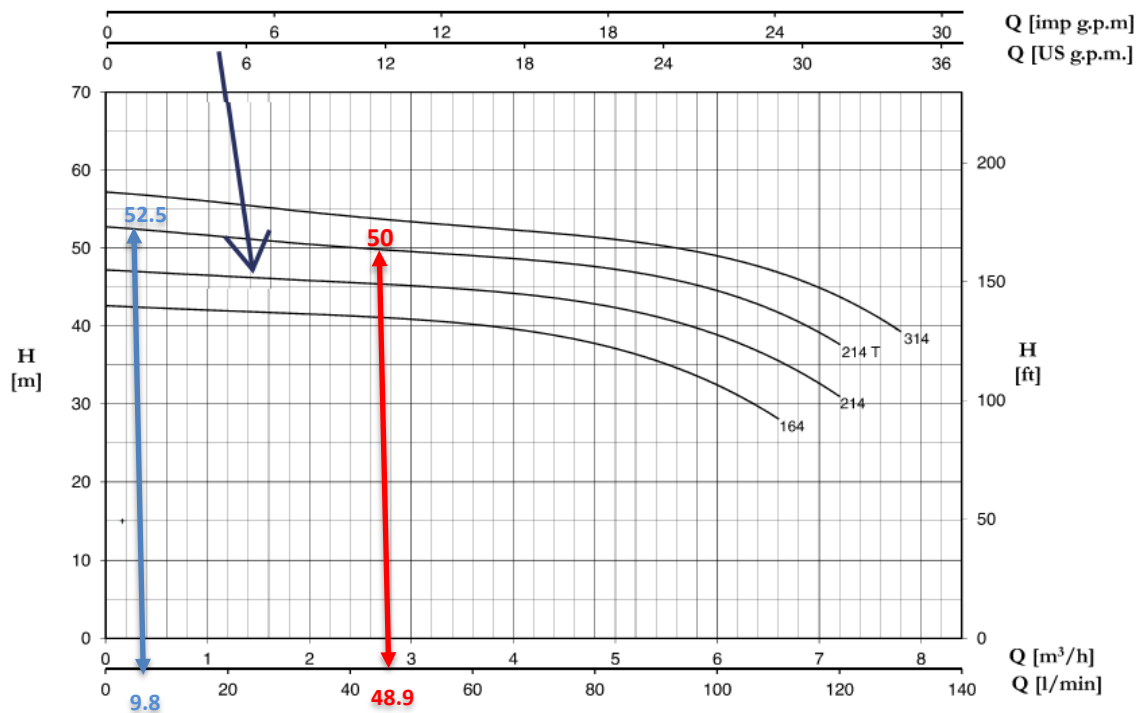
PARÁMETRO DE DISEÑO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR
Distanciamiento entre planta		m	3.0
Distanciamiento entre líneas		m	3.5
Separación de goteros	Se	m	0.4
N° plantas por línea de tratamiento		plantas	17
N° tratamientos		trat.	5
N° laterales x hilera de planta		lat.	2
N° goteros/lateral/planta		got/lat./ plant	7.5
N° goteros /planta		got/ plant	15
Caudal emisor	Qe	l/s	2.3
Caudal / planta	Qp	l/h/planta	34.5
<b>PRESIÓN AL INICIO DEL LATERAL</b>			
Caudal / lateral	Ql	l/h/lateral	293.25
Caudal / lateral	Ql	l/s/lateral	0.0815
Caudal / lateral x 2	Ql	l/s/lateral	0.163
Pendiente en el lateral (3.5%) Topografía a favor	Az(l)	m	1.75
Longitud lateral		m	51
Diámetro interno del lateral		mm	13.7
Diámetro externo del lateral		mm	16
Coeficiente Hazen-Williams	C		150
Longitud equivalente gotero	Leq.	m	0.1
Pérdida de carga en lateral en tubería ciega	J'(m)	m	1.64

«continuación»

Pérdida de carga en lateral en tubería ciega considerando la longitud equivalente	J(m)	m	2.05
Factor Christiansen	Fn		0.36
Pérdida de carga en lateral en tubería c/salida	hf	m	0.738
Presión de trabajo del gotero		m	7
Presión de trabajo al inicio del lateral		m	7
<b>PRESIÓN AL INICIO DEL PORTALATERAL</b>			
Caudal del portalateral	Qpl	l/s	0.815
Pendiente en el portalateral (1.8%) Topografía a favor	Az(p)	m	0.315
Longitud del portalateral	L	m	17.5
Diámetro interno manguera portalateral		mm	17
Diámetro externo manguera portalateral		mm	22
Pérdida de carga portalateral	J(m)	m	5.0
Presión de trabajo al inicio del portalateral (condición crítica)		m	10.0
<b>PRESIÓN AL INICIO DE LA TUBERIA DE CONDUCCIÓN</b>			
Caudal de conducción	Qc	l/s	0.815
Longitud tubería de conducción		m	450.0
Diámetro interno tubería conducción		mm	27
Diámetro externo tubería conducción PE		mm	32
<b>Pérdida de carga tubería conducción</b>	<b>hf(m)</b>	<b>m</b>	<b>37.7</b>
Pendiente en la tubería conducción (1.8%) Topografía a favor	Az(d)	m	8.1
<b>PRESIÓN DE TRABAJO AL INICIO DEL PORTALATERAL (condición crítica)</b>		m	10.0
<b>PRESIÓN AL INICIO DE LA TUBERIA DE CONDUCCIÓN</b>		m	39.6
<b>PÉRDIDAS EN EL CABEZAL</b>			
Pérdida carga filtro malla		m	2
Pérdida de carga accesorios	ha	m	2
Pérdida de carga en tubería de succión de la bomba	Ls	m	2
<b>PÉRDIDAS EN EL CABEZAL</b>		m	6
<b>CAUDAL Y CARGA DINAMICA TOTAL</b>			
Caudal	Qb	l/s	0.815
Carga Dinámica Total	CDT	m	45.6
Potencia de la bomba (24% Efb)		kw	1.5
Potencia del motor (61.5% Efm)		kw	2.44



**Figura 36: Electrobomba Pentax modelo CMT214**  
FUENTE: Extraído de Pentax serie CM (2020).



TYPE		P2		P1 (kW)		AMPERE		Q (m³/h - l/min)									
1~	3~	(HP)	(kW)	1~	3~	1~		0	1,2	2,4	3,6	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8
						1x220 V 60 Hz	3x380 V 60 Hz	0	20	40	60	80	90	100	110	120	130
								H (m)									
CM 164	CMT 164	1,5	1,1	1,93	1,83	9,24	3,57	42,6	42,0	41,3	40,1	38,0	35,6	32,2	28,2	-	-
CM 214	-	2	1,5	2,33	-	11,0	-	47,2	46,4	45,6	44,6	42,8	41,3	39,1	35,2	31,1	-
-	CMT 214	2	1,5	-	2,44	-	4,58	52,8	51,2	50,3	49,1	47,5	46,3	44,5	42,1	37,5	-
CM 314	CMT 314	3	2,2	3,01	2,78	14,5	5,31	57,3	55,4	54,3	53,1	51,3	50,0	48,7	47,5	43,9	39,1

**Figura 37: Curva de caudal y presión de la bomba Pentax CMT214**  
FUENTE: Extraído de Pentax serie CM (2020).

En la Figura 38 se detalla el croquis del sistema de riego por goteo en el área experimental, así como la fuente de agua y el cabezal de riego.

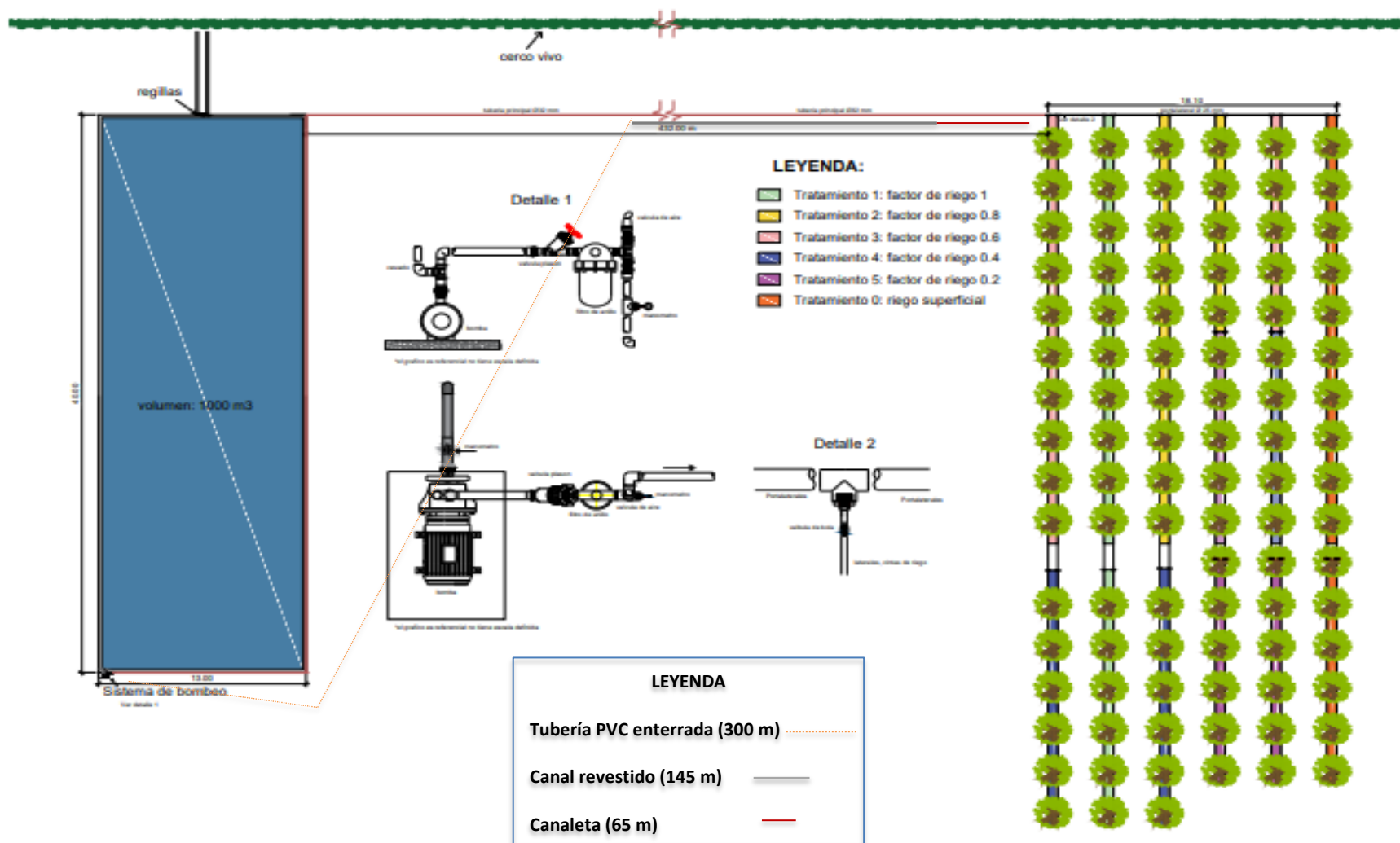


Figura 38: Croquis del sistema de riego en el área experimental

#### 4.1.7. Instalación del sistema de riego

##### a. Instalación de la tubería de conducción de 32 mm de diámetro

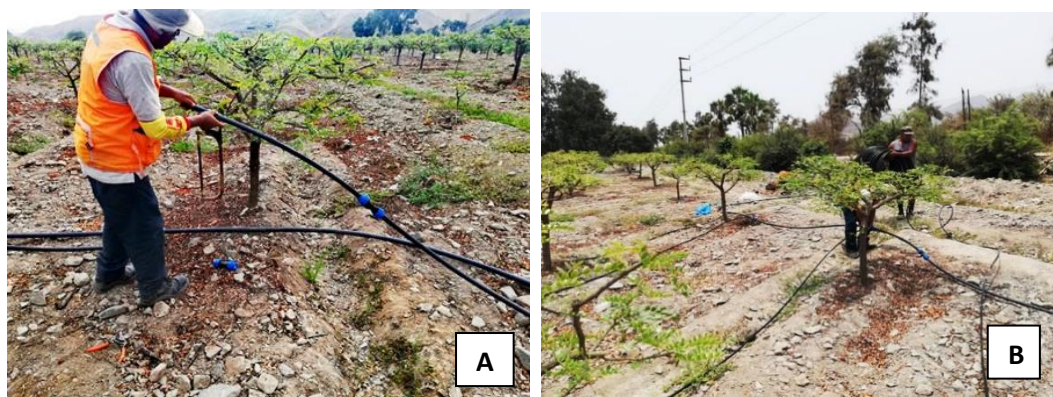
El primer paso en la instalación del sistema, fue tender los 450 m de tubería de conducción de PE desde la zona donde estuvo ubicado el cabezal de riego hasta el área del proyecto, tal como se muestra en la Figura 39.



**Figura 39: A: Desenrollado de la tubería de conducción. B: Tendido de la tubería de conducción**

##### b. Instalación del portalateral de 22 mm de diámetro y laterales de riego de 16 mm

Tendido del portalateral con sus respectivas Tees donde fueron insertados los laterales de riego (Figura 40A y 41B).

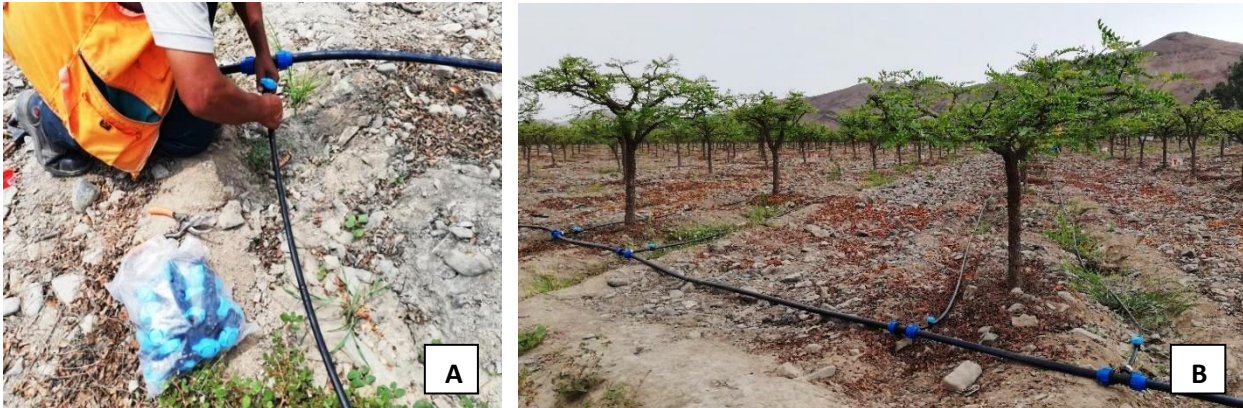


**Figura 40: A: Instalación de Tees en el portalateral. B: Tendido de los laterales**



### c. Instalación de las válvulas de paso (por tratamiento) en los laterales de riego

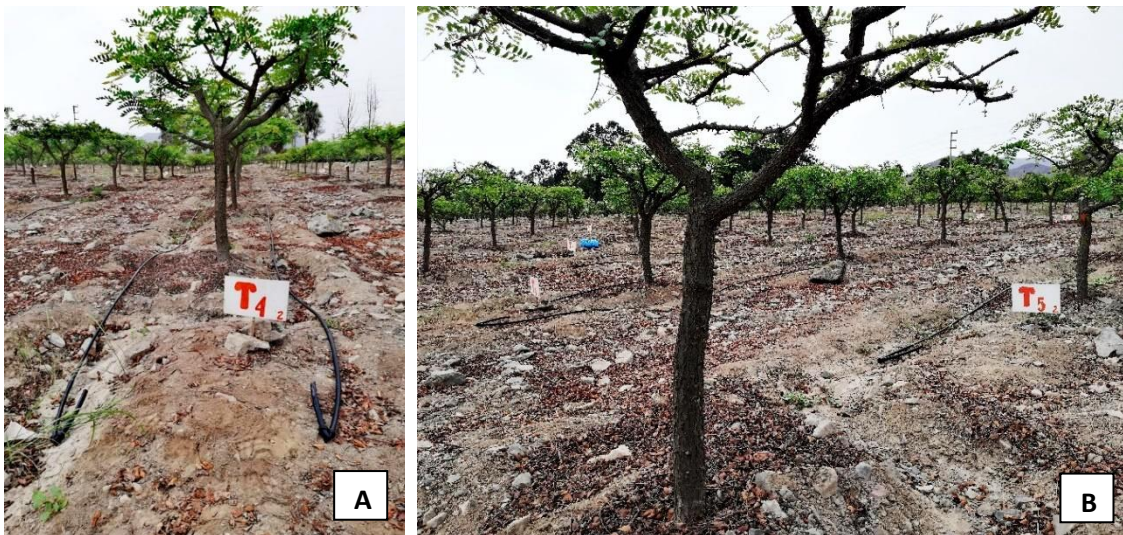
Instalación de las válvulas de paso en los tratamientos en estudio, tal como se aprecia en las Figuras 41A y 42B.



**Figura 41: A: Instalación de las válvulas de paso en los laterales de riego. B: Vista panorámica del portalateral con las mangueras de riego y sus válvulas respectivas**

### d. Instalación de los terminales de riego

En las Figuras 42A y 42B, se observa los terminales colocados en cada manguera de riego.



**Figura 42: Instalación de los terminales en los laterales de riego. B: Vista panorámica de las mangueras de riego con sus terminales**

### e. Presentación de la electrobomba y accesorios.

- Se perforó una de las paredes del reservorio para introducir la tubería de succión de la electrobomba, como se puede apreciar en la Figura 43.



**Figura 43: Reservorio y área de instalación del cabezal de riego**

- Se construyó la plataforma para anclar la electrobomba. Figura 44.



**Figura 44: Construcción de la plataforma de anclaje de la electrobomba**

- Instalación de los niples y de las uniones universales en la electrobomba (Figura 45A).
- Armado de la tubería de succión de 1.5" de diámetro e instalación de válvula Check (Figura 45B).



**Figura 45: A: Instalación de accesorios en la electrobomba. B: Tubería de succión**

f. Instalación de la electrobomba, tablero eléctrico y funcionamiento de todo el sistema de riego (Figura 46).



**Figura 46: Instalación del tablero eléctrico y electrobomba**

- Instalación del tablero a la conexión trifásica (Figura 47A).
- Instalación de la tubería de succión a la electrobomba instalada (Figura 47B).
- Se procedió con la prueba del sistema (Figura 48).



**Figura 47: A: Tablero eléctrico. B: Presentación de la electrobomba e instalación de tubería de succión**



**Figura 48: Prueba de funcionamiento del cabezal de riego**

- Después de instalado el cabezal de riego, se colocó la malla Raschel para proteger al cabezal del sol y la llovizna (Figura 49A y 49B).



**Figura 49: A: Cabezal de riego. B: Colocación de la malla Raschel en el cabezal de riego**

- Colocación de la malla Raschel a la válvula de paso y punto de prueba en el portalateral (Figura 50).



**Figura 50: Colocación de la malla Raschel al inicio del portalateral**

- Prueba de los emisores en el área experimental: formación de los bulbos de humedad (Figura 51 y 52).



**Figura 51: Prueba de emisores**



**Figura 52: Verificación del traslape de los bulbos**

#### 4.1.8. Manejo de algas en el reservorio

El incremento anormal de las algas en el reservorio, se produjo por el exceso de nutrientes traídos por el agua de avenida, la luminosidad y la elevada temperatura en el mes de enero (Temperatura promedio 26.2 °C). Al respecto, la primera medida tomada, fue la limpieza del reservorio con una malla para piscina, sin embargo, la alta velocidad de multiplicación del alga, no permitió una limpieza efectiva, como se aprecia en la Figura 53.



**Figura 53: Limpieza manual de las macroalgas del reservorio**

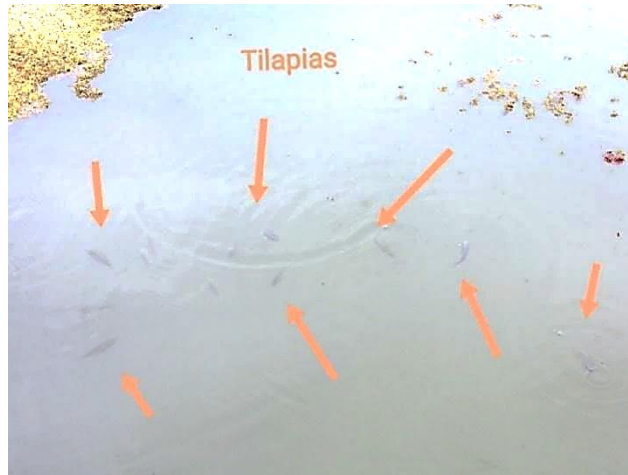
Por tal motivo, se optó por usar el control biológico, se incorporaron alevines de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) en la fuente de agua, con la finalidad de limpiar todas las macroalgas y evitar así, la obturación del filtro y los goteros.

El 11 de febrero del 2,020, se realizó la siembra de medio millar de alevines, adquiridos en la facultad de Pesquería de la UNALM.

A continuación, se presenta una secuencia de imágenes del estado inicial del reservorio (Figura 54 al 56), antes de la siembra de las tilapias hasta su limpieza total.



**Figura 54: A: Estado inicial del reservorio antes de la siembra de Tilapias. B: Imagen de las algas. Enero 2.020**



**Figura 55: Tilapias en el reservorio. Febrero 2,020**



**Figura 56: A: Cantidad de macroalgas en descenso, se notan espacios libres. Marzo 2,020. B: Estado del reservorio en abril 2,020. C: Estado del reservorio en junio 2,020. D: Estado del reservorio en octubre 2,020 en plena época de estiaje**

#### 4.1.9. Operación y mantenimiento del sistema

Las labores de mantenimiento se efectuaron periódicamente durante toda la etapa experimental, se realizaron controles y evaluaciones de la uniformidad en la operación del sistema de riego.

Se midió la presión en el sistema por medio de la instalación de un manómetro fijo, inmediatamente después de la bomba y un punto de prueba para la instalación de un manómetro portátil, después del filtro. Así mismo se colocó un punto de prueba al final de la tubería principal antes del portalateral. La finalidad fue la de comparar la presión en todo el sistema de riego con la presión calculada en el diseño y garantizar las presiones y caudales en el área experimental.

Cabe mencionar, que antes de la instalación de los manómetros, se procedió con la verificación y calibración de los mismos. La presión de trabajo a la entrada del sistema de riego se trató de mantenerla entre los 10 y 15 m, para asegurar la presión de trabajo de los goteros (rango de trabajo 7 – 45 m) (Figura 57).



**Figura 57: Medición de presión en el portalateral**

La diferencia de presión antes y después del filtro, fue de un metro como se muestra en la Figura 58.





**Figura 58: Medición de presión antes y después del filtro**

Se realizó la medición del caudal empleado en cada riego, por medio del registro de las lecturas de la válvula volumétrica (caudalímetro) y se compararon con el caudal del diseño. La variación en el caudal fue aproximadamente de 2% (Figura 59).



**Figura 59: Lecturas del caudalímetro**

Además, se realizaron lavados periódicos al filtro de riego en una solución de hipoclorito de sodio al 1%. La limpieza fue una vez por semana en forma manual y consistió en desmontar el filtro y sumergirlo en un balde con la solución, tal como se puede observar en la Figura 60.



**Figura 60: Secuencia del lavado del filtro de anillos**

Por otro lado, se colocó una malla metálica alrededor de la válvula Check, para controlar la entrada de las algas, que aún pudiera haber en el reservorio, tal como se aprecia en la Figura 61.



**Figura 61: Limpieza de la malla de la válvula Check**

Se desatoraron manualmente algunos goteros obstruidos por la presencia de mucílago y carbonatos, utilizando un paño empapado con ácido, debido a que el área experimental era un área pequeña y se podía realizar dicha práctica (Figuras 62 al 64).



**Figura 62: Mucílago en laterales de riego**



**Figura 63: Carbonato en laterales de riego**



**Figura 64: Secuencia de la limpieza de los laterales de riego**

Con una frecuencia de 90 días aproximadamente se realizaron las pruebas de coeficiente de uniformidad (CU). La primera prueba realizada fue el 4 de marzo del 2020, después de asegurarnos del correcto funcionamiento del sistema. Dicha prueba arrojó un CU de 96.46 %. La segunda prueba tuvo un CU de 80.9%, que para INTAGRI (2017) (Cuadro 54) es considerado como un valor aceptable, sin embargo, por la gran cantidad de macroalgas aún existentes en el reservorio, esto pudo ocasionar las obturaciones; a partir de ese momento se efectuaron las evaluaciones de CU con una mayor frecuencia. En el Cuadro 55 y Figura 65, se detalla los resultados de las pruebas de CU realizadas durante la fase experimental.

Antes de cada prueba de CU, se procedió a la apertura de la línea del portalateral y de todos los terminales de las mangueras de riego, hasta que el agua saliera limpia por dos minutos. Seguidamente, se colocaron los terminales de línea (ochos) y se procedió con la prueba de CU.

En la Figura 66, se puede observar el agua con sedimentos al abrir el terminal de riego.

**Cuadro 54: Categorías para evaluar el coeficiente de uniformidad (CU)**

<b>Categoría</b>	<b>CU (%)</b>
<b>Excelente</b>	> 94
<b>Buena</b>	86-94
<b>Aceptable</b>	80-86
<b>Pobre</b>	70-80
<b>Inaceptable</b>	< 70

FUENTE: Extraído de INTAGRI (2017).

**Cuadro 55: Pruebas de coeficiente de uniformidad (CU)**

<b>Fecha</b>	<b>CU (%)</b>	<b>Observaciones</b>
4/03/2020	96.44	Prueba inicial. CU excelente.
22/05/2020	80.90	Obtención de algunos goteros, se procedió con la limpieza manual en forma más frecuentes. CU aceptable.
2/06/2020	93.00	Limpieza adecuada. CU bueno.
24/07/2020	95.90	Limpieza adecuada. CU excelente.
18/09/2020	96.73	Limpieza adecuada. CU excelente.



**Figura 65: Procedimiento de la medición del CU**



**Figura 66: Limpieza de los terminales de riego**

#### **4.1.10. Inversión inicial del sistema de riego y actividades/obras complementarias**

La inversión inicial de materiales, equipo e instalación del sistema de riego para la elaboración del trabajo experimental en un área comprendida en 892.5 m<sup>2</sup>, ascendió a S/ 4,321.1. No se consideró los costos del reservorio ni de las instalaciones eléctricas del sistema de distribución (costos hundidos) (Cuadro 60) los cuales han sido divididos en:

- La inversión inicial de los materiales necesarios para la instalación de la parcela experimental (tuberías y mangueras, electrobomba, filtro, Tees, válvulas, uniones, etc.). En el Cuadro 56 se indica el detalle.
- La inversión inicial de los materiales complementarios relacionados con el sistema eléctrico y los costos adicionales requeridos durante la realización del experimento (tablero eléctrico, reja y accesorios para la instalación de la bomba, manómetros y agujas para manómetro adicionales, etc.) (Cuadro 57).
- Los costos de la mano de obra para la instalación del sistema, se señala en el Cuadro 58.
- Además, se precisa los costos de la instalación del tanque tipo A, necesario para la evaluación de la ETo en campo (Cuadro 59).

**Cuadro 56: Inversión de los materiales del sistema de riego en 892.5 m<sup>2</sup>**

ITEM	DESCRIPCION DEL BIEN/PRODUCTO	UND	CANT.	P. UNIT.	P. PARCIAL	P. TOTAL	
1	MANGUERA PC 16 MM /25 MIL /2.3 LPH/0.4 M/500 MT	ROLLO	1	360.00	360.00	<b>2,698.10</b>	
2	MANGUERA DE 25 MM X 100 MT C-4	ROLLO	1	60.00	60.00		
3	MANGUERA DE 32 MM X 100 MT C-4	ROLLO	5	95.00	475.00		
4	CONECTOR REDUCIDO COMPRESION 32 X25 MM	UND	1	3.50	3.50		
56	CONECTOR COMPRESION 32 X32MM	UND	5	3.50	17.50		
7	TEE DE COMPRESION DE 25 X3/4 X25	UND	12	4.50	54.00		
8	TEE DENTADO DE 16 MM X 16 MM	UND	25	0.40	10.00		
9	FINAL DE LINEA DE 16 MM TIPO 8	UND	12	0.25	3.00		
10	VALVULA RAMAL DE 16 MM	UND	32	1.80	57.60		
	ELECTROBOMBA PENTAX (Italia), MODELO CMT214, 2.2 HP, 220/380 TRIFASICO, 60 hz, CONEXIONES 1 1/4"x1"	UND	1	1320.00	1320.00		
12	FILTRO MODULAR ANILLA DE 2"- AZUD	UND	1	70.00	70.00		
13	MANOMETRO DE GLICERINA DE 10 BAR	UND	1	30.00	30.00		
15	VALVULA DE AIRE DE 1" D/E	UND	1	70.00	70.00		
17	PUNTO DE PRUEBA	UND	2	7.00	14.00		
18	BUSHING DE 1/2 A 1/4"	UND	2	2.00	4.00		
19	ABRAZADERA DE 1 A 1/2"	UND	2	3.00	6.00		
20	VALVULA ESFERICA DE 1" SANKING	UND	1	9.00	9.00		
21	VALVULA CHECK VERTICAL CON CANASTILLA DE 1". BRONCE	UND	1	25.00	25.00		
22	ADAPTADOR UPR DE 1"	UND	8	2.50	20.00		
23	UNION UNIVERSAL DE 1" R/HEMBRA -SANKING	UND	2	9.00	18.00		
24	REDUCCION PVC DE 2 A 1" SP	UND	2	5.00	10.00		
25	UNION DE 2" HEMBRA	UND	2	10.00	20.00		
26	UNION COMPRESION DE 1 A 32 MM R/H	UND	1	3.00	3.00		
27	UNION DE 1" ROSCA HEMBRA	UND	2	3.50	7.00		
28	CODO DE 1" SP	UND	3	3.50	10.50		
29	TEFLON	UND	1	1.00	1.00		
30	PEGAMENTO DORADO DE 16 OZ (473 ML)	UND	1	20.00	20.00		
<b>TOTAL EN SOLES INCLUIDO IGV</b>					<b>SI.</b>		<b>2,698.10</b>

**Cuadro 57: Inversión de los materiales complementarios utilizados en el sistema de riego en 892.5 m<sup>2</sup>**

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL BIEN / PRODUCTO	UNID.	CANT.	P. UNIT.	P. PARCIAL	P. TOTAL
1	ANCLAJES PARA ELECTROBOMBA	UND	2	2.50	5.00	<b>797.00</b>
2	REJA PARA ELECTROBOMBA	UND	1	170.00	170.00	
3	ACCESORIOS INSTALACION BOMBA	UND	1	150.00	150.00	
4	ADAPTADOR DE 3/4 a 16 MM	UND	12	5.00	60.00	
5	CODO DE COMPRESION DE 32 x 32	UND	2	4.00	8.00	
6	UNION COMPRESION DE 32 x 1	UND	1	3.00	3.00	
7	ENLACE COMPRESION DE 25 x 3/4	UND	1	4.00	4.00	
8	AGUJA MANOMETRO	UND	3	12.00	36.00	
9	BUSHING DE 2 a 1	UND	2	4.00	8.00	
10	MANOMETRO	UND	1	30.00	30.00	
11	VÁLVULA VOLUMETRICA	UND	1	55.00	55.00	
12	TABLERO ELECTRICO DE COMANDOS	UND	1	200.00	200.00	
13	PUNTOS DE PRUEBA	UND	4	7.00	28.00	
14	SIERRA COPA	UND	1	10.00	10.00	
15	BUSHING DE 32 mm x 1/2"	UND	4	4.00	16.00	
16	PEGAMENTO OATEY VERDE	UND	2	7.00	14.00	
<b>TOTAL EN SOLES INCLUIDO IGV</b>					<b>SI.</b>	<b>797.00</b>

**Cuadro 58: Costo de mano de obra de la instalación del sistema de riego en 892.5 m<sup>2</sup>**

ITEM	DESCRIPCIÓN DE MANO DE OBRA	UNID.	CANT.	P. UNIT.	P. PARCIAL	P. TOTAL
1	INSTALACIÓN DEL TABLERO DE MANDO	JOR	1	100.00	100.00	380.00
2	TENDIDO DE MANGUERAS	JOR	4	50.00	200.00	
3	MOVILIDAD COMPRA MATERIALES	JOR	2	40.00	80.00	
<b>TOTAL EN SOLES INCLUIDO IGV</b>					<b>S/.</b>	<b>380.00</b>

**Cuadro 59: Costo de la elaboración del tanque tipo A**

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL BIEN / PRODUCTO	UNID.	CANT.	P. UNIT.	P. PARCIAL	P. TOTAL
1	BATEA GALVANIZADA EN LAMINA 0.8 MM Y PINTADO	UND	1	320.00	320.00	446.00
2	PALET DE MADERA	UND	1	20.00	20.00	
3	MALLA METÁLICA	M	4	25.00	100.00	
4	JARRA PLASTICA GRADUADA	UND	2	3.00	6.00	
<b>TOTAL EN SOLES INCLUIDO IGV</b>					<b>S/.</b>	<b>446.00</b>

**Cuadro 60: Inversión total de la instalación del sistema de riego en 892.5 m<sup>2</sup>**

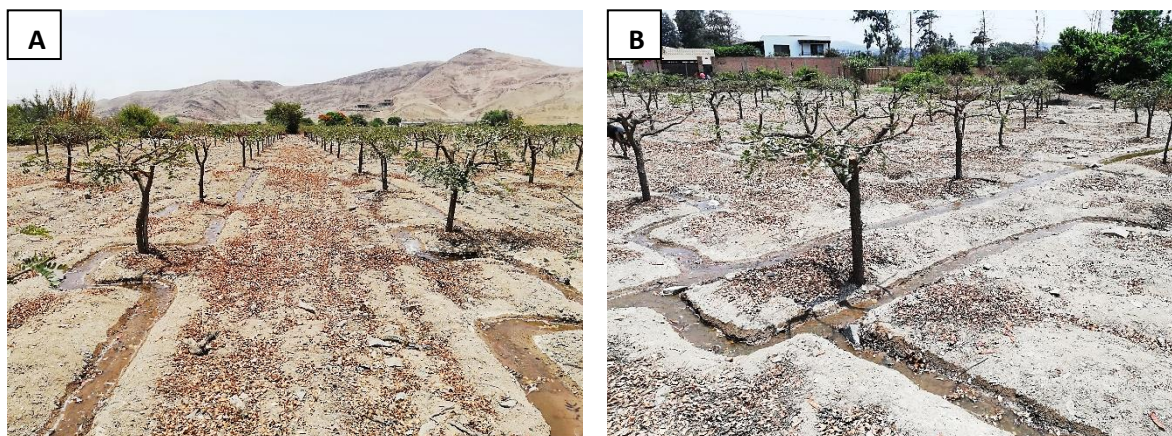
<b>INVERSIÓN DEL SISTEMA RIEGO Y ACTIVIDADES/OBRAS COMPLEMENTARIAS</b>	<b>S/.</b>	<b>4,321.10</b>
------------------------------------------------------------------------	------------	-----------------

## 4.2. EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE SISTEMA DE RIEGO POR GRAVEDAD A GOTEO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CULTIVO DE TARA

### 4.2.1. Eficiencia del riego por gravedad y del riego por goteo

#### a. Eficiencia del riego por gravedad (T0)

En la Figura 67A se aprecia la orientación y conformación de los surcos en el riego por gravedad. El riego de la primera patilla de riego se enlaza con la segunda patilla, como se observa en la Figura 67B, de tal manera que el desagüe de la primera es aprovechado en la segunda.



**Figura 67: Riego por gravedad. A: Orientación de los surcos de riego. B: Empalme del riego de la primera a la segunda patilla de riego**

Durante el desarrollo de la investigación, se aplicaron 20 riegos por gravedad.

El primer riego, de ruptura de agoste y el último riego, se aplicaron a todos los tratamientos en estudio. La finalidad de este último riego, fue el lavado de sales acumulado durante toda la campaña, la cual se realizó con el agua de avenida del río Lurín.

En el Cuadro 60 se puede observar, la frecuencia de riego promedio fue de 14 días, el tercer riego se realizó a los 7 días del anterior, debido a la realización de la fertilización de fondo y se requería la dilución del fertilizante.

Los primeros riegos previos a la floración (antes de mediados de abril), fueron más distanciados por criterio de manejo del cultivo, debido a que se ha observado en campañas anteriores, cuando se realizaban riegos más frecuentes (riegos semanales), se tenía problemas de envejecimiento y disminución de la cantidad de inflorescencias.

La lámina bruta de riego por gravedad aplicada durante el experimento, fue de  $5,232 \text{ m}^3/\text{ha}$  con un promedio de  $275 \text{ m}^3/\text{ha}$  por riego (Cuadro 61).

Con respecto a las pérdidas por conducción, ésta se calculó según el material de conducción del agua. Es así que, desde el reservorio hasta el inicio de la parcela experimental, el agua se trasladaba por medio de una tubería enterrada que partía de la salida del reservorio, atravesaba una de las plantaciones de tara y salía hacia la cabecera, mediante una tubería de 300 m de PVC de 6", a continuación, el agua se conducía por un canal revestido de cemento con una longitud de 145 m y en el último tramo, mediante una canaleta sin revestir de 65 m (Figura 38).



Aplicando la fórmula de porcentaje de pérdida de agua/ km de canal (P):

$$P \text{ canaleta revestida} = 0.7/(Q)^{0.3}$$

$$P \text{ canaleta sin revestir} = 3.4/(Q)^{0.5}$$

Las pérdidas por conducción en la tubería de PVC, se consideraron como nulas. El canal revestido tuvo una longitud de 145 m de largo (0.145 km), el promedio de la pérdida de agua en ese tramo, fue de 0.32 %. La longitud del canal sin revestir fue de 65 m de largo (0.065 km), la pérdida de agua promedio, fue de 1.50 %. Por tanto, la pérdida por conducción es la suma de ambos tramos, siendo el promedio ponderado de 1.82 %, lo que significa que se perdió por conducción, 4.92 m<sup>3</sup> por riego, como se indica en el Cuadro 61.

**Cuadro 61: Cálculo de la pérdida por conducción según material del canal**

N° riegos	Fecha	Q m <sup>3</sup> /s	Canaleta revestida (% pérdida agua/km)	Canaleta revestida (% pérdida agua/0.145 km)	Canaleta sin revestir (% pérdida agua/km)	Canaleta sin revestir (% pérdida agua/0.065 km)	Pérdida por conducción (%)	Pérdida de agua por conducción (m <sup>3</sup> )
1	6/02/2020	0.019	2.28	0.33	24.40	1.59	1.92	4.33
2	5/03/2020	0.041	1.83	0.27	16.84	1.09	1.36	4.56
3	12/03/2020	0.050	1.72	0.25	15.18	0.99	1.24	5.10
4	15/04/2020	0.021	2.23	0.32	23.48	1.53	1.85	5.32
5	5/05/2020	0.058	1.65	0.24	14.17	0.92	1.16	3.98
6	20/05/2020	0.019	2.28	0.33	24.36	1.58	1.91	4.94
7	1/06/2020	0.017	2.39	0.35	26.37	1.71	2.06	5.32
8	16/06/2020	0.014	2.51	0.36	28.55	1.86	2.22	6.55
9	2/07/2020	0.019	2.29	0.33	24.49	1.59	1.92	5.25
10	14/07/2020	0.021	2.24	0.33	23.65	1.54	1.86	4.81
11	27/07/2020	0.022	2.21	0.32	23.02	1.50	1.82	5.43
12	7/08/2020	0.021	2.23	0.32	23.51	1.53	1.85	4.78
13	13/08/2020	0.018	2.34	0.34	25.42	1.65	1.99	6.19
14	21/08/2020	0.018	2.33	0.34	25.24	1.64	1.98	3.94
15	29/08/2020	0.018	2.34	0.34	25.40	1.65	1.99	4.40
16	9/09/2020	0.019	2.32	0.34	24.98	1.62	1.96	4.48
17	18/09/2020	0.021	2.22	0.32	23.24	1.51	1.83	4.12
18	23/09/2020	0.022	2.20	0.32	22.93	1.49	1.81	4.91
19	21/10/2020	0.020	2.27	0.33	24.17	1.57	1.90	5.16
20	16/12/2020	Lavado sales						
<b>Prom/riego</b>		<b>0.024</b>	<b>2.20</b>	<b>0.32</b>	<b>23.13</b>	<b>1.50</b>	<b>1.82</b>	<b>4.92</b>

El Cuadro 62, muestra la lámina requerida al 100 % de la ETo de 5,947.7 m<sup>3</sup>/ha y la lámina bruta a nivel de campo fue 5,138.1 m<sup>3</sup>/ha, comparado ambos valores, se puede determinar que el riego por gravedad aplicado correspondió al 86 % de la ETo (5,138 / 5,948 x 100).

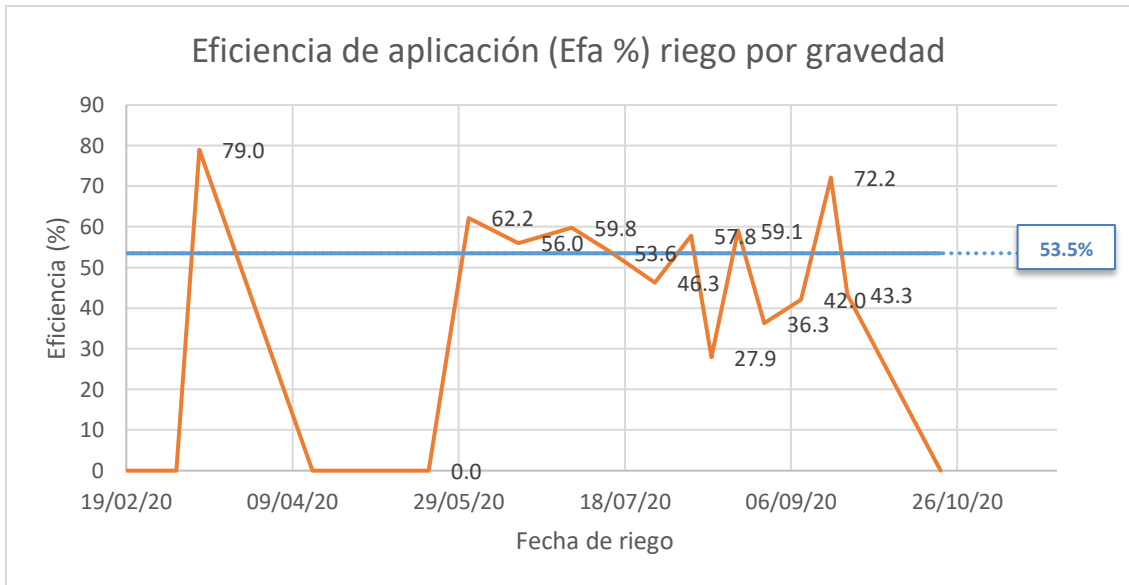
Con respecto a la eficiencia de aplicación (Efa), esta se calculó mediante la ecuación:

$$Efa = \frac{\text{Lamina neta} \times 100}{\text{Lámina bruta}}$$

Se obtuvo una eficiencia de aplicación (Efa) promedio de 53.5 %. Según FAO (1990), la eficiencia obtenida, está dentro del rango de clasificación de manejo bueno (50 – 75%).

**Cuadro 62: Eficiencia de aplicación del riego por gravedad**

N° riegos	Fecha	Frec. riego (días)	Lámina bruta total (m <sup>3</sup> /ha)	Perdida de agua por conducción (m <sup>3</sup> )	Lámina bruta a nivel campo (m <sup>3</sup> /ha)	ETo Acumulado Lámina neta (mm)	ETo Acumulado Lámina neta (m <sup>3</sup> /ha)	Diferencia entre Lam. Bruta a nivel campo y Lam. neta (m <sup>3</sup> /ha)	Eficiencia aplicación (Efa %)	Observación
1	6/02/2020	0	226.07	4.33	221.74	0	0.00	0.00		
2	5/03/2020	28	335.50	4.56	330.94	127.86	1,278.60	-947.66		Riego Déficit
3	12/03/2020	7	412.90	5.10	407.80	32.21	322.10	85.70	78.98	
4	15/04/2020	34	287.56	5.32	282.24	119.22	1,192.20	-909.96		Riego Déficit
5	5/05/2020	20	342.86	3.98	338.88	68.32	683.20	-344.32		Riego Déficit
6	20/05/2020	15	258.06	4.94	253.12	35.47	354.70	-101.58		Riego Déficit
7	1/06/2020	12	258.06	5.32	252.75	15.72	157.20	95.55	62.20	
8	16/06/2020	15	294.93	6.55	288.38	16.15	161.50	126.88	56.00	
9	2/07/2020	16	272.81	5.25	267.56	16.00	160.00	107.56	59.80	
10	14/07/2020	12	258.45	4.81	253.64	13.59	135.90	117.74	53.58	
11	27/07/2020	13	299.08	5.43	293.65	13.59	135.90	157.75	46.28	
12	7/08/2020	11	258.22	4.78	253.44	14.65	146.50	106.94	57.81	
13	13/08/2020	6	310.53	6.19	304.35	8.50	85.00	219.35	27.93	
14	21/08/2020	8	199.08	3.94	195.14	11.54	115.40	79.74	59.14	
15	29/08/2020	8	221.20	4.40	216.80	7.86	78.60	138.20	36.26	
16	9/09/2020	11	228.57	4.48	224.09	9.42	94.20	129.89	42.04	
17	18/09/2020	9	224.88	4.12	220.76	15.93	159.30	61.46	72.16	
18	23/09/2020	5	271.46	4.91	266.55	11.54	115.40	151.15	43.29	
19	21/10/2020	28	271.46	5.16	266.30	57.20	572.00	-305.70		Riego Déficit
20	16/12/2020									Lavado sales
<b>Total</b>			<b>5,231.69</b>	<b>93.57</b>	<b>5,138.12</b>	<b>594.77</b>	<b>5,947.70</b>	<b>-1031.31</b>		
<b>Prom/riego</b>		<b>14</b>	<b>275.35</b>	<b>4.92</b>	<b>270.43</b>	<b>31.30</b>	<b>313.04</b>	<b>-54.28</b>	<b>53.50</b>	



**Figura 68: Eficiencia de aplicación en el riego por gravedad a través del tiempo**

En la Figura 68 y Figura 69, se observa cómo fue la eficiencia de aplicación a través del tiempo y una imagen del riego por gravedad en el área experimental, respectivamente. La eficiencia de aplicación de 53.5% obtenida está considerada como una eficiencia buena, a pesar de la textura gruesa, el alto porcentaje de piedras y la pendiente topográfica en sentido de los surcos de 3.5%.



**Figura 69: Riego por gravedad**

## b. Eficiencia riego por goteo

El primer riego aplicado a los tratamientos por goteo (T<sub>1</sub> al T<sub>5</sub>), fue el de ruptura de agosto y se realizó por gravedad.

El siguiente riego se dio al 100 % de la ETo, a los 27 días del primero. Con la finalidad de que todos los tratamientos inicien con las mismas condiciones de almacenaje de agua en el suelo.

Del 18 de marzo hasta el 27 de octubre, se realizaron los riegos diferenciados según la ETo asignada por tratamiento.

En diciembre se dio un riego adicional por gravedad a todos los tratamientos, para lavar las sales con agua de avenida. En el Cuadro 63 se señala la fecha, lámina aplicada según tratamiento y observaciones del riego.

El T<sub>1</sub> (100% ETo) recibió durante toda la campaña, una lámina de riego de 5,171 m<sup>3</sup>/ha, el T<sub>2</sub> (80% ETo), 4,304 m<sup>3</sup>/ha, el T<sub>3</sub> (60% ETo) 3,438 m<sup>3</sup>/ha, el T<sub>4</sub> (40% ETo) 2,572 m<sup>3</sup>/ha y el T<sub>5</sub> (20% ETo) 1,706 m<sup>3</sup>/ha.

Con respecto a la eficiencia del sistema de riego, este fue monitoreado permanentemente con la revisión y mantenimiento del sistema, así mismo se realizaron pruebas para medir el coeficiente de uniformidad (CU) de los emisores. En el Cuadro 64 se detallan los valores de CU obtenidos.

**Cuadro 63: Lámina aplicada en el riego por goteo según tratamiento**

FECHA	100% ETo (T1)	80% ETo (T2)	60% ETo (T3)	40% ETo (T4)	20% ETo (T5)	Observación
6/02/2020	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	Riego por gravedad. Riego Ruptura de agosto.
4 al 17/03/20	61.36	61.36	61.36	61.36	61.36	Riego por goteo, igual para todos los tratamientos, por pruebas al sistema de riego y misma lámina inicial.
18/03/20 al 27/10/20	433.09	346.47	259.85	173.24	86.62	Riego por goteo diferenciado por tratamiento
16/12/2020						Riego por gravedad. Lavado de sales.
<b>Total (mm)</b>	<b>517.05</b>	<b>430.43</b>	<b>343.81</b>	<b>257.20</b>	<b>170.58</b>	
<b>Total (m3/ha)</b>	<b>5,170.50</b>	<b>4,304.32</b>	<b>3,438.14</b>	<b>2,571.96</b>	<b>1,705.78</b>	

**Cuadro 64: Pruebas de CU del riego por goteo**

Fecha de la prueba	CU (%)
4/03/2020	96.45
22/05/2020	80.93
2/06/2020	93.03
24/07/2020	95.90
18/09/2020	96.73
<b>Prom</b>	<b>92.61</b>

La eficiencia de riego (Ef) del diseño del sistema, se calculó en base al coeficiente de uniformidad (CU=99%), al coeficiente de variabilidad del emisor (CV=0.04), número de emisores por planta (15 goteros) y del porcentaje de percolación profunda (PP=8%), siendo la eficiencia de riego de diseño de 91.08%. Por investigaciones previas, se ha determinado que la tara es tolerante a las sales (Asociación Pro-Desarrollo Agroindustrial Camaná, 2013) por tal motivo se está considerando la percolación profunda como lámina por reponer, considerando que el suelo en estudio es de textura arena franca y tener abundantes piedras (69.6 %).

FAO (1990), clasifica la eficiencia de riego según manejo. Un manejo bueno del sistema de riego por goteo, la eficiencia debe estar entre 60 a 85 %, por lo tanto, la eficiencia obtenida supera este rango.

#### **4.2.2. Láminas y tiempo de riego para los diferentes tratamientos por goteo**

En base a los cálculos hidráulicos y a la lectura diaria del Tanque A, se pudo realizar los cálculos de ETo y hacer la programación de riego por tratamiento, tal como se muestra en el Cuadro 65.

**Cuadro 65: Tiempos de riego en función de la reposición de agua en el tanque tipo A (ET<sub>o</sub>) según tratamiento**

Reposición de agua en Tanque A (lt) *	ET <sub>o</sub> (mm)	FACTOR RIEGO (Tiempo riego min)				
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
		100% ET <sub>o</sub>	80% ET <sub>o</sub>	60% ET <sub>o</sub>	40% ET <sub>o</sub>	20% ET <sub>o</sub>
		1	0.8	0.6	0.4	0.2
1.0	0.71	7.2	5.7	4.3	2.9	1.4
1.3	0.92	9.3	7.5	5.6	3.7	1.9
1.5	1.06	10.8	8.6	6.5	4.3	2.2
1.7	1.20	12.2	9.7	7.3	4.9	2.4
2.0	1.42	14.4	11.5	8.6	5.7	2.9
2.3	1.63	16.5	13.2	9.9	6.6	3.3
2.5	1.77	17.9	14.4	10.8	7.2	3.6
2.7	1.91	19.4	15.5	11.6	7.7	3.9
3.0	2.12	21.5	17.2	12.9	8.6	4.3
3.3	2.34	23.7	19.0	14.2	9.5	4.7
3.5	2.48	25.1	20.1	15.1	10.0	5.0
3.7	2.62	26.6	21.2	15.9	10.6	5.3
4.0	2.83	28.7	23.0	17.2	11.5	5.7
4.3	3.04	30.8	24.7	18.5	12.3	6.2
4.5	3.19	32.3	25.8	19.4	12.9	6.5
4.7	3.33	33.8	27.0	20.3	13.5	6.8
5.0	3.54	35.9	28.7	21.5	14.4	7.2
5.3	3.75	38.0	30.4	22.8	15.2	7.6
5.5	3.89	39.5	31.6	23.7	15.8	7.9
5.7	4.04	41.0	32.8	24.6	16.4	8.2
6.0	4.25	43.1	34.4	25.8	17.2	8.6

\* Se repone el agua en forma diaria hasta completar el nivel de 25 cm.

#### 4.2.3. Evaluación de los parámetros agronómicos del cultivo

##### a. Labores culturales realizadas

##### a.1. Abonamiento

El abonamiento de la parte experimental se realizó en junio del 2019. Se aplicó estiércol de vacuno a razón de 10 kg por planta (Figuras 70 y 71).



**Figura 70: Distribución del estiércol de vacuno en campo**



**Figura 71: Pasos del abonamiento: A: Distribución en campo. B: Mezcla del estiércol de vacuno con la tierra del hoyo. C: Incorporación de la mezcla el hoyo. D: Tapado del hoyo**

A continuación (Cuadro 66), se presenta el análisis de materia orgánica realizado en el laboratorio de Agua, Suelo, Planta y Fertilizantes de la UNALM.

**Cuadro 66: Análisis de materia orgánica (MO) del estiércol aplicado**

pH	C.E. (dS/m)	MO %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
7.90	18.9	51.19	1.58	1.66	3.31	2.52	1.31	25.7	1.08

FUENTE: Basado en el análisis realizado por el laboratorio de Agua, Suelo Planta y Fertilizantes de la UNALM.

Se realizó el cálculo de aporte de nutrientes del abono (Cuadro 67). De los 9,524 kg aplicados de estiércol de vacuno por hectárea, solo 1,268 kg fueron utilizados por la planta en forma de materia orgánica, sin embargo, la incorporación de guano, sirvió para aportar microorganismos al suelo, los cuales, estimularon el crecimiento de las raíces promoviendo la expansión celular mediante la alteración del pH y la producción de hormonas vegetales como citoquininas, además de mejorar la fijación de nitrógeno.

**Cuadro 67: Aporte de la materia orgánica al suelo (MOS)**

Parámetros	Cant.	kg/planta	kg/ha
Densidad de plantación (m <sup>2</sup> )		10.5	952.38
Cant. estiércol aplicado (kg)		10.0	9,523.81
Humedad (Hd) %	25.7		2,447.62
Materia Seca (MS) %	74.3		<b>7,076.19</b>
Materia Orgánica (MO)%	51.19		
Carbono (C)%	29.69		<b>2,101.10</b>
C-humus (kg)	35.00		<b>735.39</b>
Materia Orgánica del Suelo (MOS)	<b>1.724</b>		<b>1,267.81</b>

Con respecto al aporte de nutrientes de la materia orgánica, se presenta el siguiente cuadro (Cuadro 68):

**Cuadro 68: Aporte de nutrientes de la materia orgánica aplicada**

Nutriente (%)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na
	<b>1.58</b>	<b>1.66</b>	<b>3.31</b>	<b>2.52</b>	<b>1.31</b>	<b>1.08</b>
Aportes nutrientes (kg/ha)	20.03	117.46	234.22	178.32	92.70	76.42
Tasa mineralización (%)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
<b>kg/ha</b>	<b>0.50</b>	<b>2.94</b>	<b>5.86</b>	<b>4.46</b>	<b>2.32</b>	<b>1.91</b>

Considerando una tasa de mineralización de 2.5%, el aporte nutricional de la materia orgánica a la planta es en mayor grado de potasio y calcio.



## a.2. Fertilización edáfica y foliar

### ▪ Aporte del suelo

Del análisis de suelo, presentado en el Cuadro 38, se extraen los aportes de fósforo (P) y potasio (K) del suelo. En el Cuadro 69, se determinó que, de la materia orgánica, se obtiene 6.16 kg/ha de nitrógeno (N), 12.71 kg de P y 93.15 kg de K.

**Cuadro 69: Aporte de nutrientes del análisis de suelo**

UNIDADES		P	K	M.O
Del análisis de suelo	g/T (ppm)	11.87	166	0.88
Prof. Raíces	m	0.35	0.35	0.35
Clase textural	Fr. Ao			
Densidad aparente	t/m <sup>3</sup>	1.758	1.758	1.758
Peso del suelo	t/ha	6,153	6,153	6,153
Porcentaje de piedras	%	0.696	0.696	69.6
<b>Peso del suelo real</b>	<b>t/ha</b>	<b>1,870.5</b>	<b>1,870.5</b>	<b>1,870.5</b>
Aporte por ha	kg/ha	22.20	310.50	16,433.78
factor de uso	%	25	25	<b>N</b>
Aporte por ha final	kg/ha	5.55	77.63	821.69
				Tasa Mineralización %
				2.5
		<b>P2O5</b>	<b>K2O</b>	20.54
Conversión a U.F.	factor	2.29	1.2	
factor de uso	%			30
Unidad de Fertilizante	kg/ha	12.71	93.15	6.16
<b>Unidad de Fertilizante a considerar como aporte</b>	<b>kg/ha</b>	<b>12.71</b>	<b>93.15</b>	<b>6.16</b>

### ▪ Aporte del agua

Para la determinación del aporte de nutrientes, se toma como referencia, el análisis del agua de río 75% + puquio 25% y se estima un volumen de agua riego/campaña de 5,500 m<sup>3</sup>/ha (ver Cuadro 70).

El aporte de 0.442 kg/ha de Ca<sup>++</sup>, no se valora como unidad de fertilizante, debido a que este elemento puede interactuar con los HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> del agua de riego. Con respecto al Mg<sup>++</sup>, se considera solo el 30 % como aporte del agua. Así mismo, el nivel de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> es de 2.28 meq/l, nivel ligero a moderado según lo reportado por Ayers y Westcot (1985), no presentándose problemas por NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ni Boro.

En general se observa que el agua de riego no aporta nutrientes.

**Cuadro 70: Aporte de nutrientes en base al análisis de agua**

UNIDADES		K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	B	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Análisis agua 75% rio + 25% puquio	meq/l	0.1	2.87	0.6	3.1	0.04	2.28
Peso Equivalente	mg	39	20	12	3.6	62	
Contenido del elemento (ppm)	mg/l	3.9	57.4	7.2	11.16	2.48	
Agua total	m <sup>3</sup> /ha	5,500	5,500	5,500	5,500	5,500	
Aporte del elemento por ha	g/m <sup>3</sup> /ha	21.5	315.7	39.6	61.4	13.6	
	kg/m <sup>3</sup> /ha	0.021	0.316	0.040	0.061	0.014	
Conversión a U.F.	factor	1.2	1.4	1.67	1.00	0.23	
Unidad de Fertilizante	kg/ha	<b>K<sub>2</sub>O</b> 0.026	<b>CaO</b> 0.442	<b>MgO</b> 0.066	<b>B</b> 0.061	<b>N</b> 0.003	
<b>Unidad de Fertilizante a considerar como aporte</b>	<b>kg/ha</b>	<b>0.03</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.06</b>	<b>0.00</b>	

FUENTE: Basado en el análisis realizado por el Laboratorio de Agua, Suelo, Planta y Fertilizantes de la UNALM.

- **Aporte total de nutrientes por parte del estiércol de vacuno (materia orgánica), suelo y agua**

En el Cuadro 71 se muestra el resumen del aporte de nutrientes proveniente del estiércol, del suelo y del agua de riego, observándose que el aporte de estas tres fuentes es no significativo.

**Cuadro 71: Aporte total de nutrientes del agua, del suelo y del estiércol de vacuno**

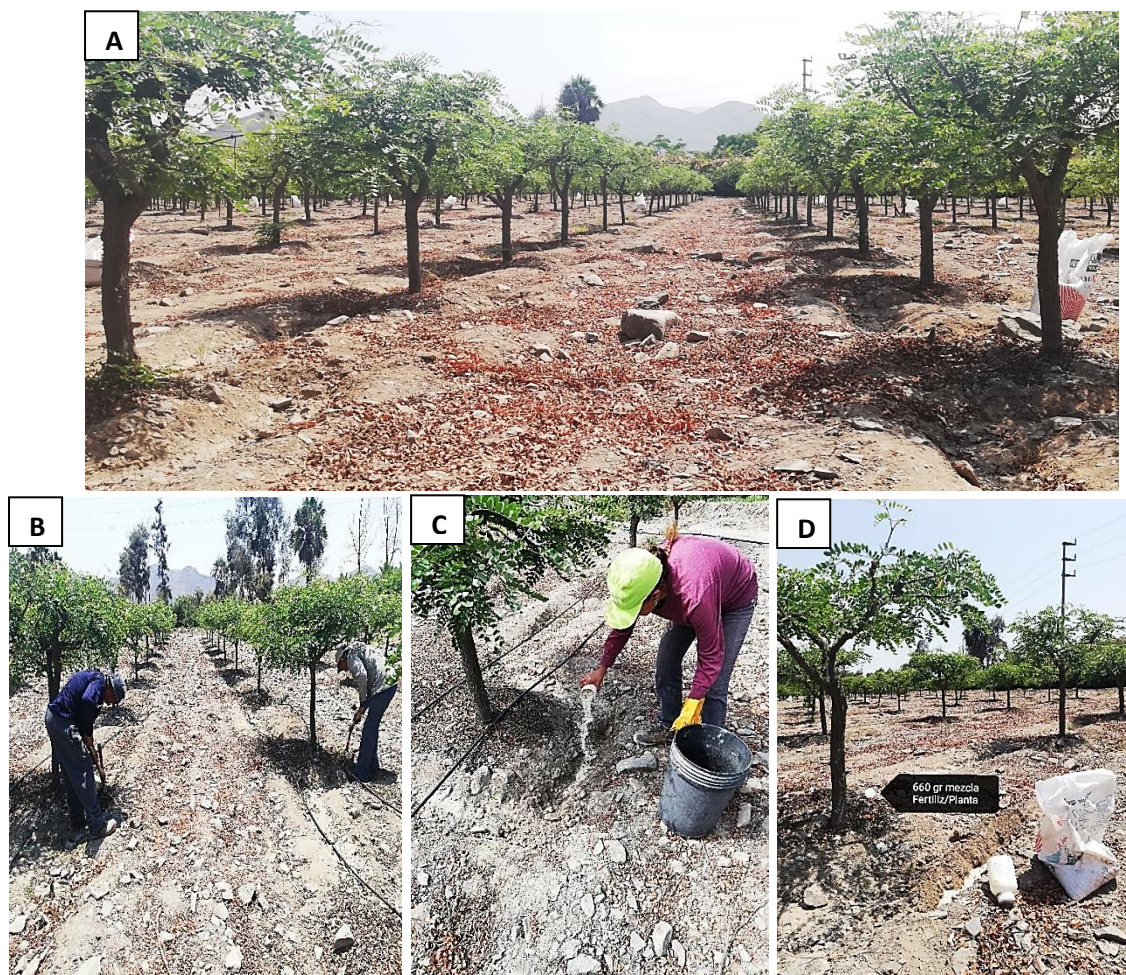
Aporte de nutriente (kg/ha)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	B
Del Agua de riego	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.06
Del Suelo	6.16	12.71	93.15	0.00	0.00	0.00
Del Estiércol vacuno	0.50	2.94	5.86	4.46	2.32	0.00
<b>Unidades de Fertilizante</b>	<b>6.66</b>	<b>15.65</b>	<b>99.01</b>	<b>4.46</b>	<b>2.34</b>	<b>0.06</b>

- **Plan de fertilización**

La dosis de fertilización edáfica empleada fue: 70 - 40 - 80 + 60 CaO + 45 MgO + 10S + los aportes del estiércol, suelo y agua.

La dosis en mención, se aplicó en dos momentos:

- A finales de brotamiento - inicios de floración (9 y 10 de marzo): 70 – 25 – 35 + 60 CaO + 30 MgO + 10 S (Figura 72).
- Cosecha – post cosecha (9 de octubre): 0 – 15 – 45 + 0 CaO + 15 MgO + cenizas de la quema de los restos de la poda en verde (Figura 73).



**Figura 72: Primera fertilización: A: Distribución del fertilizante en campo. B: Hoyado. C: Incorporación del fertilizante debajo de la manguera de riego. D: Tapado del fertilizante**

Las fuentes utilizadas en la primera fertilización fueron:

- Nitrato de calcio
- Fosfato monoamónico
- Sulfato de potasio
- Sulpomag



**Figura 73: Segunda fertilización: A: Mezcla del fertilizante con las cenizas. B: Hoyado. C: Incorporación del fertilizante más ceniza. D: Tapado del fertilizante**

En la segunda fertilización, se cambiaron las fuentes debido a que algunas plantas presentaron un excesivo crecimiento de brotes improductivos (mamones) (Anexo 9), por lo que se prescindió del uso de nitrógeno. Las fuentes utilizadas fueron:

- Fosfato monopotásico
- Sulfato de potasio
- Sulpomag

Se utilizaron dichas fuentes de fertilizantes debido a las características del suelo (pH=7.7), con la finalidad de acidificar la rizosfera y hacer asimilables los micronutrientes del suelo.

Con respecto a la aplicación de micronutrientes, este se aplicó vía foliar durante todo el periodo de floración – fructificación (marzo a octubre).

En la etapa de crecimiento de vaina, adicionalmente, se hicieron aplicaciones foliares de calcio y potasio para complementar la fertilización edáfica.

### **a.3. Control de plagas y enfermedades**

Las aplicaciones de pesticidas para el control de plagas y enfermedades, se realizaron conforme las evaluaciones de campo indicaron la presencia de insectos fitófagos. Las plagas presentes en campo fueron: (Anexo 10 y 11):

- *Pinnaspis sp.*
- *Epinotia aporema*
- *Spodoptera frugiperda*
- *Aphis spp.*
- Barrenadores de tallo

En total se realizaron 13 aplicaciones, con un intervalo aproximado de 15 días.

Los insecticidas utilizados fueron selectivos del control biológico (Anexo 13), como inhibidores de quitina en lepidópteros y *Bacillus thuringiensis var. kurstakii* y *aizawai*.

Junto con la aplicación de los insecticidas se aplicó microelementos, calcio, boro y potasio, así mismo se realizaron aplicaciones de azufre en polvo seco y polvo mojable para el control preventivo de *Oidium sp.* cómo se puede apreciar en el Anexo 12.

### **b. Etapas fenológicas**

La importancia de establecer los períodos críticos o etapas fenológicas en el cultivo de tara, es debido a que la planta presenta una máxima sensibilidad a un determinado evento meteorológico, el cual se refleja en el rendimiento del cultivo (Yzarra 2011). Así mismo, conociendo cada etapa fenológica, podemos definir los requerimientos nutricionales del cultivo según la aparición de los órganos reproductivos y proyectar un mejor control sobre la incidencia de las plagas que podrían ocurrir en el campo.

Por otro lado, las unidades calor (UC) son un indicador del tiempo que un cultivo ha estado expuesto a temperaturas adecuadas para su desarrollo. Conocer las UC en cada etapa fenológica a partir de la temperatura media y la temperatura crítica del cultivo (7 °C) nos sirve para predecir la época de cosecha. Se considera como unidad calor cuando el resultado es positivo, sin embargo, la acumulación de unidad calor durante una etapa vegetativa es

algo variable para distintos lugares y en un mismo lugar para años diferentes (Pacheco 2010).

El punto de partida para determinar las etapas fenológicas en la planta de tara establecida, es el primer riego de ruptura de agoste después de la poda del cultivo, labor que marca el inicio de una nueva campaña agrícola.

La poda se realizó el 30 de enero, dándose el primer riego el 6 de febrero del 2,020 (Anexo 6).

A los 5 días, los árboles empezaron a mostrar los primeros primordios foliares, marcando el inicio del brotamiento, como se puede apreciar en la Figura 74.



**Figura 74: Brotamiento**

### **b.1. Floración**

Con respecto a la etapa de floración, se consideró la etapa fenológica F1 como crecimiento inicial del racimo floral. Pacheco (2010), lo considera como el estado fenológico de la etapa reproductiva ER2 (Figura 75).



**Figura 75: Racimo floral u inflorescencia (F1)**

El pico de emisión de inflorescencias, se dio a los 70 días después de la ruptura de agoste (dra) y 65 días del inicio del brotamiento en los tratamientos T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, a los 82 dra en T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>; y a los 98 hasta los 113 dra en el T<sub>0</sub>.

Podría afirmarse que los tratamientos que se regaron con una menor lámina de riego (al 60, 40 y 20 %ET<sub>0</sub>) fueron los que iniciaron su floración 12 días antes que los tratamientos que recibieron el 100 y 80 %ET<sub>0</sub>, respectivamente (Cuadro 72 y Figura 76).

Así mismo se observó que T<sub>5</sub> presentó una segunda floración de menor magnitud que la primera, a los 232 dra.

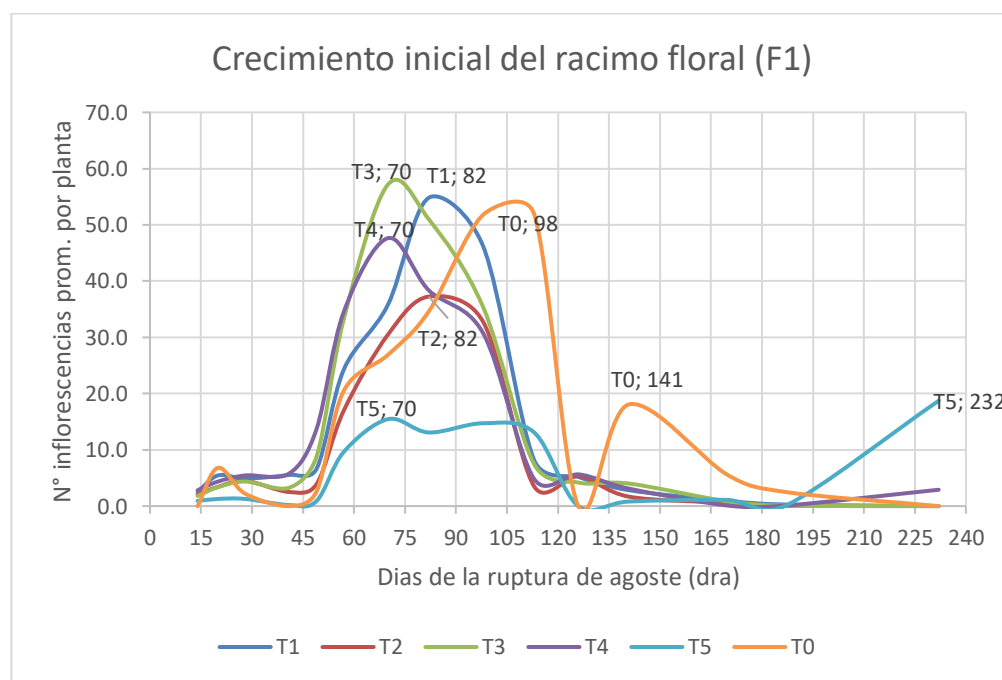
En el caso del T<sub>5</sub>, la segunda floración a los 232 dra, posiblemente se originó, por la lámina adicional que tuvo que aplicarse a todos los tratamientos para realizar la prueba de presiones en el sistema de riego, y determinar los motivos del recalentamiento de la bomba (26 de agosto, 200 dra). Cabe resaltar que el tratamiento T<sub>5</sub>, solo recibe el 20% de la ET<sub>0</sub>, con lo cual las plantas están en constante estrés hídrico, al recibir una lámina de riego del 100% ET<sub>0</sub>, pudieron activarse los mecanismos de inducción floral.

**Cuadro 72: Número de inflorescencias por planta (F1)**

Fecha	20-Feb	26-Feb	5-Mar	18-Mar	26-Mar	3-Abr	16-Abr	28-Abr	14-May	29-May	11-Jun	26-Jun	25-Jul	11-Ago	25-Set
Unidad Calor U.C. (°C)	270.98	384.42	535.82	779.98	928.18	1065.95	1297.30	1495.42	1744.23	1936.67	2094.07	2267.05	2572.53	2744.15	3221.18
Días ruptura agoste (dra)	14	20	28	41	49	57	70	82	98	113	126	141	170	187	232
T1	2.5	5.5	4.9	5.5	6.6	24.3	35.8	54.8	46.2	8.2	5.2	2.8	0.9	0.3	0.0
T2	2.1	3.4	4.5	2.5	3.9	17.0	30.5	37.3	32.8	3.5	5.3	1.7	0.6	0.1	0.0
T3	1.8	3.4	4.4	3.3	8.8	33.3	57.2	51.0	35.4	7.5	4.2	4.0	0.8	0.1	0.0
T4	2.8	4.4	5.5	5.8	13.7	34.5	47.6	38.4	30.7	4.8	5.6	3.1	0.1	0.1	2.9
T5	0.9	1.3	1.3	0.2	0.9	9.6	15.5	13.1	14.7	13.1	0.0	0.8	1.1	0.1	18.7
T0	0.0	6.8	2.2	0.0	2.6	20.5	26.9	34.6	51.8	51.9	0.0	18.1	5.5	2.5	0.0

A los 57 dra (52 días del inicio del brotamiento) inicia en promedio el crecimiento de las inflorescencias para todos los tratamientos con una acumulación de UC de 1,065.95 °C; a los 70 dra (65 días del inicio del brotamiento) se dio el pico de la emisión de inflorescencias con un acumulado de 1,297.3 °C. En la zona de Ayacucho, esta etapa fenológica se manifestó a los 40 – 41 días del inicio del brotamiento con 834 – 843 °C de UC (Pacheco 2010).

Esta diferencia en días y UC, pudo deberse a la estación climatológica en la que sucedió dicho evento y a la insolación en ambas zonas. En el caso de Ayacucho, el inicio de floración se dio a mediados de enero, en cambio, en Pachacamac la floración fue a inicios de abril.



**Figura 76: Crecimiento inicial del racimo floral (F1)**



## b.2. Racimo con apertura floral

La evaluación del racimo con antesis consideró la etapa fenológica F2 como el racimo totalmente desarrollado con la apertura de los pétalos amarillos de las flores (Figura 77).



**Figura 77: Racimo con apertura floral (Antesis)**

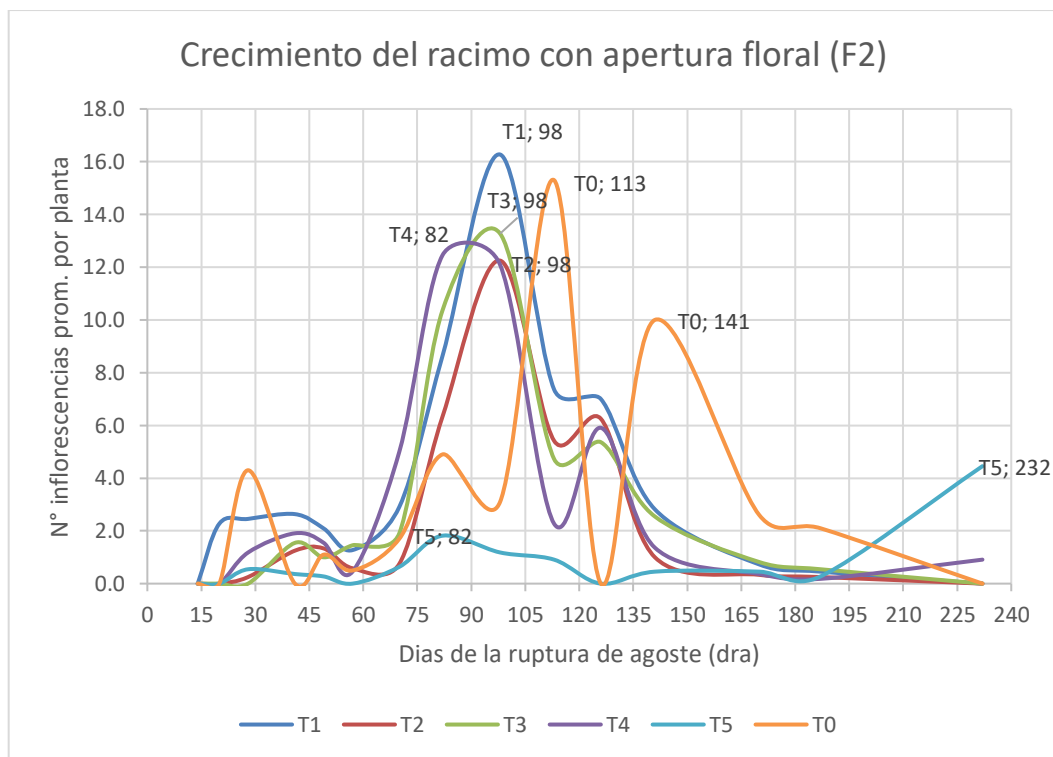
El inicio de la aparición de racimos con apertura floral, momento en que la flor está viable para su polinización, se da en promedio a los 82 dra (77 días del inicio de brotación) con 1,495.42 °C acumulados de UC. El pico de racimos con antesis en los tratamientos con goteo, se manifiesta a los 82 dra en el T<sub>4</sub>. A los 98 dra (93 días del inicio de brotación) y 1,744.23 °C, para T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>. En el caso de T<sub>5</sub>, se presentó a los 232 dra.

En el tratamiento por gravedad T<sub>0</sub>, la mayor cantidad de flores abierta se dio recién a los 113 dra (108 días del inicio de brotación) con 1,936.67 °C, presentando una segunda floración a los 141 dra (Cuadro 73 y Figura 78).

En Ayacucho, esta etapa fenológica, se registró entre los 53 – 58 días del inicio de brotación (inicios de febrero) y con 1,092 – 1,192 °C de U.C. (Pacheco 2010).

**Cuadro 73: Número de racimos con apertura floral (F2)**

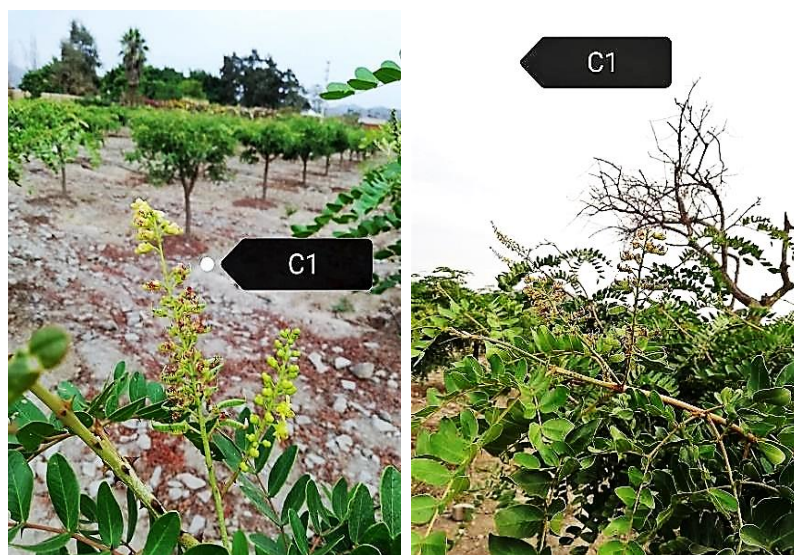
Fecha	20-Feb	26-Feb	5-Mar	18-Mar	26-Mar	3-Abr	16-Abr	28-Abr	14-May	29-May	11-Jun	26-Jun	25-Jul	11-Ago	25-Set
Unidad Calor U.C. (°C)	270.98	384.42	535.82	779.98	928.18	1065.95	1297.30	1495.42	1744.23	1936.67	2094.07	2267.05	2572.53	2744.15	3221.18
Días ruptura agoste (dra)	14	20	28	41	49	57	70	82	98	113	126	141	170	187	232
T1	0.0	2.3	2.5	2.6	2.1	1.3	2.9	8.6	16.3	7.4	7.0	2.8	0.7	0.5	0.0
T2	0.0	0.0	0.3	1.3	1.3	0.6	0.8	6.3	12.3	5.4	6.3	1.0	0.3	0.3	0.0
T3	0.0	0.0	0.0	1.5	1.0	1.5	1.9	10.4	13.3	4.7	5.4	2.5	0.8	0.5	0.0
T4	0.0	0.0	1.2	1.9	1.5	0.5	5.0	12.5	12.1	2.3	5.9	1.4	0.4	0.2	0.9
T5	0.0	0.0	0.5	0.4	0.3	0.0	0.6	1.8	1.2	0.9	0.0	0.5	0.5	0.3	4.5
T0	0.0	0.0	4.3	0.0	1.1	0.5	1.7	4.9	3.1	15.3	0.0	10.0	2.6	2.1	0.0



**Figura 78: Crecimiento del racimo con apertura floral (F2)**

### **b.3. Inicio de cuajado hasta vainas menores de 2 cm de largo**

La etapa fenológica de inicio de cuajado hasta la formación de vainas menores de 2 cm de longitud, se consideró como la etapa C1. Pacheco (2010) en su estudio fenológico en Ayacucho lo considera como la etapa ER5 vainas cuajadas y ER6 inicio de caída de sépalos y pétalos (Figura 79).



**Figura 79: Inflorescencia con vaina cuajada (C1)**

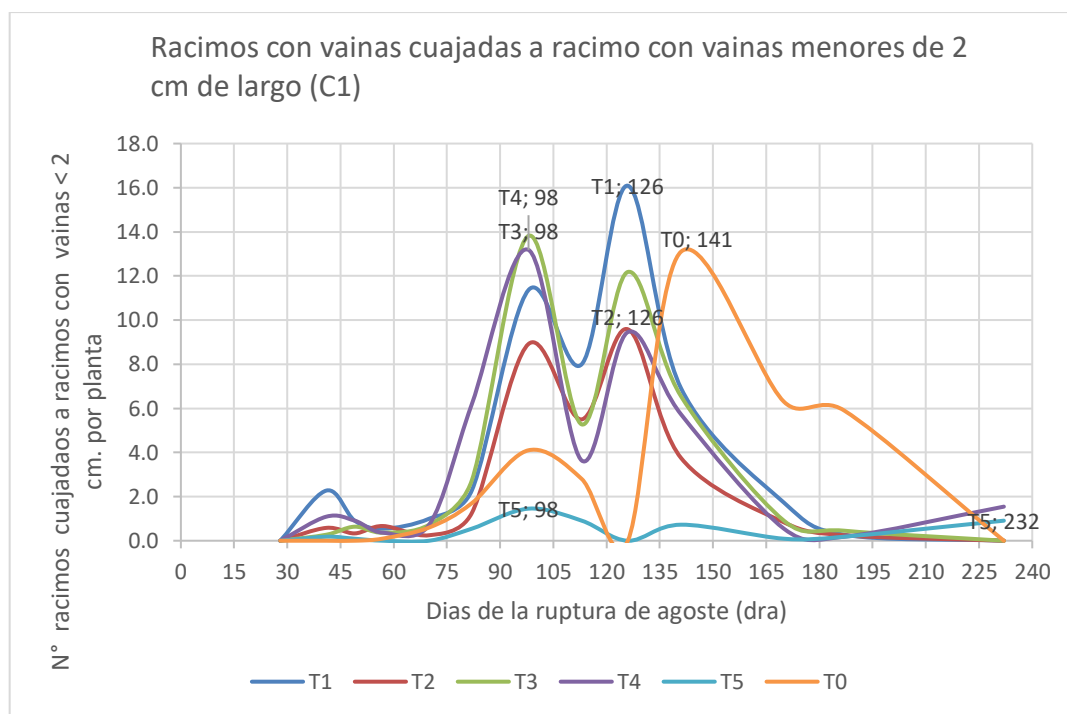
En el Cuadro 74 y Figura 80 se puede apreciar, que hay un primer pico en la etapa de cuajado de vaina a los 98 dra (93 días del brotamiento) y con 1,744.23 °C de UC en todos los tratamientos.

Otro segundo pico a los 126 dra (121 días del brotamiento) y con 2,094.07 °C acumulados de U.C. en los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, en cambio en el T<sub>0</sub>, se presenta a los 141 dra (136 días del brotamiento) con U.C. acumulado de 2,267.05 °C.

Pacheco (2010), registra este periodo a los 58 – 71 días del brotamiento y 1,193 – 1,452 °C acumulados.

**Cuadro 74: Número de racimos de vainas cuajadas con tamaño de vaina < 2 cm de largo**

Fecha	5-Mar	18-Mar	26-Mar	3-Abr	16-Abr	28-Abr	14-May	29-May	11-Jun	26-Jun	25-Jul	11-Ago	25-Set
Unidad Calor U.C. (°C)	535.82	779.98	928.18	1065.95	1297.30	1495.42	1744.23	1936.67	2094.07	2267.05	2572.53	2744.15	3221.18
Días ruptura agoste (dra)	28	41	49	57	70	82	98	113	126	141	170	187	232
T1	0.0	2.3	0.9	0.5	1.0	2.3	11.4	8.0	16.1	6.9	1.7	0.3	0.0
T2	0.0	0.6	0.3	0.7	0.3	1.3	8.9	5.5	9.6	3.8	0.8	0.3	0.0
T3	0.0	0.3	0.6	0.4	0.7	2.7	13.8	5.3	12.2	6.5	0.9	0.5	0.0
T4	0.0	1.1	0.9	0.4	0.7	6.2	13.2	3.6	9.5	5.7	0.5	0.2	1.5
T5	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.5	1.5	0.9	0.0	0.7	0.1	0.2	0.9
T0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	1.7	4.1	2.8	0.0	13.1	6.3	5.9	0.0



**Figura 80: Número de racimos de vainas cuajadas a vaina < de 2 cm de largo (C1)**

#### **b.4. Crecimiento de vaina (vainas > 2 cm) hasta vainas con llenado de semilla**

La etapa fenológica de crecimiento de las vainas a vainas con llenado de semilla fue denominada como C2 (Figura 81).

Del Cuadro 75 y Figura 82, se observa que a los 126 dra (121 días después del brotamiento) y con 2,094.67 °C, se aprecia el inicio de esta etapa, sin embargo, la mayor cantidad de vainas con una longitud > 2 cm, se presenta entre los 170 a 187 dra (165 – 182 días del brotamiento) y con un acumulado de 2,572.53 a 2,744.15 °C en todos los tratamientos.

Pacheco (2010), afirmó que este periodo fenológico ocurrió entre los 98 – 139 días del brotamiento y un U.C. acumulado de 1,956 a 2,755 °C.

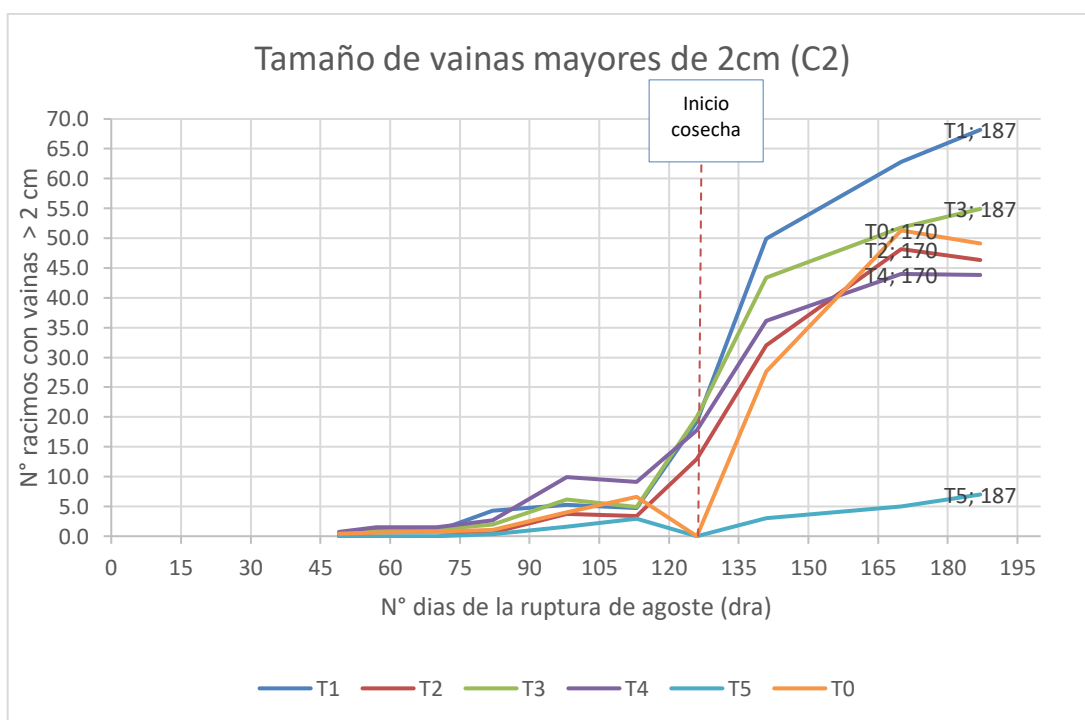


**Figura 81: Vaina de tara (C2)**

Se observa que la ocurrencia en días y UC de esta etapa fenológica en Pachacamac, presenta cierta similitud con los resultados obtenidos en Ayacucho, posiblemente porque en Pachacamac esta etapa se da en el mes de junio y en Huanta - Ayacucho entre los meses de marzo – abril.

**Cuadro 75: Crecimiento de vaina > 2 cm de largo (C2)**

Fecha	26-Mar	3-Abr	16-Abr	28-Abr	14-May	29-May	11-Jun	26-Jun	25-Jul	11-Ago
Unidad Calor U.C. (°C)	928.18	1065.95	1297.30	1495.42	1744.23	1936.67	2094.07	2267.05	2572.53	2744.15
Días ruptura agoste	49	57	70	82	98	113	126	141	170	187
T1	0.4	1.3	0.9	4.3	5.3	4.7	19.2	49.9	62.8	68.2
T2	0.0	0.7	0.8	0.6	3.8	3.4	12.9	32.0	48.2	46.3
T3	0.5	0.8	1.2	1.9	6.2	4.9	20.0	43.4	51.8	54.9
T4	0.7	1.5	1.5	2.6	9.9	9.1	17.8	36.1	44.0	43.8
T5	0.0	0.0	0.0	0.4	1.6	2.9	0.0	3.0	5.0	7.0
T0	0.4	0.6	0.8	1.1	4.0	6.6	0.0	27.6	51.3	49.1



**Figura 82: Crecimiento de vaina > 2 cm de largo (C2)**

### b.5. Cosecha

Esta etapa fenológica se consideró desde el momento en que la vaina estuvo totalmente seca (11 % de humedad promedio) con la presencia de semillas duras, desprendimiento fácil del racimo y presentando el típico sonido a galleta al quebrarlas; Pacheco (2010) asigna esta etapa como la ER12 (Figura 83).



**Figura 83: Cosecha**

El inicio de cosecha se dio en el mes de agosto a los 179 a 186 dra (174 - 181 días del brotamiento), el cual tuvo una duración aproximada de 123 días (hasta los 302 dra) en todos los tratamientos, con un acumulado de 2,660.85 °C a 4,077.10 °C de unidades calor.

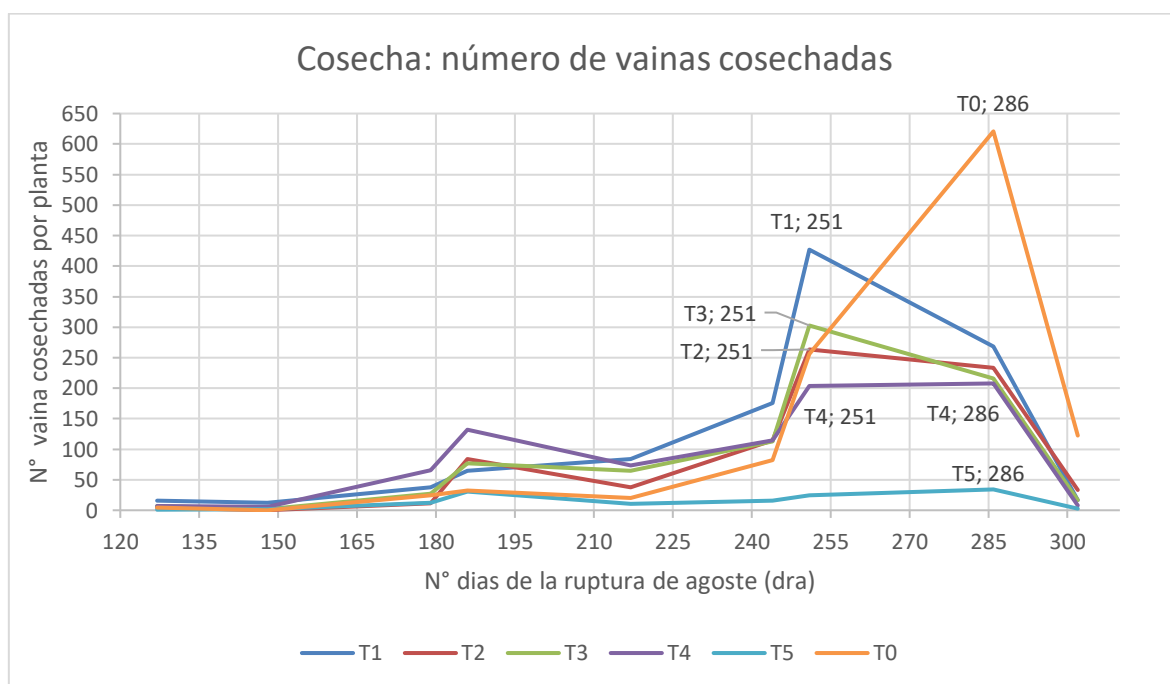
En los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> el pico de la cosecha se produjo a los 251 dra, en el T<sub>5</sub> y T<sub>0</sub> a los 286 dra, tal como se observa en el Cuadro 76 y Figura 84.

**Cuadro 76: Número de vainas cosechadas**

N° vainas cosechadas									
Fecha	12-Jun	3-Jul	3-Ago	10-Ago	10-Set	7-Oct	14-Oct	18-Nov	4-Dic
Unidad Calor U.C. (°C)	2105.37	2341.10	2660.85	2735.05	3052.82	3354.87	3437.33	3864.80	4077.10
Días ruptura agoste	<b>127</b>	<b>148</b>	<b>179</b>	<b>186</b>	<b>217</b>	<b>244</b>	<b>251</b>	<b>286</b>	<b>302</b>
T1	16	12	37	64	84	176	<b>427</b>	269	17
T2	5	0	11	84	38	114	<b>264</b>	234	33
T3	7	2	27	77	64	113	<b>303</b>	216	16
T4	7	6	65	132	74	114	<b>204</b>	<b>208</b>	8
T5	1	2	12	30	10	16	24	<b>34</b>	2
T0	4	0	25	32	20	82	256	<b>621</b>	122

Villanueva (2019) afirma que la tara requiere 2,500 horas luz aproximadamente, la cual no solo influye en la fotosíntesis sino en la fotomorfología del cultivo, afectando la forma, altura, número de ramas y estado fenológico del cultivo.

Para Pacheco (2010) el inicio de cosecha se da en la zona de Huanta – Ayacucho, a los 182 a 197 días del brotamiento y con un UC acumulado de 3,465 a 3,764 °C. Estos datos son similares a los obtenidos en la zona de Pachacamac en donde se puede considerar el inicio de la cosecha entre los 174 a 181 días del brotamiento y con un acumulado de unidades calor entre los 2,660.85 a 3,437.33 °C; sin embargo, el pico de la cosecha se dio a los 251 días después de la ruptura de agoste (246 días del brotamiento) en los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> y a los 286 días de la ruptura de agoste en el T<sub>5</sub> y en el tratamiento por gravedad (T<sub>0</sub>) (Figura 84).



**Figura 84: Cosecha: número de vainas cosechadas**

A continuación, se presenta un cuadro resumen de las etapas fenológicas del cultivo de tara bajo las condiciones de Pachacamac, indicando su duración, la acumulación de unidades calor (UC) y su comparación con lo registrado en Ayacucho (Cuadro 77), se puede apreciar que el inicio del brotamiento en Ayacucho se da en el mes de noviembre con el inicio de las lluvias en la zona, en cambio el inicio de brotación en Pachacamac empieza en marzo en plena época de avenida del río, dándose la cosecha en junio y noviembre en Ayacucho y Pachacamac respectivamente.



**Cuadro 77: Comparativo de las etapas fenológicas bajo las condiciones climáticas de Pachacamac y Ayacucho**

Tratamientos	Ruptura de Agosto	Brotamiento			Inicio Floración (F1)		Antesis (F2)		Cuajado (C1)		Crecimiento vaina (C2)		Cosecha		
	Día	Mes	Días	U.C.	Días	Días	Días	U.C.	Días	U.C.	Días	U.C.	Mes	Días	U.C.
<b>T1</b>	0	Mar	5	152.8	82	2076.4	98	2437.2	126	2094.1	187	2744.2	Oct	251	3437
<b>T2</b>	0	Mar	5	152.8	82	2076.4	98	2437.2	126	2094.1	170	2572.5	Oct	251	3437
<b>T3</b>	0	Mar	5	152.8	70	1794.3	98	2437.2	98	2437.2	187	2744.2	Oct	251	3437
<b>T4</b>	0	Mar	5	152.8	70	1794.3	82	2076.4	98	2437.2	170	2572.5	Oct	251	3437
<b>T5</b>	0	Mar	5	152.8	70	1794.3	82	2076.4	98	2437.2	187	2744.2	Nov	251	3437
<b>T0 Riego gravedad</b>	0	Mar	5	152.8	98	2437.2	113	2734.7	141	2267.1	170	2572.5	Nov	286	3865
<b>Huanta-Ayacucho</b>	0	Nov-Dic	13	283.0	40	838.5	53	1142.0	58 - 71	1,193 - 1,452	98 - 139	1956 - 2755	Jun	182 - 197	3465 - 3764

En el Cuadro 78, se presenta un resumen comparativo de las etapas fenológicas según sistema de riego empleado en la investigación. Se aprecia que los tratamientos por goteo tienen una variación de un mes al momento de la cosecha en comparación del tratamiento por gravedad; la diferenciación empezó a manifestarse en la etapa de floración. Esta diferencia de 35 días en la cosecha entre los tratamientos por goteo (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>) y el de gravedad (T<sub>0</sub>) es fundamental para la etapa de llenado de vainas, debido a que, en los meses de octubre, noviembre y diciembre en el valle de Pachacamac, se tienen carencias de agua, porque aún no inicia la temporada de avenida.

**Cuadro 78: Etapas fenológicas del cultivo de tara en la zona de Pachacamac**

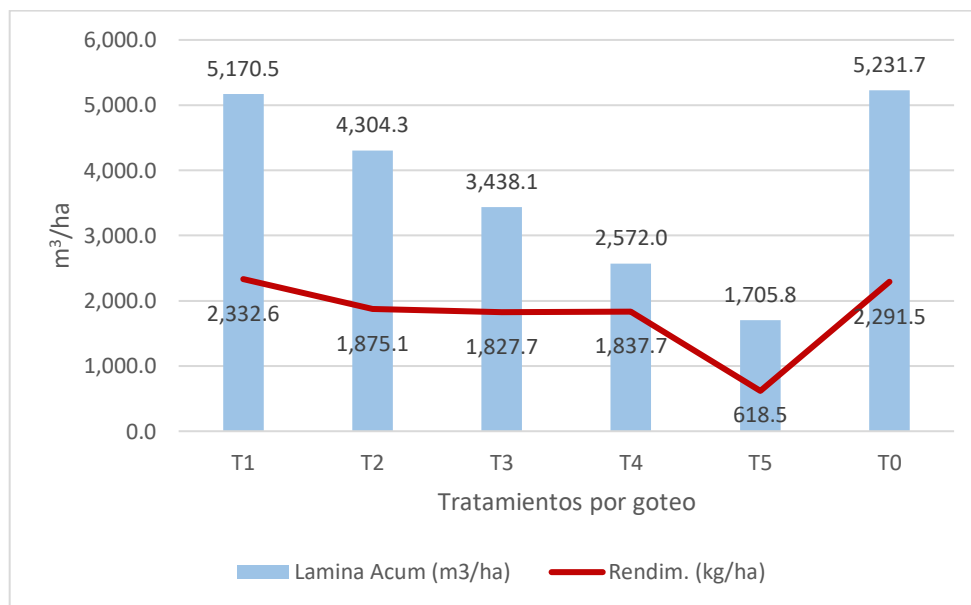
Tipo riego	Inicio de Agosto	Poda	Ruptura de Agosto	Brotamiento	Floración	Cuajado	Crecimiento vaina	Cosecha
<b>Riego goteo</b>	Nov - Dic	Feb	Feb	Mar	Abr - May	May - Jun	Jun - Ago	Ago - Nov
<b>Riego gravedad</b>	Nov - Dic	Feb	Feb	Mar	May	May - Jul	Jun - Set	Set - Dic

Este adelanto en la cosecha por el cambio del sistema de riego, unido al rango de unidades calor similares al momento de cosecha entre lo obtenido en Pachacamac y Ayacucho, sugiere la posibilidad de anticipar paulatinamente el inicio de la campaña con la época de avenida, lo que nos permitiría realizar la cosecha en los meses de junio – julio (inicio del estiaje) y el agosto en plena temporada de estiaje.

Con respecto a los rendimientos obtenidos en la investigación, el mayor rendimiento, fue en el tratamiento T<sub>1</sub> con 2,332.6 kg/ha, siguiendo el tratamiento de riego por gravedad (T<sub>0</sub>) con 2,291.5 kg/ha y el T<sub>2</sub> con 1,875.1 kg/ha; se presenta la tendencia en el incremento del rendimiento conforme se le repone a la planta un mayor porcentaje de la ETo (lámina de riego) (Cuadro 79 y Figura 85).

**Cuadro 79: Rendimiento y lámina acumulada de riego**

ETo	100%	80%	60%	40%	20%	Riego por gravedad
TRATAMIENTO POR GOTEO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>0</sub>
Lámina Acumulada (m <sup>3</sup> /ha)	5,170.5	4,304.3	3,438.1	2,572.0	1,705.8	5,231.7
Rendimiento (Kg/ha)	2,332.6	1,875.1	1,827.7	1,837.7	618.5	2,291.5



**Figura 85: Rendimiento de tara versus lámina acumulada de riego**

Por otro lado, el sistema de riego a goteo en comparación al riego por gravedad, permitió realizar los riegos en plena cosecha sin afectar a las vainas maduras caídas en el suelo y favorecer el llenado de las vainas que florecieron posteriormente. Otra ventaja observada, fue la permanencia del mulch de la defoliación natural de la planta debajo de la manguera de riego, lo que no sucede con el riego por gravedad, debido a que, bajo este sistema, el agua moviliza toda la hojarasca a las partes bajas. La permanencia del mulch con el riego por goteo, crea una cobertura de hojas secas debajo de la planta, ayudando a conservar la

humedad del suelo, brindando protección a las raíces nuevas debajo de la manguera de riego y aumentando la materia orgánica del suelo por la descomposición de la hojarasca en el tiempo.

#### **b.6. Postcosecha**

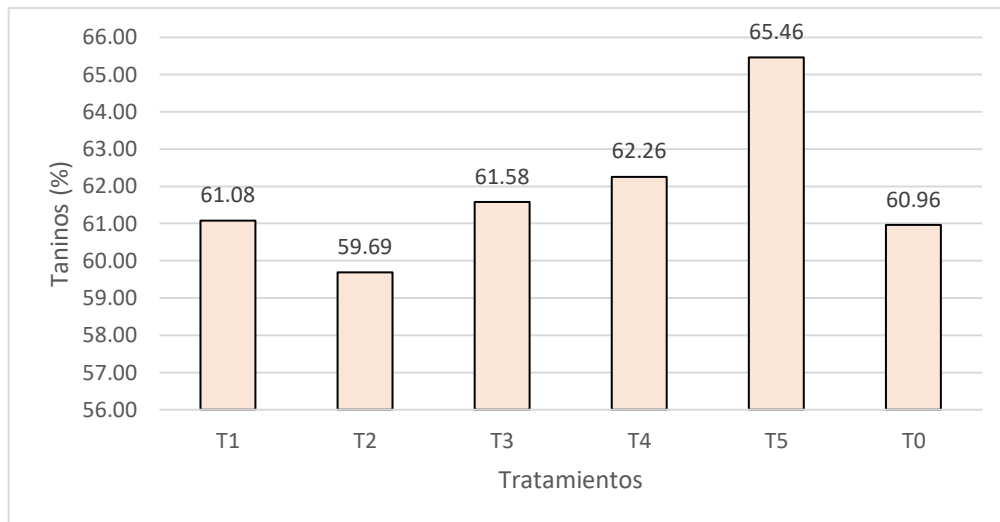
- **Porcentaje de taninos en vainas comerciales**

Para la obtención del porcentaje de taninos, se tomaron 200 gr de vainas comerciales de todos los tratamientos, se identificaron debidamente y se llevaron al laboratorio INASSA para su determinación. Los resultados obtenidos, señalan que los tratamientos que recibieron un mayor porcentaje de ETo (lámina de riego) y el tratamiento por gravedad, el porcentaje de taninos osciló entre el 60 y 62 %, sin embargo, el tratamiento T<sub>5</sub>, que se regó con un 20% de la ETo, obtuvo un mayor porcentaje de taninos, 65.46%; esto puede deberse a que la cantidad de taninos (soluto) se encuentra en forma más concentrada en la vaina, es decir la relación solidos solubles y material no tánico de la vaina, es mayor en el tratamiento T<sub>5</sub> en comparación a los tratamientos que recibieron una lámina mayor de riego (Cuadro 80 y Figura 86).

Los resultados obtenidos en todos los tratamientos, supera el 50% de concentración de taninos mínimos requeridos para la exportación de polvo de tara (Yeh y Gayoso 2019).

**Cuadro 80: Concentración de taninos en vaina comercial de tara según tratamiento**

<b>ETo</b>	<b>100%</b>	<b>80%</b>	<b>60%</b>	<b>40%</b>	<b>20%</b>	<b>Riego por gravedad</b>
<b>TRATAMIENTO POR GOTEO</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T0</b>
<b>Concentración de taninos en vaina comercial (%)</b>	61.08	59.69	61.58	62.26	65.46	60.96



**Figura 86: Concentración de taninos en vaina comercial según tratamiento**

Oliva *et al* (2013), en su estudio realizado en la región Amazonas, determinaron el contenido de taninos en tara, de 30.90%, 30.70% y 30.50%, entre los valores más altos obtenidos.

Ali (2020), reporta valores promedio de taninos de 62.4% utilizando como solvente etanol/agua. Valor similar al obtenido al tratamiento T<sub>4</sub> (62.26%), con la diferencia que el método de determinación utilizado por INASSA fue en agua destilada por medio de reflujo recirculante.

Los valores en la concentración de taninos obtenidos al quinto mes en la provincia de Huari fueron de 60% y en el distrito de Pachacamac al sexto mes, de 56%, valores inferiores a los obtenidos en el área experimental (Melo *et al.* 2013).

Oliva (2019), reporta que en el Fundo Las Palmas, Villacurí – Ica, en la campaña 2009, utilizando riego por goteo, los valores obtenidos en la concentración de taninos fueron de 58%.

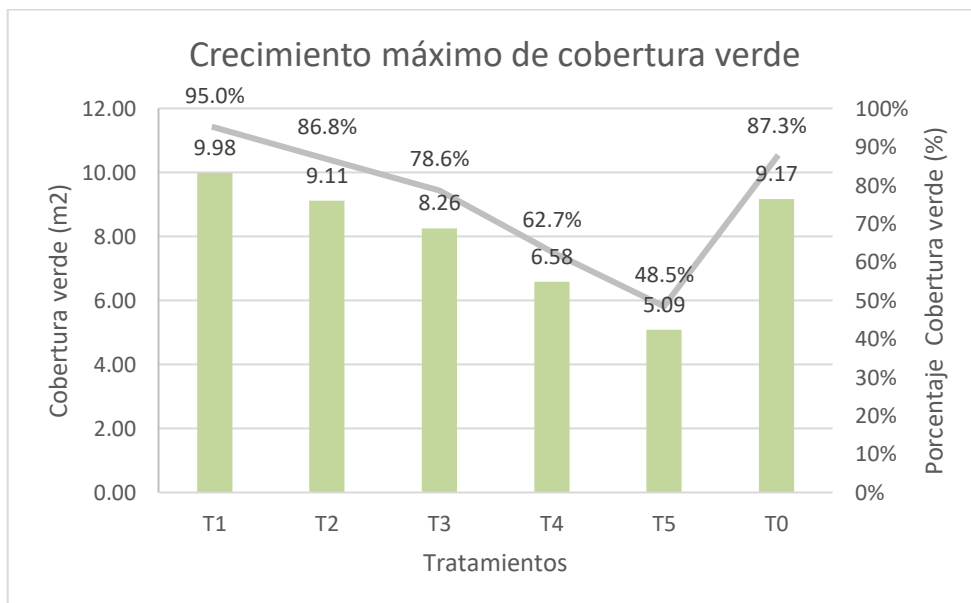
Por otro lado, Goycochea (2010) en su estudio realizado en las lomas de Atiquipa - Arequipa afirma, que la edad del árbol no influye en el contenido de taninos de los frutos, sino las condiciones del lugar en donde se encuentra el árbol, es así que los porcentajes de taninos van aumentando conforme aumenta la altitud. Según los resultados alcanzados en la presente investigación, podría afirmarse que la cantidad de agua aplicada (1,706 m<sup>3</sup>/ha), más que la altitud, explicó el porcentaje de taninos en vainas.

### c. Cobertura verde

En el Cuadro 81 y Figura 87, se puede concluir que conforme se incrementa el agua de riego en los tratamientos, el crecimiento de la planta aumenta, lo cual se manifiesta en el porcentaje de cobertura verde máxima ocurrida en setiembre. Es así, que el tratamiento T<sub>1</sub> (100% ETo), presentó una cobertura verde máxima de 95% mientras que el T<sub>5</sub> (20% ETo), presentó un 48.5%. Esto puede ser debido a que la planta al absorber el agua de riego, también absorbe los nutrientes de la solución suelo por medio de sus raíces, incrementando su cobertura verde. Cuando el agua es escasa, la planta de tiera, produce una hormona que induce al cierre de los estomas, evitando la pérdida de agua por la transpiración, deteniendo el crecimiento de la mayoría de los órganos.

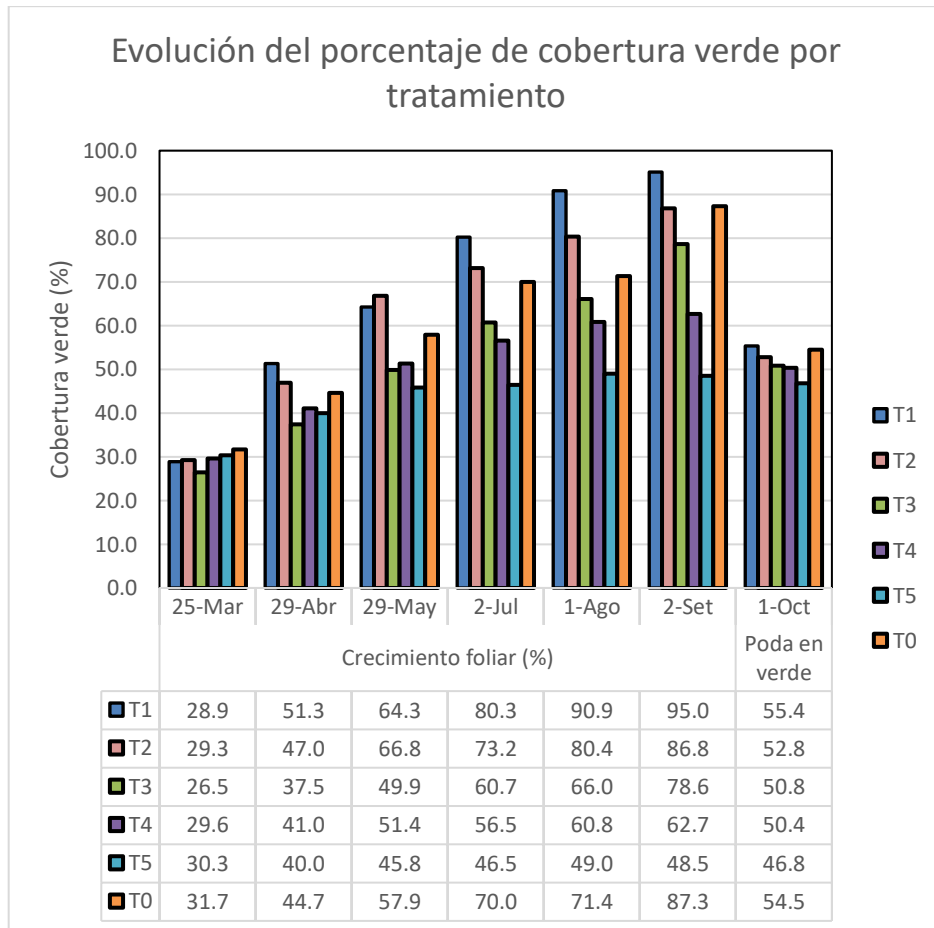
**Cuadro 81: Cobertura verde y porcentaje de cobertura verde máxima**

ETo	100%	80%	60%	40%	20%	Riego por gravedad
TRATAMIENTOS	T1	T2	T3	T4	T5	T0
Área Foliar Max. (AF) (m <sup>2</sup> )	9.98	9.11	8.26	6.58	5.09	9.17
Porcentaje Max. A F (%)	95.0%	86.8%	78.6%	62.7%	48.5%	87.3%
Porcentaje AF después de poda en verde (%)	55.4%	52.8%	50.8%	50.4%	46.8%	54.5%



**Figura 87: Área y porcentaje de cobertura verde máxima por tratamiento**

Con respecto al crecimiento de la cobertura verde de los distintos tratamientos, en la Figura 88 se aprecia como ha sido la evolución del desarrollo de la planta. Al 25 de marzo del 2,020 (48 días de la ruptura de agoste), todos los tratamientos mostraron un desarrollo similar (alrededor del 29% del desarrollo del área foliar), debido a que recién el 18 de marzo, se empezó a regar de forma diferenciada según el porcentaje de ETo de cada tratamiento. Conforme se fue acumulando la lámina de riego, se observa la variación en el crecimiento de todos los tratamientos.



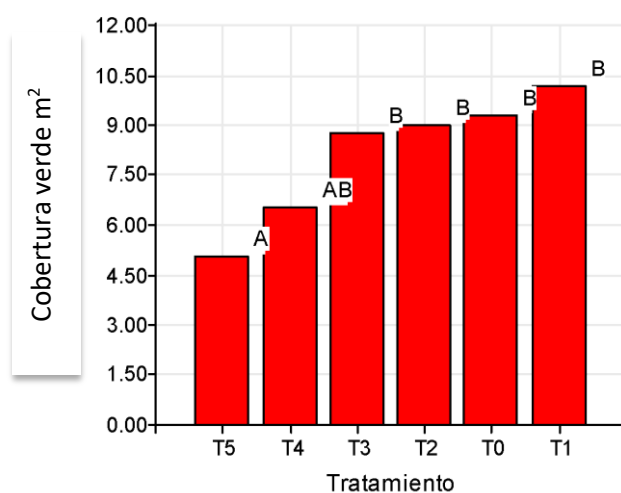
**Figura 88: Evolución del crecimiento de la cobertura verde**

**Cuadro 82: Crecimiento de la cobertura verde (%)**

Tratamiento	Crecimiento de la cobertura verde (%)						Después de Poda en verde
	25-Mar	29-Abr	29-May	2-Jul	1-Ago	2-Set	1-Oct
T1	28.9	51.3	64.3	80.3	90.9	95.0	55.4
T2	29.3	47.0	66.8	73.2	80.4	86.8	52.8
T3	26.5	37.5	49.9	60.7	66.0	78.6	50.8
T4	29.6	41.0	51.4	56.5	60.8	62.7	50.4
T5	30.3	40.0	45.8	46.5	49.0	48.5	46.8
T0	31.7	44.7	57.9	70.0	71.4	87.3	54.5
<b>Prom (%)</b>	<b>29.4</b>	<b>43.6</b>	<b>56.0</b>	<b>64.5</b>	<b>69.7</b>	<b>76.5</b>	<b>51.8</b>

El 24 de setiembre, se realizó una poda en verde, para eliminar todos los brotes vigorosos e improductivos (mamones), con la finalidad de reducir la cobertura verde y la transpiración de la planta. Con este manejo, los tratamientos que tuvieron mayor cobertura verde, redujeron aproximadamente en un 50% su área tal como se puede apreciar en la evaluación realizada el 1° octubre (Cuadro 82).

Para la evaluación del 2 de setiembre (antes de la poda en verde) se realizó el Análisis de varianza y la prueba de Tukey, encontrándose significancia entre el T<sub>5</sub> y el T<sub>4</sub> y los tratamientos T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>, tal como se muestra en la Figura 89. Tales resultados pueden interpretarse que el T<sub>4</sub> tuvo un desarrollo de cobertura verde máximo de 62.7 %, lo cual optimizó la fotosíntesis y le permitió a la planta ser más eficiente en el control de la transpiración en comparación con los otros tratamientos.



**Figura 89: Análisis de Varianza para el parámetro cobertura verde**

#### **d. Evaluación de la zona radicular**

La evaluación de la zona radicular de los tratamientos se realizó por medio de la instalación de rizotrones, como se observa en la Figura 90. El rizotrón es una herramienta no destructiva de la observación y medición reiterada del sistema radicular de las plantas. Es un excelente método para describir semicuantitativamente los cambios en la raíz, facilita la observación del drenaje y perfil de humedad (Klepper y Kaspar 1994).



**Figura 90: Instalación de rizotrones en el área experimental**

#### **d.1. Evaluación de la distribución de raíces**

Se instalaron cuatro rizotrones, en los tratamientos  $T_0$  (riego por gravedad), en el  $T_1$ ,  $T_3$  y  $T_5$  (riego por goteo), como se puede apreciar en las Figuras 91 y 92, con la finalidad de evaluar la emisión de nuevas raíces de la planta de tara al cambio de sistema de gravedad a goteo (Figura 91).





**Figura 91: Rizotrón en el tratamiento T1**



**Figura 92: Rizotrón T3 a un distanciamiento de 40 cm del tallo**

En las calicatas realizadas para la determinación de los parámetros físicos del suelo y para la instalación de los rizotrones, se observaron dos capas definidas en el crecimiento de las raíces de los árboles, formadas antes del cambio del sistema de riego; la primera capa entre los 15 a 30 cm y la segunda a los 70 a 90 cm de profundidad, con una cabellera radicular de varios centímetros, dando la impresión que en todo el perfil hay raíces, sin embargo el nacimiento de las raíces se origina en las dos capas anteriormente mencionadas, como se puede apreciar en la Figura 93.

La raíz de la tara es axonomorfa, es decir, que tiene la facilidad de profundizar y buscar la napa freática, por tal razón, se la encuentra en lugares con poca humedad edáfica. Las raíces secundarias crecen cerca de la superficie del terreno y su ramificación es muy abundante, de varios órdenes, terminando en una red de raicillas densas y frágiles (Verástegui 1994).

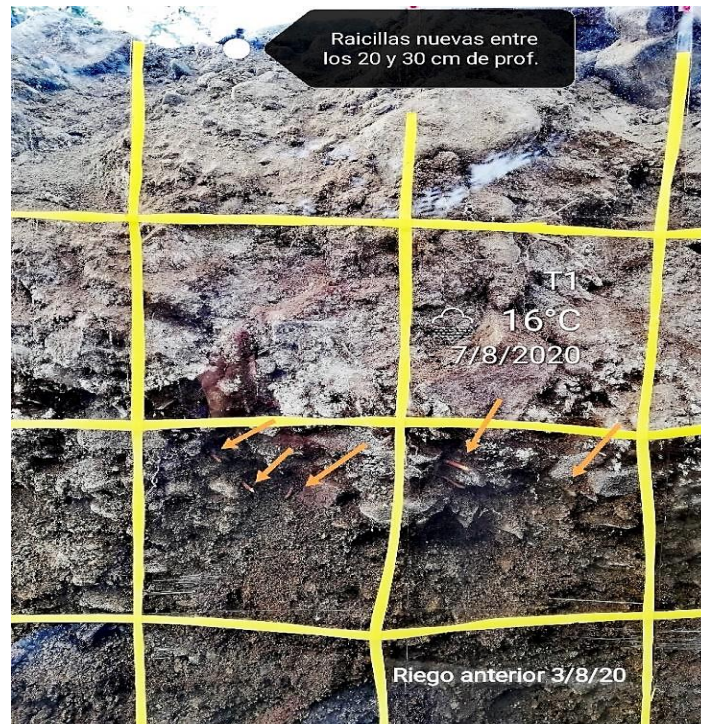


**Figura 93: Distribución de las raíces en el perfil del suelo**

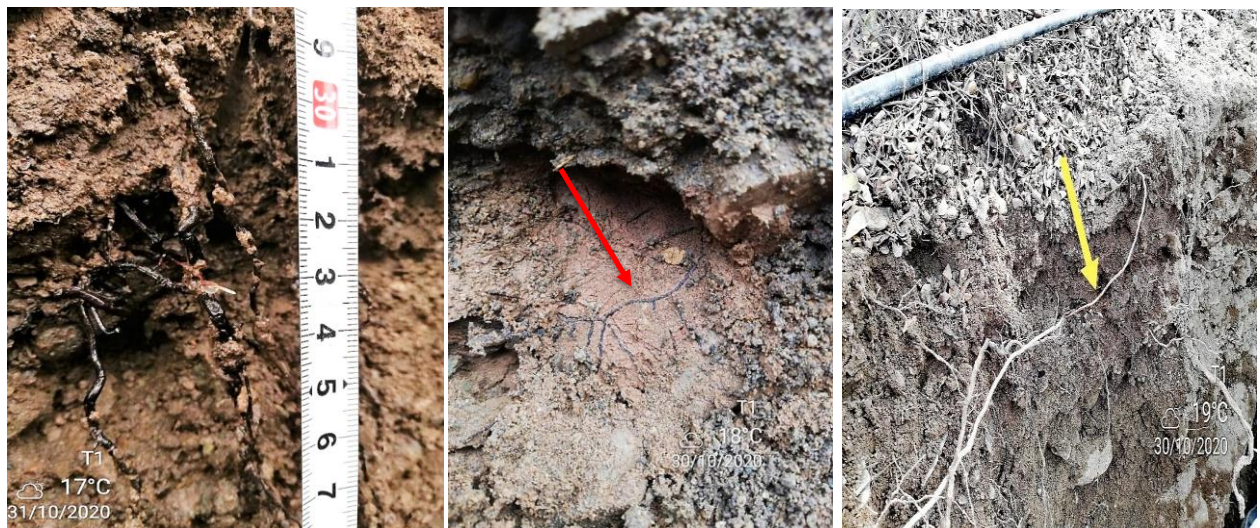
En T<sub>1</sub> la aparición de raíces nuevas estuvo concentrada entre los 15 y 47 cm de profundidad. Como se puede apreciar en la Figura 94, se percibió la emisión de nuevas raicillas con la cofia en pleno alargamiento (punta blanca). Asu vez, se encontraron raíces de 4 mm de diámetro con la epidermis negruzca, en un principio se pensó que eran raíces muertas (Figura 95 A), sin embargo, al partirlas se notó que seguían activas por el color blanco de los haces vasculares.

El desarrollo constante de raicillas nuevas asegura un sistema radicular eficiente. Las raíces más finas son las directamente relacionadas con la absorción de agua y nutrientes, pero en un período de pocas semanas estas raíces pasan de blancas a marrón claro, hasta llegar a tonos casi negros, tal como se ha observado en el rizotróf T1. La actividad metabólica decrece a medida que aumenta la pigmentación, alcanzando valores mínimos a las pocas semanas (Darwin 2017).

También se observaron raíces antiguas en descomposición y lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) (Figura 96), debido a la humedad del terreno.



**Figura 94: Rizotrón T1: Raicillas nuevas entre los 20 - 30 cm de profundidad**



**Figura 95: Rizotrón T1. A: Raíces nuevas entre los 30 - 37 cm de profundidad. B: Raicillas debajo de una piedra. C: Raíces activas**



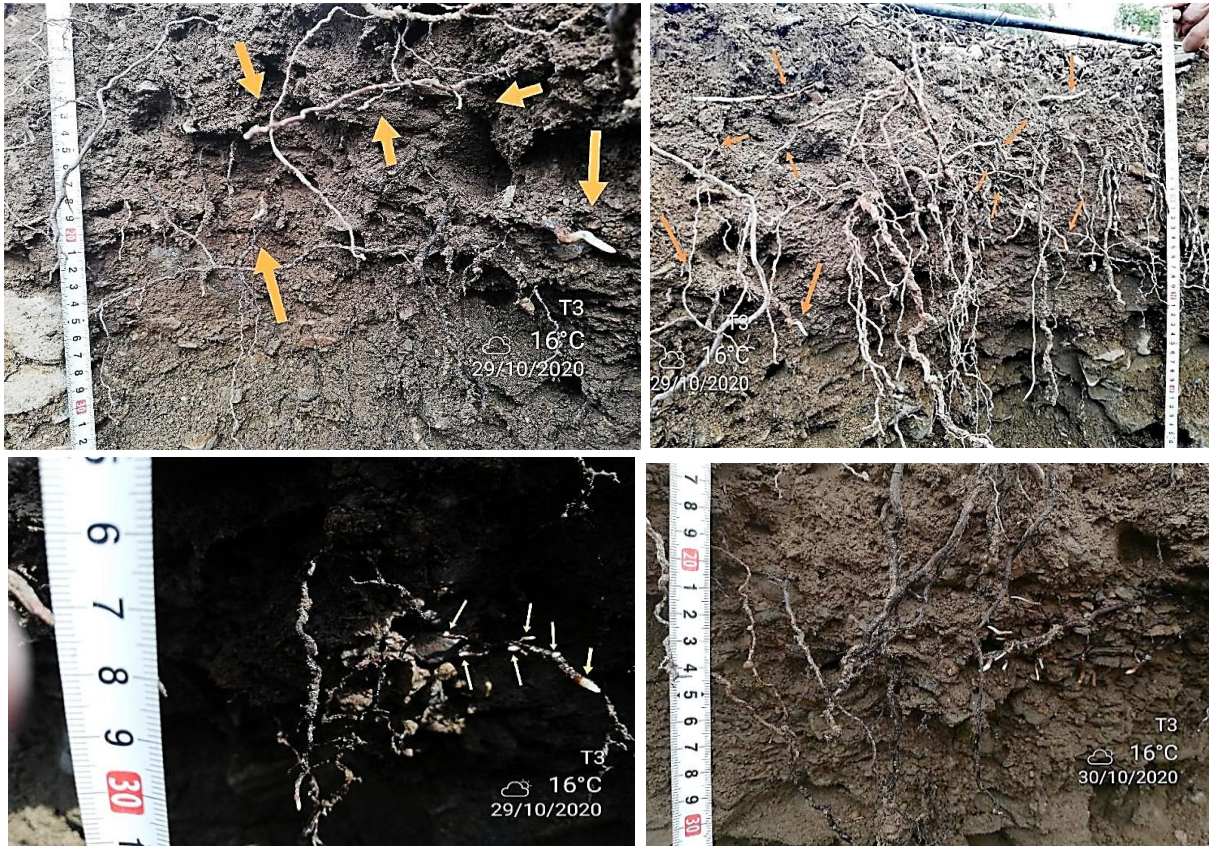
**Figura 96: Rizotrón T1: *Eisenia foetida***

En el rizotrón T<sub>3</sub> (Figura 97), se encontraron raíces ramificadas de hasta 16 cm de largo, con la cofia en pleno alargamiento (Figura 98 y 99). Además, se encontraron numerosas raíces activas de 4 mm de diámetro con la epidermis negruzca entre los 5 a 30 cm de profundidad (Figura 100). Así mismo, se encontraron lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en la capa arable. Los primeros 50 cm de profundidad permanecieron en permanente humedad.

La presencia de microorganismos y meso fauna (protozoos, lombrices, nemátodos, insectos y ácaros), interactúa con la superficie de las raíces (rizosfera) estimulando el crecimiento de las raíces, promoviendo la expansión celular mediante la alteración del pH y la producción de hormonas vegetales como citoquininas. Otra hormona producida, es el ácido indolacético, que estimula las bombas ATPasas, lo cual baja el pH, debilitando las paredes celulares y acelerando el crecimiento de la planta por medio de expansión celular (Khan 2005).



**Figura 97: Rizotrón T3**



**Figura 98: Rizotróf T3: Crecimiento apical de raíces nuevas**



**Figura 99: Rizotróf T3: Raíces ramificadas con la cofia en pleno alargamiento**



**Figura 100: Rizotrón T3: Raíces activas (haces vasculares blanquecinos)**

En el rizotrón T<sub>5</sub> (Figura 101), también se observaron la aparición de raíces nuevas, las raíces vistas fueron superficiales (concentradas entre los 5 a 25 cm de profundidad) (Figura 103). Al igual que en los otros tratamientos se encontraron raíces activas de 4 mm con la epidermis negra (Figura 102). El perfil de humedecimiento de este tratamiento solo llegó a los 20 cm de profundidad.



**Figura 101: Rizotrón T5**



**Figura 102: Rizotróñ T5: Raíces superficiales de 4 mm de diámetro**



**Figura 103: Rizotróñ T5: Generación de raíces nuevas**

En el rizotróñ T<sub>0</sub>, se observó la generación de nuevas raíces a los 34 días después del riego de ruptura de agosto (34 dra), tal como se aprecia en la Figura 104.



**Figura 104: Rizotrón T0: Generación de raíces a los 34 días de la ruptura de agosto**

Se debe mencionar, que encontrar las raíces nuevas fue muy difícil, debido a la textura gruesa del terreno y por el alto porcentaje de piedras, que no permitió ver las raíces a simple vista, por tal motivo al escarvar, se rompieron muchas raicillas y otras estaban escondidas detrás de las piedras (Figura 95B). Otro factor, fue la distancia del tallo de la planta a la que se dispuso el rizotrón, en un principio fue a los 60 cm lo cual no permitió visualizarlas, cuando se profundizó y se llegó a los 40 cm del tallo, recién se pudo apreciarlas (Figura 92).

En general, se observó en los cuatro rizotrones un marcado hidrotropismo de las nuevas raicillas y su crecimiento direccional a la disponibilidad de agua. Esto se produce debido al efecto del agua sobre el metabolismo de las células del ápice de la raíz, cuando la cofia percibe el gradiente de humedad del suelo, provoca que las células de las raíces en contacto con el agua crezcan más que las que no lo están (Castro 2020). Así mismo, la acción del ácido abscísico (ABA), regula el transporte de auxinas ante la respuesta hidrotrópica de la raíz, jugando un papel importante en la tolerancia de la planta a la sequía (Martínez 2019).

#### **d.2. Evaluación de los frentes de humedad del suelo**

Desde la instalación del sistema de riego, se realizaron pruebas en las diferentes líneas de riego para determinar el frente de humedecimiento y el traslape del bulbo de riego (Figura 105), sin embargo, para el monitoreo periódico de la humedad, no se contaba con un método idóneo que permitiera determinar el contenido de humedad para las características de textura gruesa (arena franca) y alto contenido de piedras del suelo (69%) en la investigación.





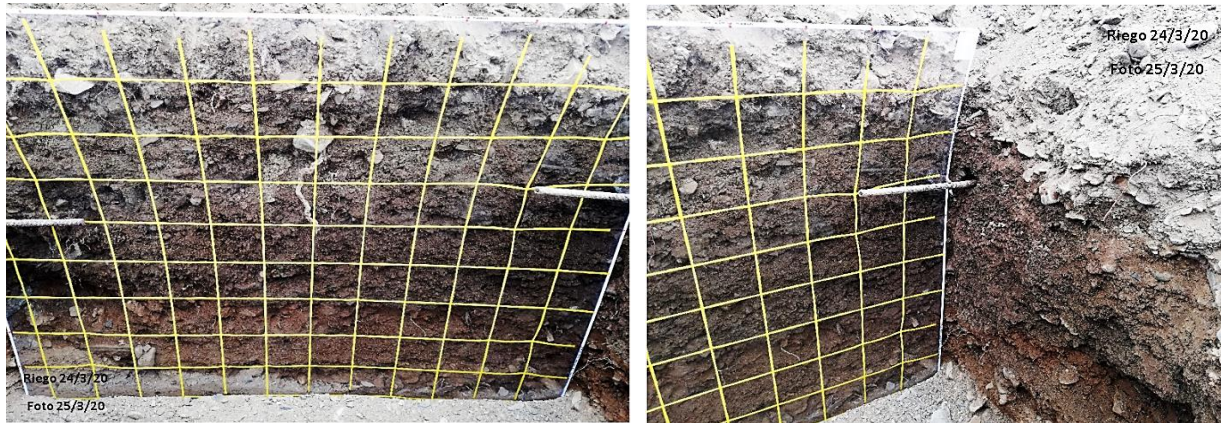
**Ilustración 105: Evaluación del frente de humedad del suelo**

Enciso *et al.* (2007) señala, que es muy importante el contacto del sensor con el suelo y evitar las bolsas de aire alrededor de los sensores para obtener lecturas más representativas del suelo natural, debido a que los sensores miden el contenido de agua cerca de su superficie, por tanto, el uso de sensores y tensiómetros hubieran efectuado un registro impreciso de las condiciones de humedad presentes en el suelo del área experimental. Por otro lado, el empleo del método gravimétrico, habría sido el más adecuado por emplear, sin embargo, las restricciones en movilización y servicios por la aparición del Covid-19 impidieron la posibilidad de llevar las muestras al laboratorio de Ingeniería Agrícola de la UNALM para su evaluación.

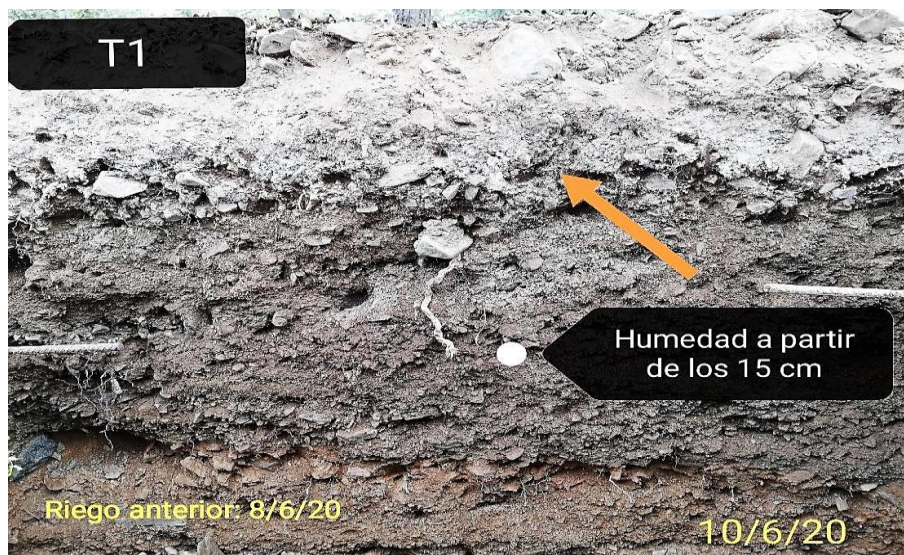
Por tal motivo, los rizotrones instalados en los tratamientos por goteo ( $T_1$ ,  $T_3$  y  $T_5$ ) y en el tratamiento por gravedad ( $T_0$ ), permitieron evaluar los frentes de humedad en el suelo.

En  $T_1$  (100%  $ET_0$ ), se observa que el perfil de humedecimiento ( $x$ ,  $y$ ) llegó hasta los 90 cm tanto en forma vertical como en desplazamiento horizontal en todas las etapas fenológicas. Las dos capas de raíces presentes en el perfil (de 15 a 30 cm y la de 70 a 90 cm de profundidad) siempre tuvieron la suficiente humedad para su desarrollo.

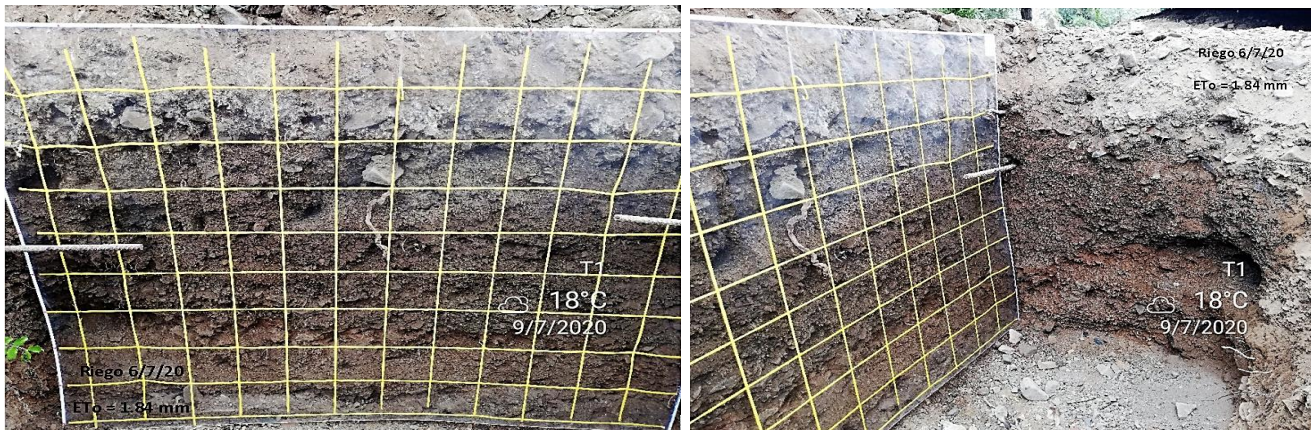
A continuación, se presenta una serie de fotos del rizotrón T<sub>1</sub> en la que se observa el perfil de humedecimiento en los diferentes meses (Figuras 106 al 111).



**Figura 106: Rizotrón T<sub>1</sub>: Riego del 24 de marzo. Imagen tomada al día siguiente**



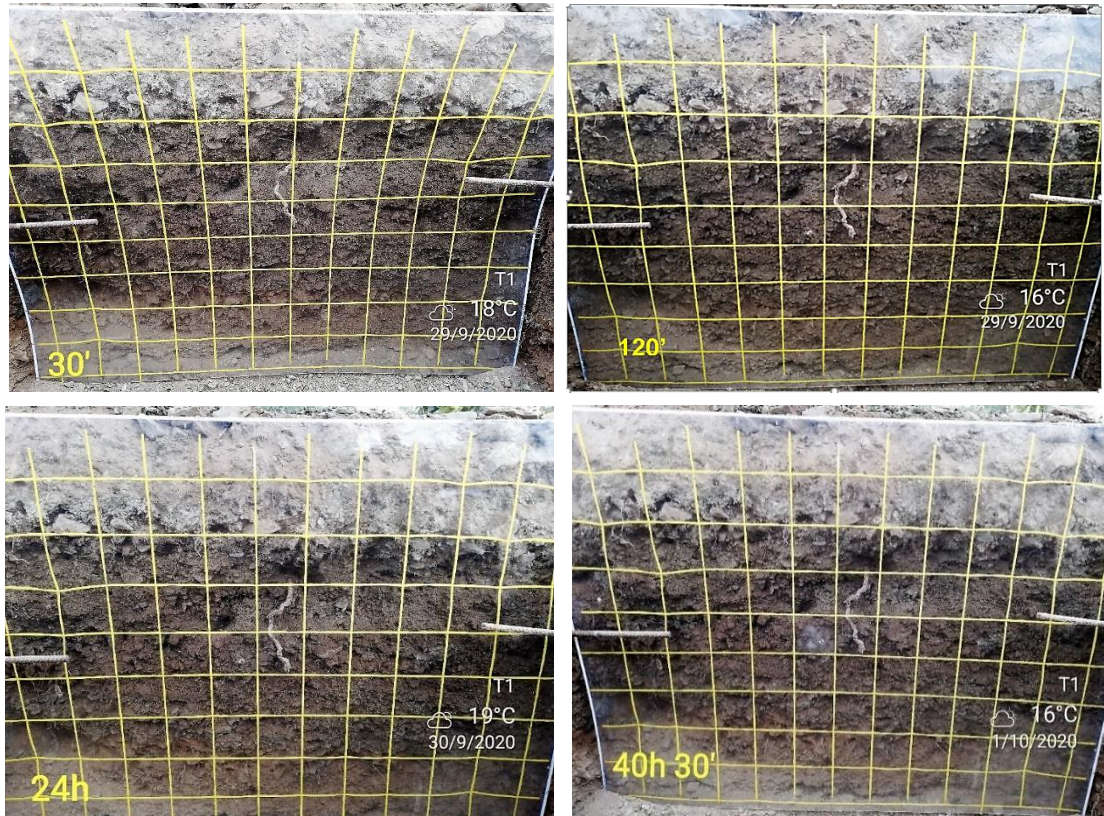
**Figura 107: Rizotrón T<sub>1</sub>: Riego del 8 de junio, imagen tomada a los dos días siguiente**



**Figura 108: Rizotróf T1: Riego del 6 de julio, imagen de la infiltración tomada a los dos días siguiente**



**Figura 109: Rizotróf T1: Riego del 3 de agosto, imagen de la infiltración en tres dimensiones (x, y, z) tomada después de cuatro días**

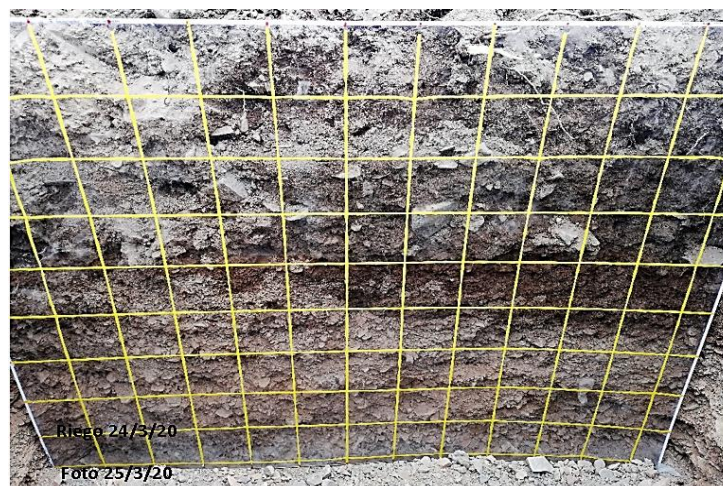


**Figura 110: Rizotróf T1: Riego del 29 de setiembre, secuencia de imágenes de la infiltración en dos dimensiones (x, y) en el tiempo**



**Figura 111: Rizotrón T1: Riego del 29 de setiembre, secuencia de imágenes de la infiltración en las tres dimensiones (x, y, z) a través del tiempo**

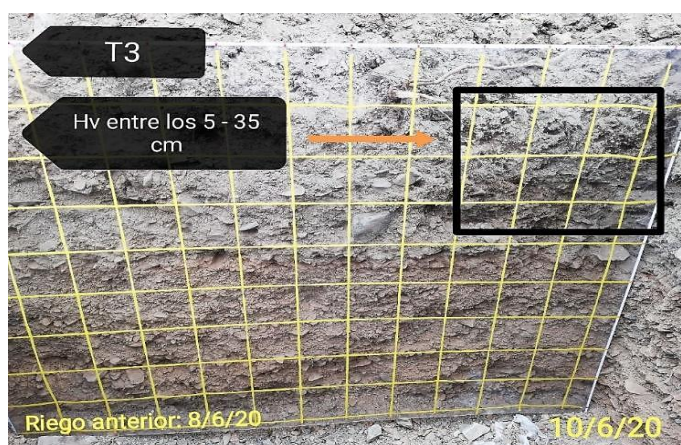
En el T<sub>3</sub> (60% ETo), el perfil de humedecimiento (x, y) durante toda la fase experimental, llegó entre los 35 a 55 cm de profundidad, humedeciendo la primera capa de raíces existentes. No se observó humedecimiento en el eje z (Figuras del 112 al 115).



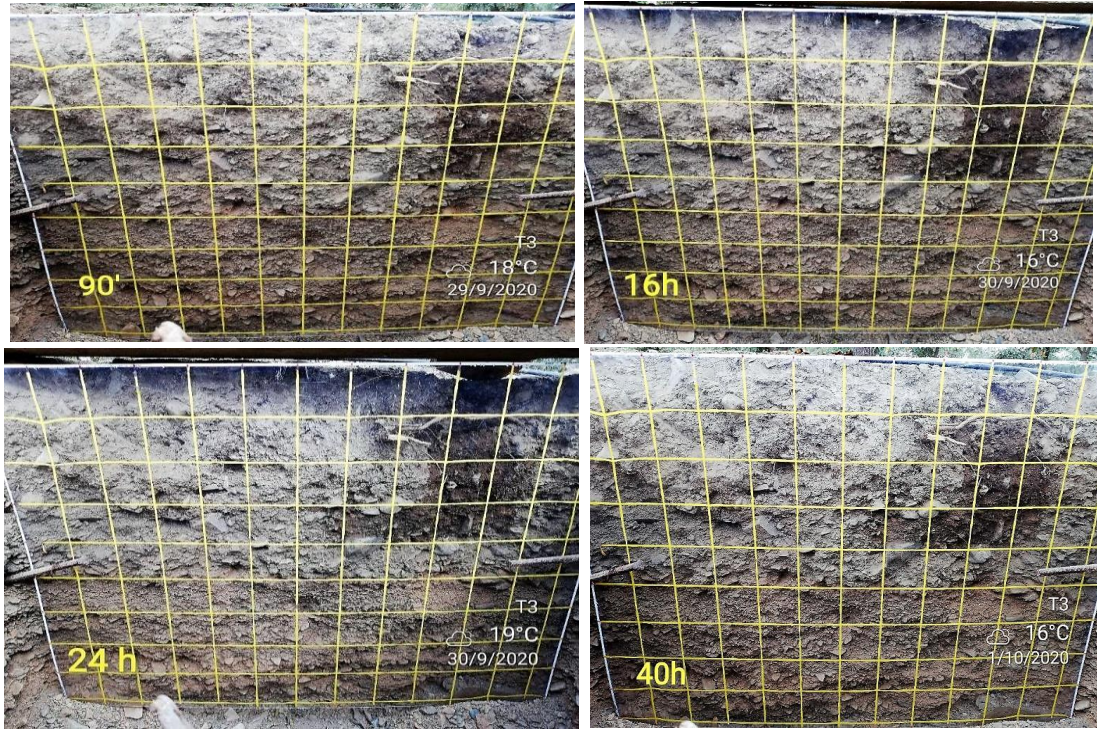
**Figura 112: Rizotrón T3: Riego del 24 de marzo, imagen de la infiltración tomada al día siguiente**



**Figura 113: Rizotróf T3: Riego del 7 de abril y 20 de mayo, humedad entre los 40 y 45 cm de profundidad**

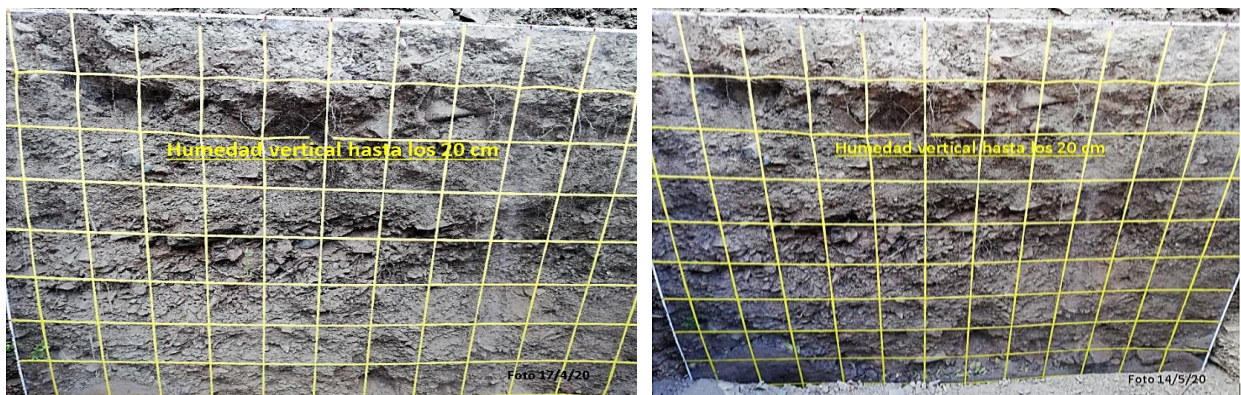


**Figura 114: Rizotróf T3: Riego del 8 de junio, imagen de la infiltración tomada a los dos días**

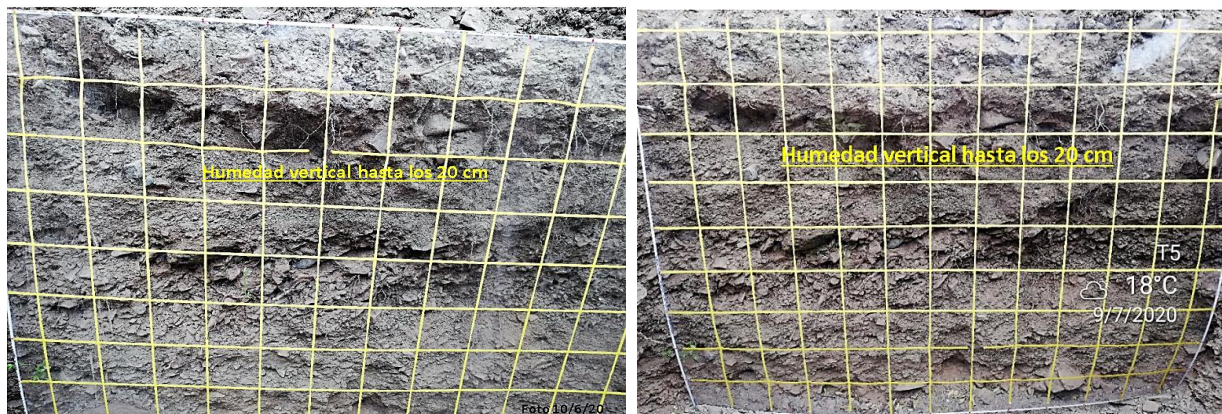


**Figura 115: Rizotróf T3: Riego del 29 de setiembre, secuencia de imágenes de la infiltración (x, y) en el tiempo. Nota: la parte oscura fue escarbada para ubicar la humedad**

El perfil de humedecimiento en el rizotróf T<sub>5</sub> (20% ETo), tuvo una profundidad de 20 cm, logrando humedecer solo una parte de las raíces de la primera capa. No se observó humedecimiento en el eje z en el perfil del suelo (Figuras del 116 y 117).



**Figura 116: Rizotróf T5: Riego del 17 de abril y 14 de mayo, humedad en el perfil hasta los 20 cm de profundidad**



**Figura 117: Rizotrón T5: Riego del 10 de junio y 9 de julio, humedad en el perfil hasta los 20 cm de profundidad**

#### **4.2.4. Balance hídrico utilizando el riego por goteo**

Considerando la oferta de agua recibida con la instalación de sistema de riego por goteo en las 14.5 has sembradas en el fundo Belloni, se recomienda cambiar paulatinamente la fecha de inicio de campaña del cultivo de tara, con la finalidad de hacer coincidir todo su ciclo fenológico (brotamiento – cosecha) con la temporada de avenida y el agoste con la temporada de estiaje, en estas condiciones se le podría brindar al cultivo 100% ETo durante todo su ciclo. Con respecto a las plantaciones de pera, estas podrían regarse con un factor riego de 40% ETo, durante los meses de octubre y noviembre, sin que se esperase que la planta manifestara mayores problemas de desarrollo, por ser un cultivo caducifolio. En los Cuadros 83 y 84, se presenta la demanda y balance hídrico propuesto, respectivamente.



**Cuadro 83: Demanda hídrica del cultivo de tara y pera en el Fundo Belloni en un supuesto de riego por goteo y cambio de la fecha del inicio de campaña de la plantación de tara**

Época	Avenida						Estiaje					
Mes	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov
Área riego tara (ha)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	AGOSTE		
Área riego pera y manzana (ha)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	AGOSTE		4.3	4.3	4.3
Área total bajo riego (ha/mes)	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	10.2	10.2	4.3	4.3	4.3
ETo prom/mes (mm)	2.03	4.39	4.38	4.04	3.36	2.01	1.27	1.06	1.27	1.66	2.39	2.57
Días del mes	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30
Volumen neto agua (m3/ha)	629	1,361	1,226	1,252	1,008	623	381	329	394	498	741	771
% ETo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.4	0.4
Eficiencia riego por goteo (%)	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Volumen bruto agua (m3/ha)	692	1,495	1,348	1,376	1,108	685	419	361	433	547	814	847
Demanda total (m3)	10,027	21,685	19,542	19,956	16,062	9,929	6,071	3,683	4,413	2,353	1,400	1,457

**Cuadro 84: Balance hídrico propuesto en un supuesto de riego por goteo y cambio de la fecha del inicio de campaña de la plantación de tara**

Época	Avenida						Estiaje						TOTAL
Mes	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	
OFERTA (m3)	24,208	24,208	24,208	24,208	20,173	20,173	8,646	5,724	4,770	3,407	1,391	1,391	162,507
DEMANDA (m3)	10,027	21,685	19,542	19,956	16,062	9,929	6,071	3,683	4,413	2,353	1,400	1,457	116,577
BALANCE HIDRICO (m3)	14,180	2,523	4,666	4,252	4,112	10,245	2,575	2,041	357	1,054	-9	-66	45,929

### 4.3. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN EL RENDIMIENTO A DIFERENTES VOLÚMENES DE AGUA APLICADA Y FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN

#### 4.3.1. Rendimiento total

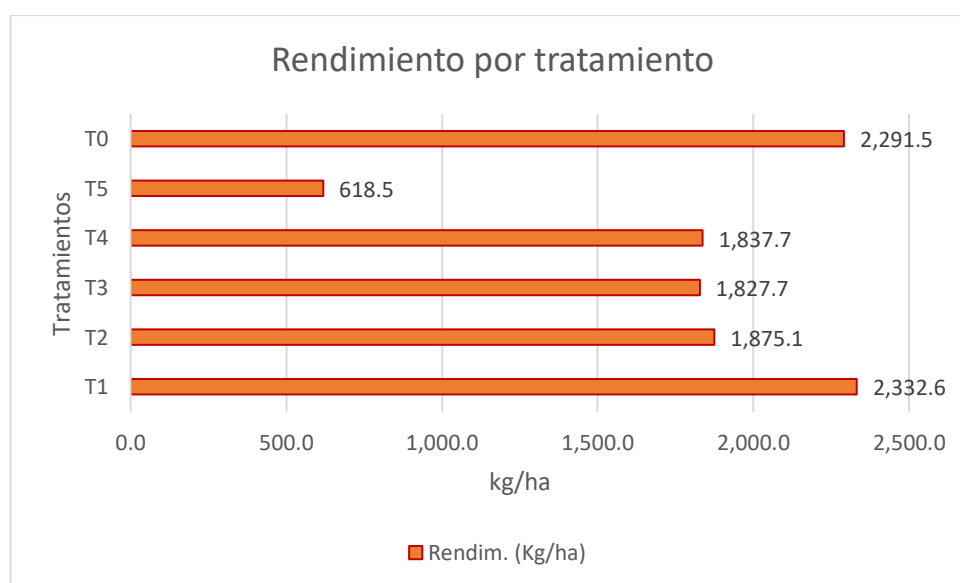
El mayor rendimiento obtenido en la presente investigación, fue en el tratamiento T<sub>1</sub> con 2,332.6 kg/ha, siguiendo el tratamiento de riego por gravedad (T<sub>0</sub>) con 2,291.5 kg/ha y el T<sub>2</sub>

con 1,875.1 kg/ha; en el Cuadro 85 y Figura 118, se aprecia la tendencia en el incremento del rendimiento conforme se le repone a la planta un mayor porcentaje de la ETo (lámina de riego).

Esta propensión es similar a lo reportado por González *et al.* (2014), en la que afirma que la función agua aplicada-rendimiento es lineal sólo cuando se considera en un rango de riego deficitario, donde toda el agua aplicada es usada como evapotranspiración (ET) y puede existir entonces similitud con la función ET – rendimiento.

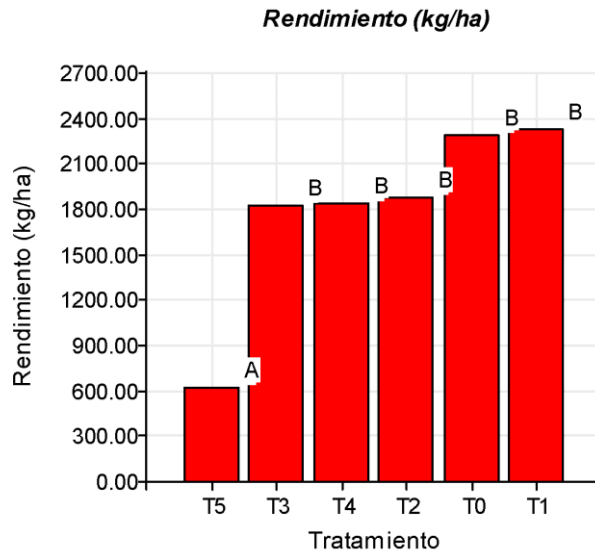
**Cuadro 85: Rendimiento obtenido por tratamiento**

ETo	100%	80%	60%	40%	20%	Riego por gravedad
TRATAMIENTO POR GOTEO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>0</sub>
Rendimiento (Kg/ha)	2,332.6	1,875.1	1,827.7	1,837.7	618.5	2,291.5



**Figura 118: Rendimiento obtenido por tratamiento**

Con respecto al análisis de varianza, se observa en la Figura 119 que no se presenta diferencia estadística entre el T<sub>0</sub> y los tratamientos por goteo del T<sub>1</sub> al T<sub>4</sub>, sin embargo, se encuentra significancia en el T<sub>5</sub>, que es el tratamiento que solo recibió el 20% ETo (618.5 kg/ha).



**Figura 119: Análisis de varianza del parámetro rendimiento total**

En el T<sub>5</sub>, los árboles de tara no lograron alcanzar rendimientos aceptables por m<sup>3</sup> de lámina de agua aplicada, sin embargo, el árbol no presentó mayores problemas de crecimiento en cobertura verde, por lo cual podría ser una alternativa para ser aplicada en zonas urbanas con fines de paisajismo y reforestación de áreas eriazas con el consecuente beneficio ambiental. Según Pacheco (2010), el bajo rendimiento obtenido por el T<sub>5</sub>, puede deberse al estrés causado por las altas temperaturas y sobre todo a la falta de agua, ocasionando el cierre de estomas con la consiguiente disminución en la asimilación neta de CO<sub>2</sub> y abscisión de frutos. Así mismo, reporta un rendimiento de 35.4 kg/planta en cultivos asociados, 22.4 kg/planta en cercos vivos y 2.25 kg/planta en bosque natural; sin embargo, estos valores son los registrados en plantas aisladas sin especificar la edad.

En el informe técnico desarrollado por la Asociación Pro-Desarrollo Agroindustrial Camaná (APAIC) (2013), reporta que las plantaciones establecidas en la costa con distanciamientos de 3x4, 4x4 y 5x3 m<sup>2</sup> bajo sistema de riego por goteo, los rendimientos varían entre 5,500 a 14,000 kg/ha/año.

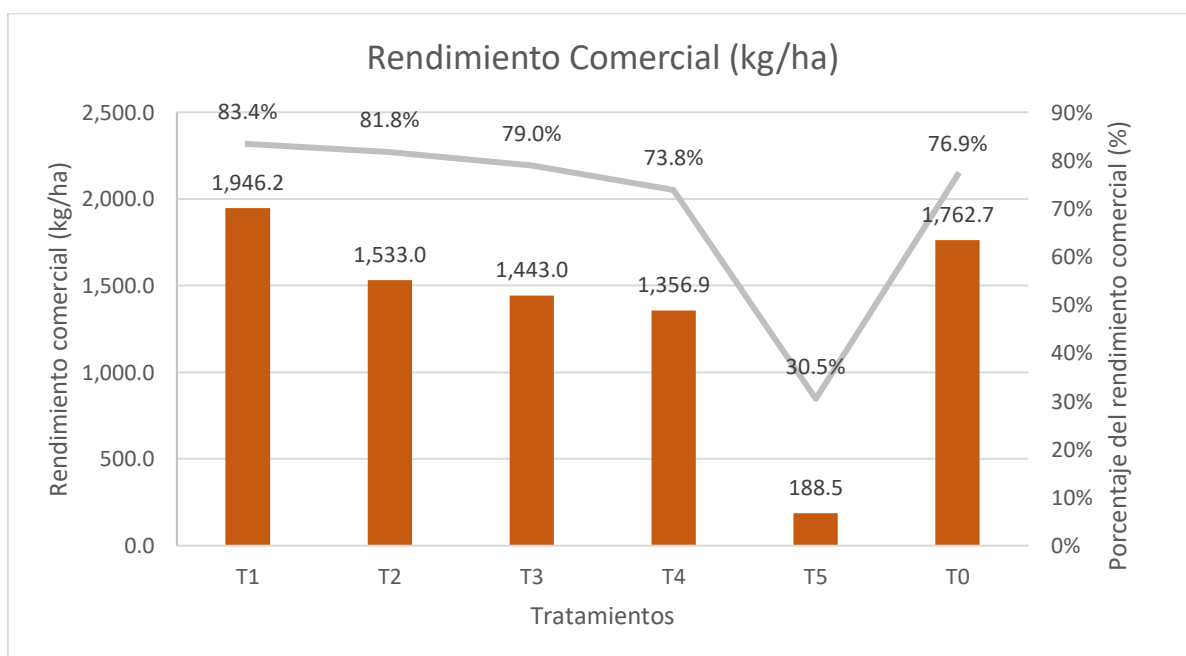
#### **4.3.2. Rendimiento comercial**

El rendimiento comercial está definido por el peso por hectárea obtenido de vainas en estado sanitario óptimo y número de semillas completas e hinchadas. En el Cuadro 86 y Figura 120, se advierte que el mayor porcentaje lo obtuvo el tratamiento T<sub>1</sub> con un rendimiento comercial de 1,946.17 kg/ha, lo que significó un 83.4 % del total del rendimiento. En el caso de T<sub>0</sub>, el

rendimiento de vaina comercial fue de 1,762.7 kg/ha, lo que representó el 76.9 % del total. Se observa que, a mayor lámina de riego aplicada, el rendimiento comercial se incrementa y sucede lo opuesto a menor cantidad de agua aplicada, donde los rendimientos comerciales decrecen como en el caso del T<sub>5</sub> (30.5% de vainas comerciales), debido a que la planta al recibir menos agua, se hace proclive al ataque de insectos chupadores y masticadores. En el caso del T<sub>5</sub>, se observó, una mayor incidencia de *Pinnaspis sp* y *Epinotia aporema*, en tallo y vainas respectivamente.

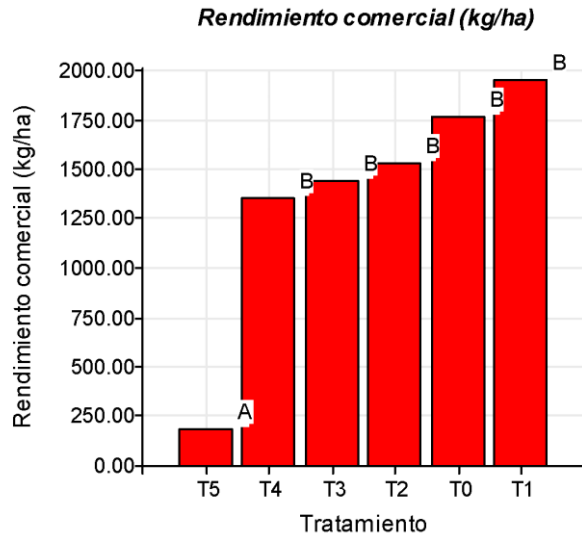
**Cuadro 86: Rendimiento y porcentaje de vainas comerciales**

ETo	100%	80%	60%	40%	20%	Riego por gravedad
TRATAMIENTO POR GOTEO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>0</sub>
Rendimiento Peso Comercial (Kg/ha)	1,946.2	1,533.0	1,443.0	1,356.9	188.5	1,762.7
Porcentaje Peso Comercial (%)	83.4%	81.8%	79.0%	73.8%	30.5%	76.9%



**Figura 120: Rendimiento y porcentaje de vainas comerciales**

En el análisis de varianza empleando la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%, el T<sub>5</sub> obtuvo una significativa diferencia en comparación con los demás tratamientos en estudio, como se aprecia en la Figura 121 (188.5 kg/ha).



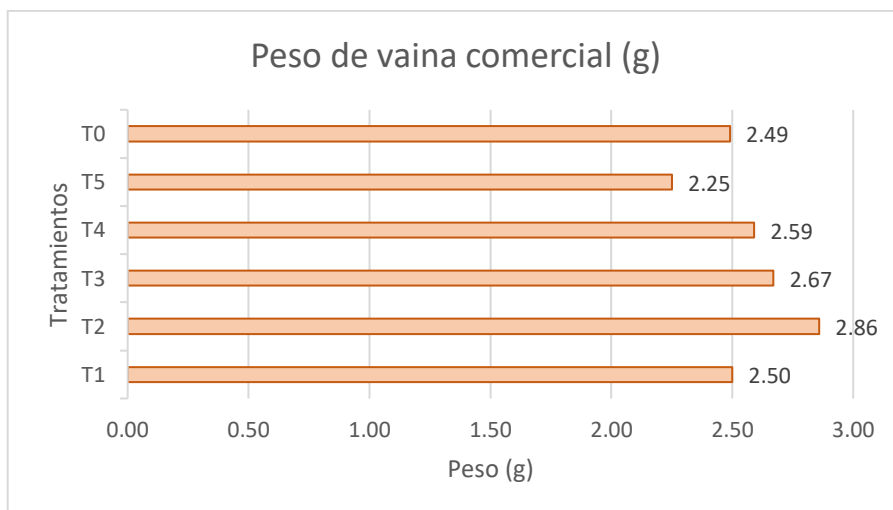
**Figura 121: Análisis de varianza para el parámetro rendimiento comercial**

#### 4.3.3. Peso unitario de vaina de calidad comercial

Se calculó el peso unitario de vaina de calidad comercial, en base a los datos anteriores. Se aprecia que no hay diferencia significativa en los tratamientos, indistintamente si han recibido más o menos lámina de riego (Cuadro 87 y Figura 122).

**Cuadro 87: Peso unitario de vaina de calidad comercial**

ETo	100%	80%	60%	40%	20%	Riego por gravedad
TRATAMIENTO POR GOTEO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>0</sub>
Peso de una vaina (g)	2.50	2.86	2.67	2.59	2.25	2.49



**Figura 122: Peso de vaina comercial**

#### 4.3.4. Función de producción

En los tratamientos por goteo se observa que, a mayor lámina aplicada, mayores rendimientos. El tratamiento T<sub>1</sub> que recibió una lámina acumulada de 5,170.5 m<sup>3</sup>/ha, obtuvo un mayor rendimiento (2,332.6 kg/ha) en comparación al tratamiento T<sub>5</sub> que recibió una lámina de riego correspondiente a 1,705.8 m<sup>3</sup>/ha logrando obtener un rendimiento de 618.46 kg/ha (Cuadro 88).

Comparando el T<sub>1</sub> y el T<sub>0</sub>, ambos recibieron una lámina similar de riego, teniendo rendimientos semejantes a pesar que son láminas aplicadas en distintos sistemas de riego por goteo y gravedad, respectivamente.

Villanueva (2019) afirma que, para un manejo comercial intensivo, el régimen hídrico deberá ser de 4,000 a 5,000 m<sup>3</sup>/ha. Pacheco (2010), citando a Adra Ofasa – Perú (2000), considera que la precipitación pluvial en los valles interandinos debe estar entre 200 y 600 mm anuales (2,000 y 6,000 m<sup>3</sup>/ha) para satisfacer las necesidades de esta especie, es así, que las láminas de riego aplicadas en el presente estudio corresponden a dichos valores, en los tratamientos T<sub>0</sub> y T<sub>1</sub>, la lámina acumulada durante toda la campaña fue de 5,231.7 y 5,170 m<sup>3</sup>/ha respectivamente, en el T<sub>2</sub> de 4,304 m<sup>3</sup>/ha, en el T<sub>3</sub> de 3,438 m<sup>3</sup>/ha y T<sub>4</sub> de 2,572 m<sup>3</sup>/ha. Cuando se redujo la lámina de riego en 1,705 m<sup>3</sup>/ha (T<sub>5</sub>), el rendimiento decreció a 618.5 kg/ha, como se demuestra en el Cuadro 88.

**Cuadro 88: Lámina acumulada y rendimiento obtenido por tratamiento**

TRATAMIENTO	Lámina Acumulada (m <sup>3</sup> /ha)	Rendimiento (Kg/ha)
T5	1,705.8	618.5
T4	2,572.0	1,837.7
T3	3,438.1	1,827.7
T2	4,304.3	1,875.1
T1	5,170.5	2,332.6
T0	5,231.7	2,291.5

Con respecto a la función de producción, en la Figura 123, se aprecia la relación entre el rendimiento y la cantidad aplicada de agua. La línea de tendencia que más se ajustó a las láminas acumuladas y al rendimiento fue una ecuación polinómica de cuarto grado con un R<sup>2</sup> de 0.9987, que no es la curva esperada, debido a que en la fase I (T<sub>5</sub> y T<sub>4</sub>), se observó que el rendimiento aumentó rápidamente, en la fase II (T<sub>3</sub> y T<sub>2</sub>), se obtuvo rendimientos similares

entre los 2,500 a 4,000 m<sup>3</sup>/ha, y en la fase III, vuelve a aumentar cuando se incrementa el agua aplicada a partir de los 4,000 hasta los 5,200 m<sup>3</sup>/ha.

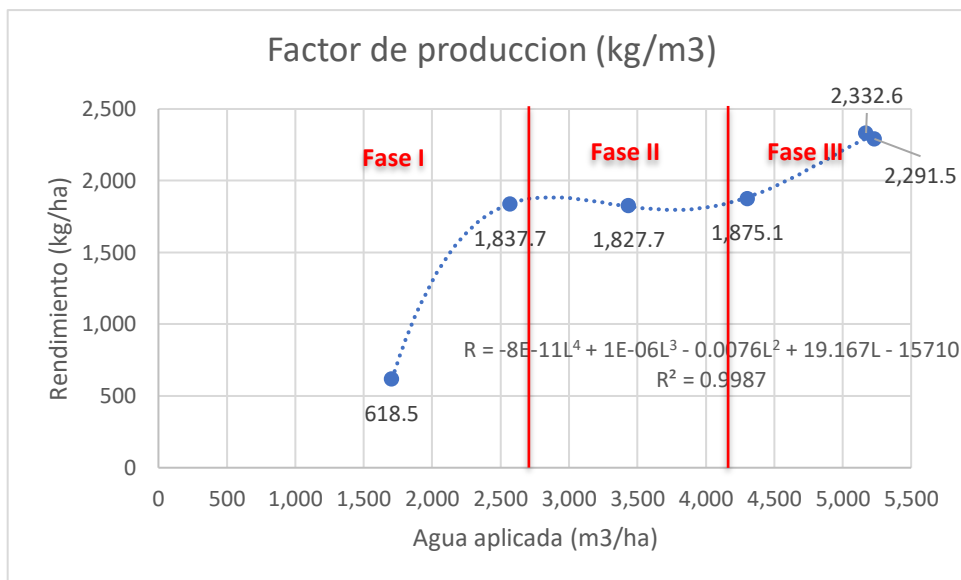
Los resultados obtenidos, pueden deberse a que la plantación en estudio, es un cultivo establecido de seis años de edad regado por gravedad el cual tiene el sistema radicular formado, presentando dos capas muy marcadas de raíces, una entre los 15 a 30 cm y la otra entre los 70 a 90 cm de profundidad.

Cuando se aplicó una lámina de riego de 2,500 a 4,000 m<sup>3</sup>/ha se logró cubrir las necesidades de la primera capa de raíces, alcanzando rendimientos de 1,827 a 1,875 kg/ha. No se logró humedecer profundidades mayores de 55 cm ni se presentó un reacomodo de raíces hacia las zonas húmedas, por lo que se mantuvo un rendimiento similar en el T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>.

Cuando se incrementó la lámina de riego a partir de los 4,000 a 5,200 m<sup>3</sup>/ha, el perfil de humedecimiento logró alcanzar una profundidad de 90 cm, incrementando los rendimientos a 2,300 kg/ha.

Con el T<sub>1</sub> se simuló el proceso de la redistribución de la humedad en el suelo, similar al del riego por gravedad en la superficie (plano x, y) y en la profundidad (plano x, z).

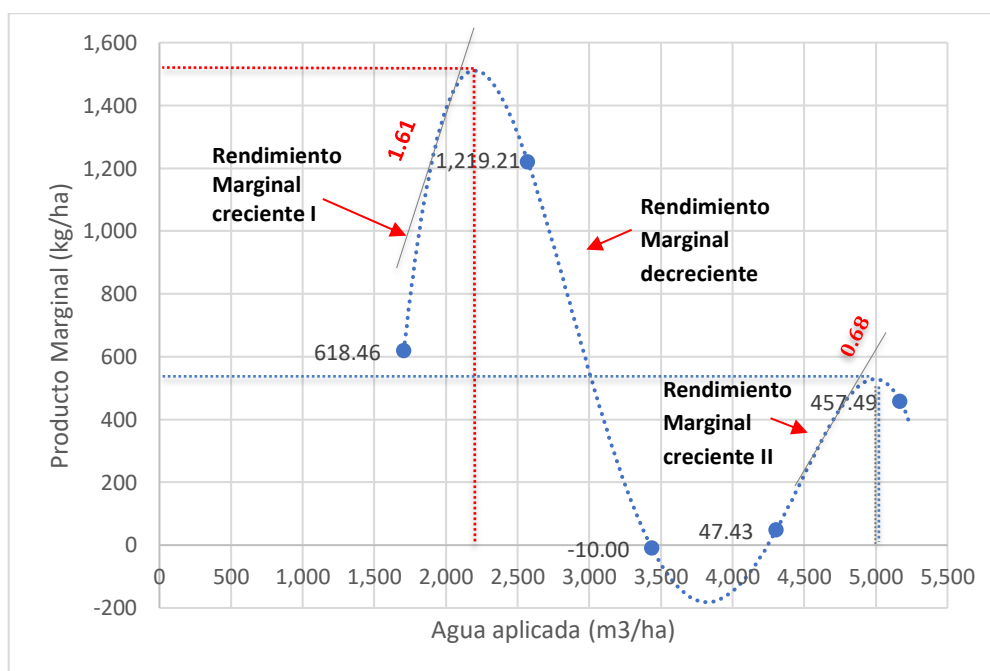
Si se sigue incrementando la lámina de riego, se espera que los rendimientos, en un determinado punto, se mantengan constantes y no decrecerá el rendimiento a mayor lámina de agua aplicada, debido a que la textura del suelo es arena franca con una pedregosidad de 69 % y una velocidad de infiltración básica de 60 mm/h.



**Figura 123: Función de producción**

Kumar *et al.* (2007) presentaron al polinomio de segundo orden como la mejor opción para describir la relación entre el agua aplicada por riego y el rendimiento de la cebolla cultivada en suelo arenoso bajo condiciones semiáridas en la India.

Dichas variaciones en el rendimiento y lámina acumulada pueden ser apreciados con mayor claridad cuando se grafica la curva del producto marginal del agua de riego aplicada (Figura 124).



**Figura 124: Producto marginal del agua aplicada**



Se observa un rendimiento marginal creciente I, cuando se aplica una lámina acumulada de riego hasta los 2,200 m<sup>3</sup>, siendo la pendiente en este punto de 1.61 kg/m<sup>3</sup>, significa que por cada m<sup>3</sup> de agua aplicada, el rendimiento crece en 1.61 kg; a partir de este punto se obtienen rendimientos marginales decrecientes por cada m<sup>3</sup> de lámina aplicada hasta los 3,750 m<sup>3</sup>. Existe un rendimiento marginal creciente II, cuando se aumenta la lámina aplicada a partir de los 3,750 hasta los 5,000 m<sup>3</sup> se obtiene un incremento en el rendimiento de 550 kg, siendo la pendiente de dicha curva de 0.68 kg/m<sup>3</sup>, lo que significa que, por cada m<sup>3</sup> de agua aplicada, el rendimiento es de 0.68 kg.

- **Productividad del agua (WP) – uso eficiente del agua**

La productividad del agua es una medida que determina la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir agua en alimento, es decir, cuánto producto se generó respecto al volumen de agua asignado (Ortiz y Larios 2020),

Se puede evaluar como la relación entre el rendimiento de cosecha y el agua total aplicada al sistema a través de las láminas de riego, según la siguiente ecuación (González 2011):

$$WP = R/I$$

Donde:

WP: Productividad del agua aplicada por riego (kg m<sup>3</sup>)

R: Rendimiento (kg/ha)

I: Lámina de agua aplicada (m<sup>3</sup>/ha)

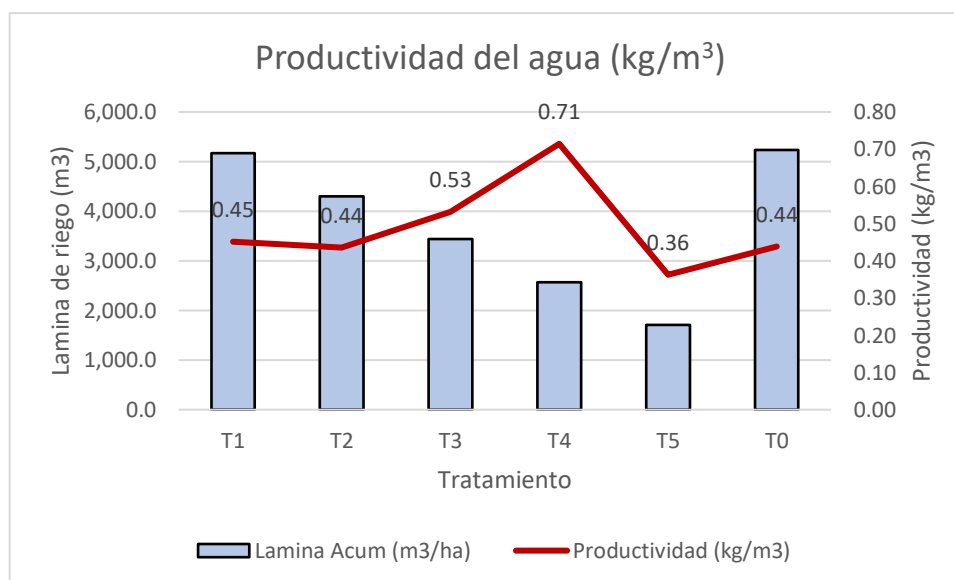
Del Cuadro 89 y Figura 125, se puede observar que el T<sub>4</sub> es el tratamiento que presentó una mayor productividad del agua (0.71 kg de vaina de tara seca) por m<sup>3</sup> de agua aplicada, siguiéndole el T<sub>3</sub> con 0.53 kg/m<sup>3</sup>; en cambio el T<sub>5</sub>, solo presentó 0.36 kg/m<sup>3</sup>, esto sugiere que el T<sub>4</sub> con una lámina de riego acumulada de 2,571.96 m<sup>3</sup> maximizó el rendimiento por m<sup>3</sup> de lámina aplicada. Este diagnóstico permite considerar y tomar decisiones respecto a la eficiencia del uso del agua considerando la relación de los factores climáticos, geográficos, hidrológicos y económicos (Ortiz y Larios 2020).

En el caso de las condiciones cada vez más escasas del recurso hídrico en la zona de estudio y el elevado precio en la adquisición de agua adicional en época de estiaje debido a que es

insuficiente el agua de río en esta época del año, la estrategia a seguir en función de la disponibilidad de agua, es la de maximizar la producción por unidad de agua aplicada por riego es decir lograr la máxima eficiencia del uso del agua, mas no así la obtención del óptimo agronómico el cual se obtendría con la aplicación de láminas de riego superiores a los 5,000 m<sup>3</sup>/ha.

**Cuadro 89: Rendimiento y productividad del agua (kg/m<sup>3</sup>)**

ET <sub>o</sub>	100%	80%	60%	40%	20%	TRATAMIENTO POR GRAVEDAD
TRATAMIENTO POR GOTEO	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>0</sub>
<b>Rendimiento Total (Kg/ha)</b>	2,332.59	1,875.10	1,827.67	1,837.67	618.46	2,291.51
<b>Lámina Acumulado (m<sup>3</sup>/ha)</b>	5,170.50	4,304.32	3,438.14	2,571.96	1,705.78	5,231.69
<b>Productividad del agua (kg/m<sup>3</sup>)</b>	0.45	0.44	<b>0.53</b>	<b>0.71</b>	0.36	0.44



**Figura 125: Productividad del agua (kg/m<sup>3</sup>)**

Con los datos obtenidos en el Cuadro 89 se puede inferir que se podría incrementar la producción con la lámina aplicada en T<sub>4</sub> de 2,571.96 m<sup>3</sup>/ha obteniéndose un rendimiento de 1,837.7 kg/ha, si duplicamos el área de riego se podría tener un rendimiento de 3,675 kg/ha versus lo obtenido con una lámina acumulada de 5,170 m<sup>3</sup> correspondiente al T<sub>1</sub> y un rendimiento de 2,332.59 kg/ha.

#### 4.3.5. Costo de producción

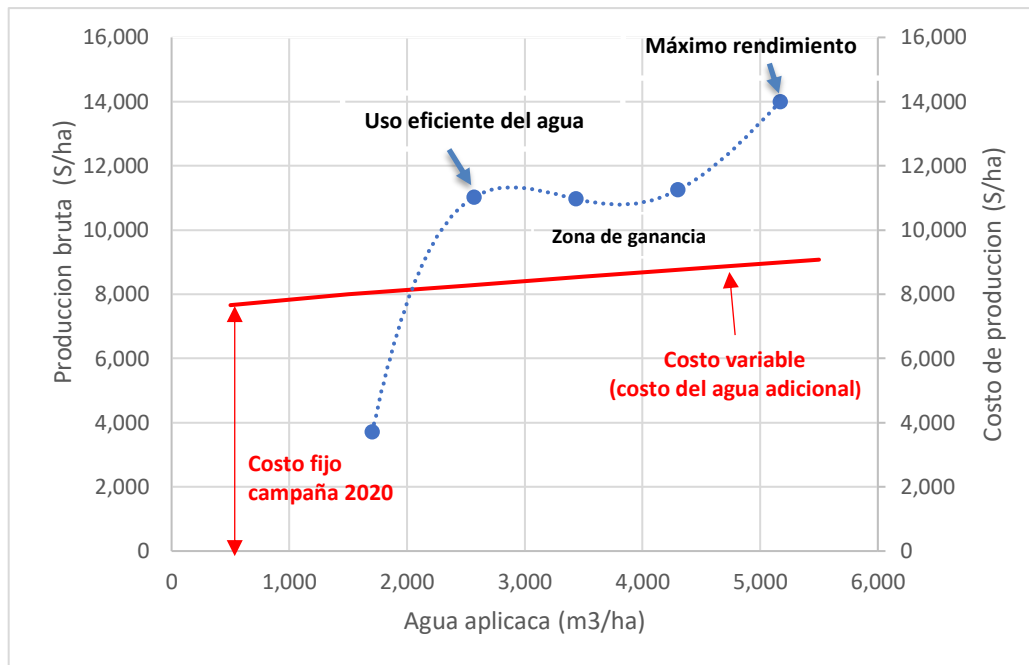
En el Cuadro 90, se presenta un resumen de los costos de producción, los cuales han sido divididos en costos fijos de la campaña 2020 y los costos del agua. Los costos fijos son los costos por concepto de mano de obra por poda, abonamiento, fertilización, aplicaciones foliares y cosecha, así como como del insumo respectivo. El costo del agua son los referidos a la mano de obra empleada en los riegos y el costo por m<sup>3</sup> pagado a la Junta de usuarios distrito hidráulico Lurín.

Los costos totales en la campaña 2020 por riego por gravedad ascendieron a S/8,437.6/ha. Se observa que los mayores costos corresponden a los generados por la fertilización edáfica (S/3,000) costo que depende directamente del tipo del cambio del dólar y los costos por mano de obra de cosecha (S/1,800). Así mismo, cabe anotar que el abonamiento, se realiza cada dos años, por tanto, el costo que se indica en los costos es el proporcional al utilizado en un año. El costo por m<sup>3</sup> de agua de riego en la campaña 2020 es de S/0.06 cifra que proviene del pago por tarifa de agua de S/417 recibida por 7,000 m<sup>3</sup>/ha.

**Cuadro 90: Costos de producción por hectárea con riego por gravedad**

Ítem	Costo Fijo Campaña 2020	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/ha/campaña)
1	Poda	jornal	10	45.0	450.0
2	Abonamiento	saco	150	4.2	630.0
3	Abonamiento	jornal	4	45.0	180.0
4	Fertilización	fertilizante	2	1,500.0	3,000.0
5	Fertilización	jornal	6	45.0	270.0
6	Aplicación pesticida	lt	5	50.0	250.0
7	Aplicación pesticida	jornal	13	45.0	585.0
8	Aplicación herbicida	galón	3	120.0	360.0
9	Aplicación herbicida	jornal	3	45.0	135.0
10	Cosecha	jornal	40	45.0	1,800.0
<b>Sub total</b>					<b>S/ 7,660.0</b>

Ítem	Costo Agua	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/ha/campaña)
1	Riegos	jornal	20	22.5	450.0
2	Riegos	m3	5,500	0.06	327.6
<b>Sub total</b>					<b>S/ 777.6</b>
<b>Total campaña 2020</b>					<b>S/ 8,437.6</b>



**Figura 126: Relación entre la producción bruta, costo de producción y lamina aplicada de riego por goteo**

Como se puede observar en la Figura 126, bajo las condiciones de déficit hídrico de Pachacamac, la estrategia seleccionada es la del uso eficiente del agua ( $T_4$ ), en la que se puede llegar a obtener reducciones de agua a aplicar de un 50.3 % (2,572 m<sup>3</sup>/ha) aunque la selección implicaría la reducción de rendimientos del 21.2% (1,838 kg/ha). Así mismo, suponiendo un precio de venta de tara seca promedio de S/6 y el costo de S/0.5/m<sup>3</sup> de agua adicional para el riego en época de estiaje, la zona de ganancia estaría comprendida a partir de los 2,000 m<sup>3</sup> de agua aplicada. El costo/beneficio sería dependiente del precio de venta y el costo de la adquisición de agua adicional en época de estiaje.

Bajo los parámetros de un uso eficiente del agua, se requiere un precio mínimo de venta de S/4.3 por kg de vaina de tara seca, para cubrir los costos de producción (punto de equilibrio) bajo una condición que no se adquiriera agua adicional. Si debiera comprarse agua adicional, el precio de venta de tara seca deberá incrementarse a S/4.5/ha para estar en punto de equilibrio. Sin embargo, se está presentando una mayor demanda de tara seca a nivel internacional, lo que está originando que el precio se incremente llegando a cotizar a S/7.5 por kg de vaina de tara seca (setiembre del 2021).

El conocimiento de las funciones de agua aplicada por riego-rendimiento y el uso de la productividad del agua, resultan parámetros factibles de introducir como indicadores de

eficiencia en el planeamiento del uso del agua en la agricultura, con lo cual es posible reducir los volúmenes de agua a aplicar y elevar la relación beneficio-costos actual (González *et al.* 2015).

## V. CONCLUSIONES

- Para un adecuado cambio de sistema de gravedad a goteo, el diseño e instalación del sistema de riego por goteo consideró: a) un similar porcentaje de área mojada (21.76 %) al sistema de riego por gravedad; b) coeficiente de uniformidad elevados, de diseño de 99 % y de campo de 92.61 % y c) eliminación de las macroalgas mediante la siembra de tilapias.
- El cambio de sistema de riego por gravedad a goteo, permitió: a) incrementar la eficiencia de riego de 53.5 % a 92.61 %; b) adelantar la floración y la cosecha en 35 días (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>) lo que evitó regar en el mes de diciembre, en estiaje; c) mantener el porcentaje de taninos en el rango de 60 a 65 %, mayor al 50% de los taninos requeridos para exportación; d) el humedecimiento del perfil del suelo para el T<sub>1</sub>, alcanzó los 90 cm, simulando al riego por gravedad, el T<sub>3</sub>, alcanzo hasta los 55 cm y el T<sub>5</sub>, el perfil de humedecimiento alcanzó los 20 cm, generando bajo rendimiento. En todos los tratamientos se observó la emisión de raíces nuevas de 2 a 4 mm de grosor; e) mantener el rendimiento para el T<sub>1</sub> y decreció el rendimiento en un 20% para T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>; f) realizar diferentes actividades agronómicas en forma simultánea, como el riego y la cosecha de las vainas maduras caídas en el suelo, además de la permanencia del mulch de la defoliación natural ayudando a conservar la humedad del suelo.
- La función de producción se ajustó a una polinómica de cuarto grado con un  $R^2 = 0.9987$ . En las condiciones escasas del recurso hídrico en la zona de estudio, la estrategia a seguir es la de maximizar la productividad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), lograr la máxima eficiencia del uso del agua (T<sub>4</sub>) y no la obtención del máximo rendimiento ( $\text{kg}/\text{ha}$ ) (T<sub>1</sub>). De la función de producción se determinó: a) el mayor rendimiento, fue el obtenido en el T<sub>1</sub> con 2,332.6  $\text{kg}/\text{ha}$  y el menor fue en T<sub>5</sub> con 618.5  $\text{kg}/\text{ha}$ ; b) el peso unitario de vaina de calidad comercial, no presentó diferencia significativa en los tratamientos; c) la mayor productividad del agua se presentó en el T<sub>4</sub> con 0.71  $\text{kg}/\text{m}^3$

y una cobertura verde de 62.7% y la menor en T<sub>5</sub>, con 0.38 kg/m<sup>3</sup> y 48.5% de cobertura verde; d) el T<sub>5</sub> con una lámina de riego 1,705 m<sup>3</sup>/ha/año, no logró alcanzar rendimientos aceptables, sin embargo, pueden ser usado en zonas urbanas con fines de paisajismo y reforestación de áreas eriazas y d) el costo/beneficio es dependiente del precio de venta y del costo en la adquisición de agua adicional en época de estiaje.

## VI. RECOMENDACIONES

- Bajo las condiciones fenológicas actuales de las plantaciones de tara (brotamiento en el mes de marzo y cosecha de agosto a noviembre), sería necesario proseguir con la investigación utilizando riego deficitario sostenido (RDS), aplicando las láminas de riego correspondientes al 40 o 60% ETo a lo largo del ciclo de cultivo y/o evaluar el comportamiento de la planta ante el riego deficitario controlado (RDC), aplicando riegos próximos al 100% ETo durante el periodo de cuaje y llenado de vainas; durante el resto del ciclo, aplicar láminas de riego correspondiente al 40% ETo. En ambos casos, realizar lavados de sales durante la época de avenida y continuar con el seguimiento del comportamiento de las raíces al cambio de riego por gravedad a goteo.
- Implementar la investigación con la adición de fertilizantes soluble vía sistema de riego (fertirriego) en forma proporcional según etapa fenológica.
- Complementar la investigación con la aplicación de fuentes potásicas que ayudarían a la planta de tara a tolerar el estrés hídrico.
- Sería conveniente investigar, el uso de bioestimulantes, aminoácidos como promotores de crecimiento y floración para incrementar los rendimientos.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC Geotechnical Consulting. 2021. Mecánica de suelos (en línea - foto). Consultado el 19 set 2021. Disponible en <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/ensayo-porchet/>
- Alaluna, E. 2018. Muestreo – Interpretación y análisis de suelos (diapositivas). 237 p.
- Ali, D. 2012. Extracción de taninos (Ácido gálico) a partir del polvo de vaina de tara (*Caesalpinia spinosa*). Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial. 91 p.
- Andina: Agencia peruana de noticias. 2021. Investigadores usan inca muña y tara para elaborar papas fritas saludables (en línea). Publicado el 7 setiembre del 2021. Disponible en <https://andina.pe/agencia/noticia-investigadores-usan-inca-muna-y-tara-para-elaborar-papas-fritas-saludables-860650.aspx>
- Asociación Pro-Desarrollo Agroindustrial Camaná (APAIC). 2013. Proyecto PD 724/13 Rev. 1 (F). Lineamientos para el manejo de plantaciones de tara (*Caesalpinia spinosa*) para la rehabilitación de tierras eriazas del trópico Subhúmedo de la región de la Costa del Perú. Informe Técnico sobre resultados 1 y 2. SERFOR – Facultad de Ciencias Forestales - UNALM. 90 p.
- Araujo, P. y Gordillo, J. 2000 Cultivo de la Tara. Agencia adventista de Desarrollo y Recursos Asistenciales (ADRA). Obra Filantrópica de Asistencia Adventista (OFASA). Lima, Perú.
- Ascencios, D.; Montalvo, N.; Meza, K.; Cifuentes, A. 2019. Coeficientes de riego del césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) en condiciones de estrés hídrico utilizando riego por goteo subterráneo. Scientia Agropecuaria 10(2): 207 – 216 p.
- Ayer, R. S.; Westcot, D.W. 1985. Water quality for agricultura. FAO N° 29 de la Serie de Riego y Drenaje (Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación). 186 p.

- Cabello, I. 2009. Monografía para el cultivo de la tara *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze. Perú biodiverso. 1-32.
- Campos, J.C.; Lora, E; Meriño, L; Tovar, I; Navarro, A. s.f. Ahorro de energía en sistemas de bombas centrifugas. Colombia. 34 p.
- Castellanos, J. Z.; Ojodeagua, J.L. 2011. Formulación de la solución nutritiva. En: Manual para la producción de tomate en invernadero. J. Z. Castellanos (Ed.). Intagri, S. C. Guanajuato, México. 131-156 pp.
- Castro, M. 2020. ¿Qué es el hidrotropismo? Mecanismo e importancia (en línea). Lifeder. Consultado 10 mar 2021. Disponible en <https://www.lifeder.com/hidrotropismo/>.
- Chávez, T. 2012. Biología reproductiva de la tara (*Caesalpinia spinosa* Molina Kuntze) en Paquecc 2418 m.s.n.m Huanta, Ayacucho. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 59 p.
- Cornejo A. V. 1981. Las Plantas y las utilidades. Biología. UNSCH.
- COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación). 2007. Guía para la selección equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural. Lima, Perú. 44 p.
- Cruz Lapa, P. 2004. Aprovechamiento integral y racional de la tara. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, 7(14), pp. 64-73.
- Cuba-Ochoa, R. 2014. Requerimiento hídrico de la Tara (*Caesalpinia spinosa*) en condiciones de vivero – Ayacucho. Tesis para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo. Ayacucho, Perú. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de formación profesional de Agronomía. 39 p.
- Darwin. 2017. Manejos y productos para potenciar el desarrollo radicular: “La raíz es el cerebro de la planta” (en línea). Redagricola. Consultado 25 mar. 2021. Disponible en <https://www.redagricola.com/cl/la-raiz-es-el-cerebro-de-la-planta/>
- De la Fuente, I.; Calleja, F. 2013. Instalación de sistemas de riego en parques y jardines. Bogotá Colombia. 1 ed. 254 p.

- Demin, P. 2014. Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. INTA. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca. 28 p. ISBN 978-987-521-512-2
- Díaz, Ch. P. 2010. Forestación piloto con la tara en la microcuenca de San Juan (Alto Jequetepeque) Cajamarca. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial. Cajamarca, Perú. UNMSM. p 1 – 8. 144 p.
- Dodds, R. R. 2015. Evaluación de proyecto de pre factibilidad para la plantación e instalación de una planta piloto de extracción de harina y goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Santiago de Chile, Chile. Área de Gestión y Administración. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. 49 p.
- Enciso, J; Porter, D; Périès, X. 2007. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. Texas A & M Agrilife Extension Service. B-6194S 08/07
- Eurodrip. 2004. Cinta de goteo PC2 (manual). 4 p.
- FAO. 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma. 70 pp.
- FAO. 1990. Diseño de métodos de riego: Eficiencia de riego. Capítulo 3. 39 – 53 p.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación. Serie N° 56 de Riego y Drenaje. 298 p.
- FAO. S.f. Permeabilidad del suelo (en línea). Consultado 30 set. 2021. Disponible en [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm)
- Fernández, J., Romero, R., Pérez, A., Cuevas, M. 2015. Estrategias y programación del riego. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España. 75 p.
- Fernández, R., Milla, M., Ávila, R., Berengena, J., Gavilán, P., Oyonarte, N. 2010. Manual de riego para agricultores: Modulo 2. Riego por superficie. Instituto de Investigación y

- Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Sevilla. 91 p.
- Fernández, R. 2010. Manual de riego para agricultores: Módulo 4. Riego localizado: manual y ejercicios. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Sevilla. 154 p.
- Fernández, A. s.f. Algas y cianobacterias: Alguicidas para tratar las “aguas” contaminadas para consumo vacuno y humano. Universidad Agraria La Habana, Cuba. 5 p.
- Ferrada, L.A. 2002. Mantención de equipos de riego. Gobierno Regional de Coquimbo Ministerio de Agricultura Comisión Nacional de Riego Instituto de Investigaciones Agropecuarias Convenio: FNDR - CNR – INIA. 19 p.
- Fertilab. s.f. Cálculo del RAS en las aguas de riego. 5 p.
- Flores, L., Alcalá, J. 2010. Manual de Procedimientos Analíticos Laboratorio de Física de Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología Departamento de Edafología. 56 p.
- Fondo de Agua para Lima y Callao (AQUAFONDO). 2018. Huella Hídrica de los usuarios de agua en Lima Metropolitana (en línea). Consultado 22 mar. 2021. Disponible en <https://stakeholders.com.pe/noticias-sh/consumo-agua-creceria-mas-40-lima-metropolitana-2030/>
- Frick, C.M., Farrell, R.E., Germida, J.J. 1999. Assesments of phytoremediation as an in-situ techinque for cleaning oil-contaminated sites. Department of soil science. University of Saskatchewan, Saskatoon, SK Canadá.
- García, P. M. 2011. Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones de Uruguay. Agro ciencia. Uruguay. Vol. 15(2) 76-82 p.
- García, P. M.; Puppo, L.; Hayashi, R.; Morales, P. s.f. Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Montevideo, Uruguay. 10 p.
- Gestión. 2021. Las crueles paradojas del agua en la desértica capital del Perú (en línea). Consultado 13 feb. 2021. Disponible en <https://gestion.pe/peru/las-crueles-paradojas-del-agua-en-la-desertica-capital-del-peru-noticia/>

- Grupo Sacsa. 2015. Propiedad de los suelos arenosos (en línea). Consultado 22 mar. 2021. Disponible en <http://www.gruposacsa.com.mx/propiedades-de-los-suelos-arenosos/>
- González, F. Herrera, J. López, T. 2011. Productividad agronómica del agua. Revista Ingeniería Agrícola, 1: 40-44, 2011.
- González, J.M.; Campos, M.B. 2012. Inyección de ácido para la prevención de obstrucciones químicas por precipitados de carbonatos y bicarbonatos. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Bol N° 21.16 p.
- González, R. Herrera, P. López, S. Cid, L. Dios-Palomares. Hernández, R. Salazar, A. Romero, S. 2015. Uso de la funciones Agua – Rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático (Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.) Vol. 1 núm. 1 2015, pág. 95-114.
- Goycochea, R. 2010. Evaluación de taninos y goma del fruto de la Tara *Caesalpinia spinosa* (Malina) Kuntze provenientes de las lomas de Atiquipa, Arequipa - Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. 68 p.
- Gutiérrez, P.P. 2018. Calidad del agua (diapositivas) Departamento de Suelos UNALM. 27 p.
- Hayashi, R. 2006. Riego localizado (diapositivas). Facultad de Agronomía. Universidad de la República, Uruguay.
- Hidalgo, J. s.f. Prevención y tratamiento de obstrucciones de los goteros. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. 5 p.
- Huck, M., Taylor H. 1982. The Rhizotron as a tool for root researches. Advance in Agronomy. Vol 35, p 1 – 35.
- Hurtado, L. s.f. Fundamentos de riego. Lima, Perú. UNALM. 72 p.
- Ibáñez, J. 2008. Suelos pedregosos. Fundación para el conocimiento Madrid (en línea). Consultado 22 mar. 2021. Disponible en <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/11/01/105532>
- INGEMMET. 1998. Carta Geológica del Perú. Hoja 25j. Versión digital.

- INTAGRI. 2017. Importancia de la Evaluación de la Eficiencia de los Sistemas de Riego por Goteo (en línea – foto). Consultado 19 set 2021. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/importancia-de-la-evaluacion-de-la-eficiencia-de-los-sistemas-de-riego>
- INTAGRI. 2017. ¿Sistema Radical o Sistema Radicular? Serie Suelos Núm. 34. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 2 p.
- INTAGRI. s.f. La evapotranspiración de los cultivos (en línea, sitio web). Consultado 02 mar. 2021. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/la-evapotranspiracion-de-los-cultivos>
- Kafkafi, U.; Tarchitzky, J. 2012. Fertirrigación: Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA) - Instituto Internacional de la Potasa (IIP). París, Francia y Horgen, Suiza. 151 p.
- Keppler, B.; Kaspar, T. 1994. Rhizotrons: Their development and use in agricultural researches. *Agronomy journal*. January 1994. 86(5).
- Kestrel. s.f. Kestrel 5000 environmental meter (en línea). Consultado 02 mar. 2021. Disponible en <https://kestrelinstruments.com/category-kestrel-advanced/kestrel-5000-environmental-meter.html>
- Khan, A. G. 2005. Role of soil microbes in the rizosphere of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *Journal of trace elements in medicine and biology*. 18, 355-364.
- Kumar, S.; Imtiyaz, M.; Kumar, A; Singh, R. 2007. Response of onion (*Allium cepa* L.) to different levels of irrigation water, *Agricultural Water Management*, 89: 161-166, 2007
- LEY N° 29338, LEY DE RECURSOS HÍDRICOS. 2009. ANA - MINAGRI. 145 p.
- Li, H; Mei, X; Wang, J; Huang, F; Hao, W; Li, B. 2021. Drip fertigation significantly increased crop yield, water productivity and nitrogen use efficiency with respect to traditional irrigation and fertilization practices: A meta-analysis in China. *Agricultural Water Management* 244 (2021) 106534.
- Netafim. 2014. Operación y mantenimiento del sistema de goteo. USA. 16 p.

- Noah A. Mahgoub, Ahmed M. Ibrahim, Ozories M. Ali. 2017. Effect of different irrigation systems on root growth of maize and cowpea plants in sandy soil. Eurasian journal of soil science. 6 (4) 374 – 379.
- Mamani, J. 2017. Pseudomonas de rizosfera de palto (*Persea americana* Mill.) con actividad biocontroladora de *Phytophthora cinnamomi* Rands, aislada en Costa Central (en línea). Consultado 25 mar. 2021. Disponible en <https://images.app.goo.gl/bHXFm4urEArPdLT79>
- Martínez, J. 2019. Identificación de genes relacionados a la respuesta hidrotropica en maíz mediante estudios de asociación del genoma completo (Genome-Wide Asociación Studies, GWAS). Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. UNAM. México. 116 p.
- Melo, M.; Paulet, P.; Tarazona, G. 2013. Efecto de la madurez en los componentes de valor comercial (taninos y goma) de tara *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze. Rev. Soc. Quím. Perú vol.79 no.3 Lima. jul./set. 2013.
- Menéndez, J.L.; Fernández, R.R. 2021. ¿Qué son las algas? (en línea). Consultado 26 may. 2021. Disponible en <https://www.asturnatura.com/algas/que-son-algas.html>
- Ministerio de Agricultura. 1975. Estudio Agrologico detallado de las Pampas de Majes y Siguas. Dirección general de aguas. Dirección de preservación y conservación. Sub Dirección de Agrología. Convenio D.G.A. – DEPEMA. Arequipa. 296 p.
- Mohamadzade, F; Gheysari, M; Kiani, M. 2021. Root adaptation of urban trees to a more precise irrigation system: Mature olive as a case study. Urban Forestry & Urban Greening. Volume 60 (2021) 127053.
- Morales, P. 2016. Ramificación en cerezos (en línea – foto). Consultado 16 oct. 2021. Disponible en <https://agroasesoria.cl/ramificacion-en-cerezos-2016-17/>
- Moya, T. 2002. Riego localizado y Fertiirrigación. Mundi Prensa. Madrid-España.534 p. 3 Ed.
- Oliva, J. 2019. Entrevista en el fundo La Pampa. Villacurí – Ica.
- Oliva, M.; Collazos, R.; Chuquibala, M.; Chuquizuta, I.; Vigo, C. 2015. Caracterización morfológica de frutos y determinación del contenido de taninos en tara (*Caesalpinia*


- spinosa* (Feuillée ex Molina) Kuntze) en las principales zonas productoras de la región Amazonas. Rev. Indes 1(2): 84-93 p.
- Olulo G, C. 2015. Propuesta Metodológica para la Identificación de espacios para la expansión urbana Distrito de Pachacamac-Lima. Segunda Jornada de gvSIG y Geomática libre en Perú. 36 p.
- Olvera – Salgado, M; Bahena-Delgado, G; Alpuche-Garcés, O; García-Matías, F. 2014. La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudio de caso en Chihuahua, México. Ambiente y Desarrollo, 18(35), 23-36.
- Ortiz, A.; Larios, R. 2020. Uso eficiente del agua en la producción de semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con sistema de riego por aspersión. Universidad Nacional Agraria, Nicaragua. La Calera, 2020, 20(35), julio-diciembre, ISSN: 1998-7846 / 1998-8850)
- Pacheco I. 2010. Ciclo Fenológico Anual de dos variedades de tara (*Caesalpinia spinosa*) Mol. Kuntze. en las localidades de Simpapata, Paquecc y Nino Yucay – Ayacucho. Tesis para obtener el título profesional de: Ingeniero Agrónomo. Ayacucho, Perú. p 18. 185 p.
- Palacios M, O; Codal V, J; Vela V, C. 1992. Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Boletín N° 43. Serie: Carta Geológica Nacional. INGEMMET. 173 p.
- Peña, A. M. 2010. Diagnóstico, diseño y evaluación económica del sistema de riego por aspersión del bosque el olivar. Tesis ing. Agrícola. Lima-Perú, UNALM. 136 p.
- Pentax electrobombas serie CM. 2020. 3 p.
- Pizarro, F. 1990. Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 469 p.
- Prakor. 2018. El riego evoluciona (en línea). Consultado 10 jul. 2021. Disponible en <https://prakor.com/componentes-de-la-red-de-riego-para-riego-localizado/>
- Probanza, L. A. 2012. La rizosfera: un criptoecosistema vital, aspectos básicos y aplicados (en línea). Congreso Nacional del Medio Ambiente. Universidad CEU San Pablo. Consultado 25 mar.2021. Disponible en <https://infoagronomo.net/que-es-la-rizosfera/>




- PRONAMACHCS. s.f. Manejo y Conservación del Suelo: Fundamentos y Prácticas. Cap. IX: Fundamentos del riego. 413 – 483 p.
- Rázuri, R. L. 2017. Curso: Sistema de Riego por Superficie. Parte I y II. UNALM. EPG Riego y Drenaje. Facultad de Ingeniería Agrícola. Departamento de Recursos Hídricos. 194 p.
- Real Academia Española. 2021. Diccionario de la lengua española (en línea). Consultado 23 ago. 2021. Disponible en <https://dle.rae.es/>
- REDFOR, 1996. La tara *Caesalpinia spinosa*. Alternativa para el desarrollo de la sierra. DFP AJF AO.GCP/RLA/NET/090.
- Richards, L.A. 1985. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6<sup>a</sup> ed. Manual de Agricultura N° 60. 172 p., Editorial Limusa, D.F., México.
- Saavedra, M. 2006. Manejo del cultivo de la tilapia. Gobierno Regional de Coquimbo Ministerio de Agricultura Comisión Nacional de Riego Instituto de Investigaciones Agropecuarias Convenio: FNDR - CNR – INIA. 19 p.
- Salomón, M; Sánchez, C; Abraham, E. s.f. Impactos medioambientales de la sustitución del riego de superficie por conducciones a presión. Área Lujan Oeste. Mendoza (Argentina). 11 p.
- Sink T.; Gwinn, J.; Gerke, H.; House, M. 2016. Manejando y Controlando las Algas en los Estanques. Producido por el servicio de extensión de Texas A&M AGRILIFE. 15 p.
- Smart Fertilizer. 2020. (en línea). Consultado 26 may. 2021. Disponible en <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/emitter-clogging/>
- Steciow M. 2011. Rizosfera (en línea). Consultado 25 mar. 2021. Disponible en <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Rizosfera.htm>
- Verástegui, J. 1994. Estudio Taxonómico, Ecológico, Fitogenético y Manejo Agronómico de la Tara (*Caesalpinia spinosa*). Universidad Mayor de San Marcos. Lima. Perú. 1 - 52.
- Villanueva, M. C. 2007. La tara el oro verde de los Incas Ediciones AGRUM, UNALM. Lima, Perú. p. 29, 49 – 55. 163 p.

- Villanueva, M. C. 2019. Agronegocio integral tara, producción, agroindustria y mercados internacionales (curso presencial). IPEX. 598 p.
- Villena, J. 2018. Variabilidad Morfológica de la “Taya”, *Caesalpinia Spinosa* (Molina) Kuntze, En Bosques Naturales de Nueve Provincias de Cajamarca, Perú. (Tesis de Maestría en Ciencias). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. 1-145.
- Yeh, C.; Gayoso, O. 2019. Análisis de los factores que permitieron la exportación de tara en polvo hacia china durante el período del 2014 al 2017. Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Negocios Internacionales. UPC. 61 p.
- Yzarra, J. 2011. Manual de observaciones fenológicas. Ministerio del Ambiente. Servicio de Meteorología e Hidrología SENAMHI. 99 p.
- Zhang, T. Zou, Y. Kisekka, I. Biswas, A. Cai, H. 2021. Comparison of different irrigation methods to synergistically improve maize's yield, water productivity and economic benefits in an arid irrigation área. *Agricultural Water Management*. 243 (2021) 106497.

## VIII. ANEXO



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



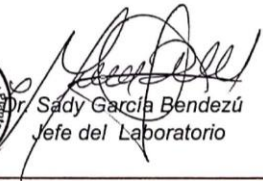
### ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION


Solicitante : ROSANNA ROMERO DULANTO

País : LIMA Provincia : LIMA  
 Distrito : PACHACAMAC Predio :  
 Referencia : H.R. 68671-074C-19 Fecha : 14/06/19

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiabies					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
4996	Calicata 1, 0-32 cm	7.72	2.89	0.70	1.18	14.7	377	58	23	19	Fr.A.	11.84	7.78	2.15	0.75	1.16	0.00	11.84	11.84	100
4997	Calicata 1, 32-53 cm	7.85	0.93	0.70	0.19	18.8	170	82	9	9	A.Fr.	5.60	3.37	1.25	0.41	0.57	0.00	5.60	5.60	100
4998	Calicata 1, 53-87 cm	8.23	0.45	1.60	0.11	6.3	151	80	15	5	A.Fr.	4.32	2.41	1.07	0.37	0.48	0.00	4.32	4.32	100
4999	Calicata 1, 87-100 cm	7.89	0.33	2.50	0.10	9.9	163	78	17	5	A.Fr.	4.32	2.68	0.90	0.35	0.39	0.00	4.32	4.32	100
5000	Calicata 2, 0-20 cm	7.63	2.69	0.50	1.38	14.0	192	54	25	21	Fr.Ar.A.	11.20	6.88	2.15	0.44	1.73	0.00	11.20	11.20	100
5001	Calicata 2, 20-50 cm	7.80	0.59	0.30	0.21	7.6	114	80	11	9	A.Fr.	6.08	3.99	1.10	0.28	0.71	0.00	6.08	6.08	100
5002	Calicata 2, 50-70 cm	7.59	1.24	0.20	0.06	4.8	123	84	9	7	A.Fr.	5.12	3.12	0.98	0.31	0.70	0.00	5.12	5.12	100
5003	Calicata 2, 70-100 cm	8.18	0.85	0.10	0.05	8.5	128	84	9	7	A.Fr.	4.16	2.33	0.95	0.29	0.59	0.00	4.16	4.16	100
5004	Calicata 2, 100-140 cm	7.80	0.47	0.10	0.02	5.7	133	90	5	5	A.	4.00	2.44	0.82	0.31	0.43	0.00	4.00	4.00	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

  
 Dr. Sady García BendeZú  
 Jefe del Laboratorio



Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@iamolina.edu.pe

### Anexo 1: Análisis de suelo



## ANALISIS DE AGUA

SOLICITANTE : ROSANNA ROMERO DULANTO  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ PACHACAMAC  
REFERENCIA : H.R. 68673  
BOLETA : 3109

No. Laboratorio	334
No. Campo	Fdo: Pabelloni Agua Rio Lurin + Agua Puquio Pan de azúcar/ 05-06-2019
pH	9.39
C.E. dS/m	0.74
Calcio meq/L	2.87
Magnesio meq/L	0.60
Potasio meq/L	0.10
Sodio meq/L	4.08
SUMA DE CATIONES	7.65
Nitratos meq/L	0.04
Carbonatos meq/L	0.50
Bicarbonatos meq/L	2.28
Sulfatos meq/L	1.67
Cloruros meq/L	3.20
SUMA DE ANIONES	7.69
Sodio %	53.35
RAS	3.10
Boró ppm	0.19
Clasificación	C2-S1

La Molina, 11 de Junio del 2019



*Sady García Bendezú*  
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

### Anexo 2: Análisis de agua del 11/06/19




## ANALISIS DE AGUA

SOLICITANTE : DR. OSCAR LOLI FIGUEROA  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LURIN  
REFERENCIA : H.R. 68981  
BOLETA : Pendiente

No. Laboratorio	407
No. Campo	Agua Puquio + Agua-Rio Lurin 27/06/19 Fundo: Belloni
pH	8.21
C.E. dS/m	2.14
Calcio meq/L	7.20
Magnesio meq/L	1.52
Potasio meq/L	0.09
Sodio meq/L	13.83
SUMA DE CATIONES	22.64
Nitratos meq/L	0.10
Carbonatos meq/L	0.05
Bicarbonatos meq/L	4.37
Sulfatos meq/L	7.63
Cloruros meq/L	10.40
SUMA DE ANIONES	22.55
Sodio %	61.08
RAS	6.62
Boro ppm	0.41
Clasificación	C3-S2

La Molina, 04 de Julio del 2019

  
Braulio La Torre Martínez,  
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

### Anexo 3: Análisis del agua del 04/07/19



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : DR. OSCAR LOLI FIGUEROA  
PROCEDENCIA : LIMA  
REFERENCIA : H.R. 69603  
FECHA : 28/08/19

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
816	-	7.90	18.90	51.19	1.58	1.66	3.31

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
816	-	2.52	1.31	25.70	1.08



Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

### Anexo 4: Análisis de materia orgánica



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : ROSANNA ROMERO DULANTO  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ PACHACAMAC/ FUNDO BELLONI  
MUESTRA DE : HOJAS DE TARA  
REFERENCIA : H.R. 68672  
BOLETA : 3109  
FECHA : 19/06/2019

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	Na %	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm	M.S. %
2617	Cultivo de Tara 12 años de edad	2.04	0.15	0.81	1.22	0.12	0.14	0.10	28	7	44	1172	71	39.44



Dr. Sady García Rendezú  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



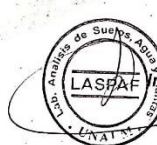
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : ROSANNA ROMERO DULANTO  
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ PACHACAMAC  
MUESTRA DE : HOJAS Y TALLOS DE TARA  
REFERENCIA : H.R. 71660  
BOLETA : 3989  
FECHA : 07/02/2020

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	Na %	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm	M.S. %
203	T224	1.01	0.14	0.80	1.66	0.32	0.14	0.22	45	25	156	7885	50	71.08
204	T135	1.37	0.14	0.74	1.75	0.27	0.18	0.25	43	17	122	4581	52	75.68
205	T413	1.29	0.13	0.86	1.54	0.34	0.14	0.20	41	22	172	8835	50	79.86
206	T522	1.12	0.19	0.95	1.61	0.24	0.18	0.24	42	16	102	4579	65	69.44



Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 5: Análisis foliar de tara (*Caesalpinia spinosa*)



**Anexo 6: Poda**



**Anexo 7: Limpieza de los surcos antes del riego de ruptura de agoste**

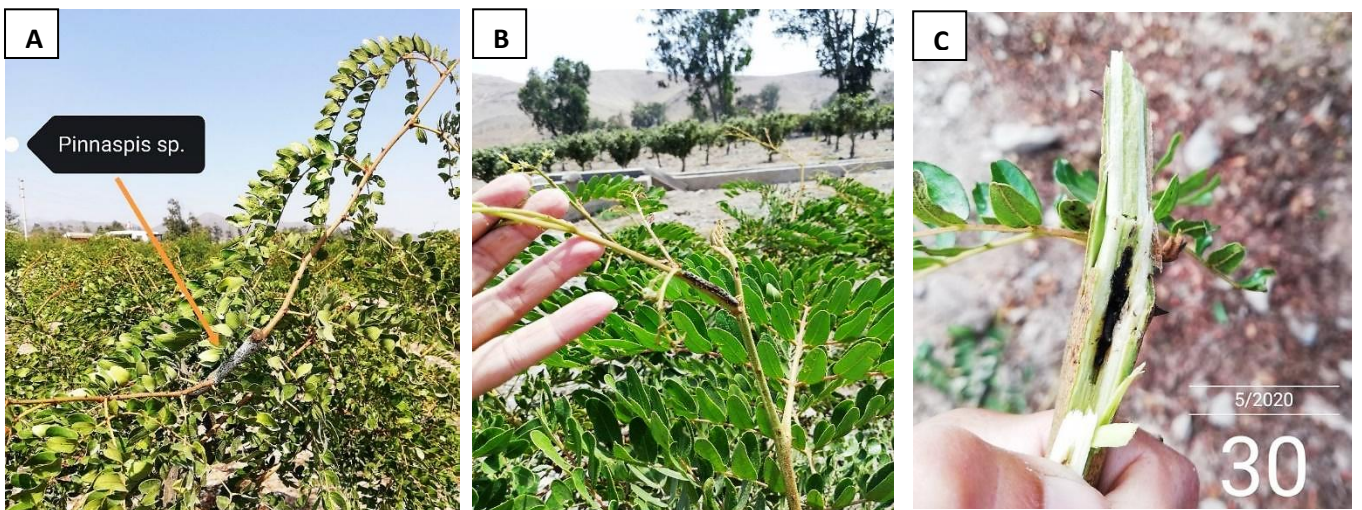


**Anexo 8: Riego de ruptura de agoste**

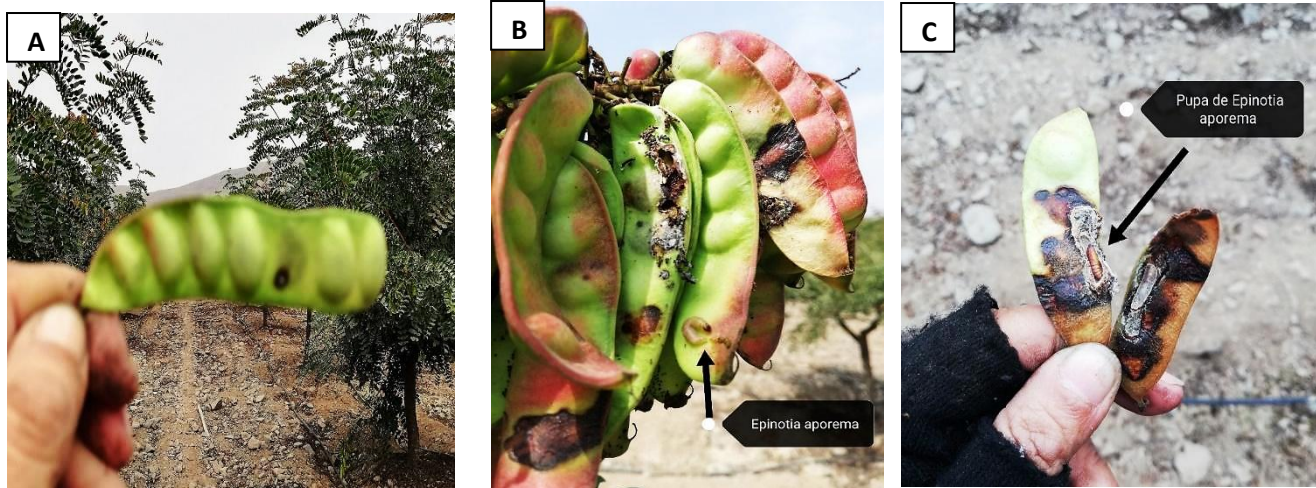




**Anexo 9: Poda en verde de brotes improductivos**



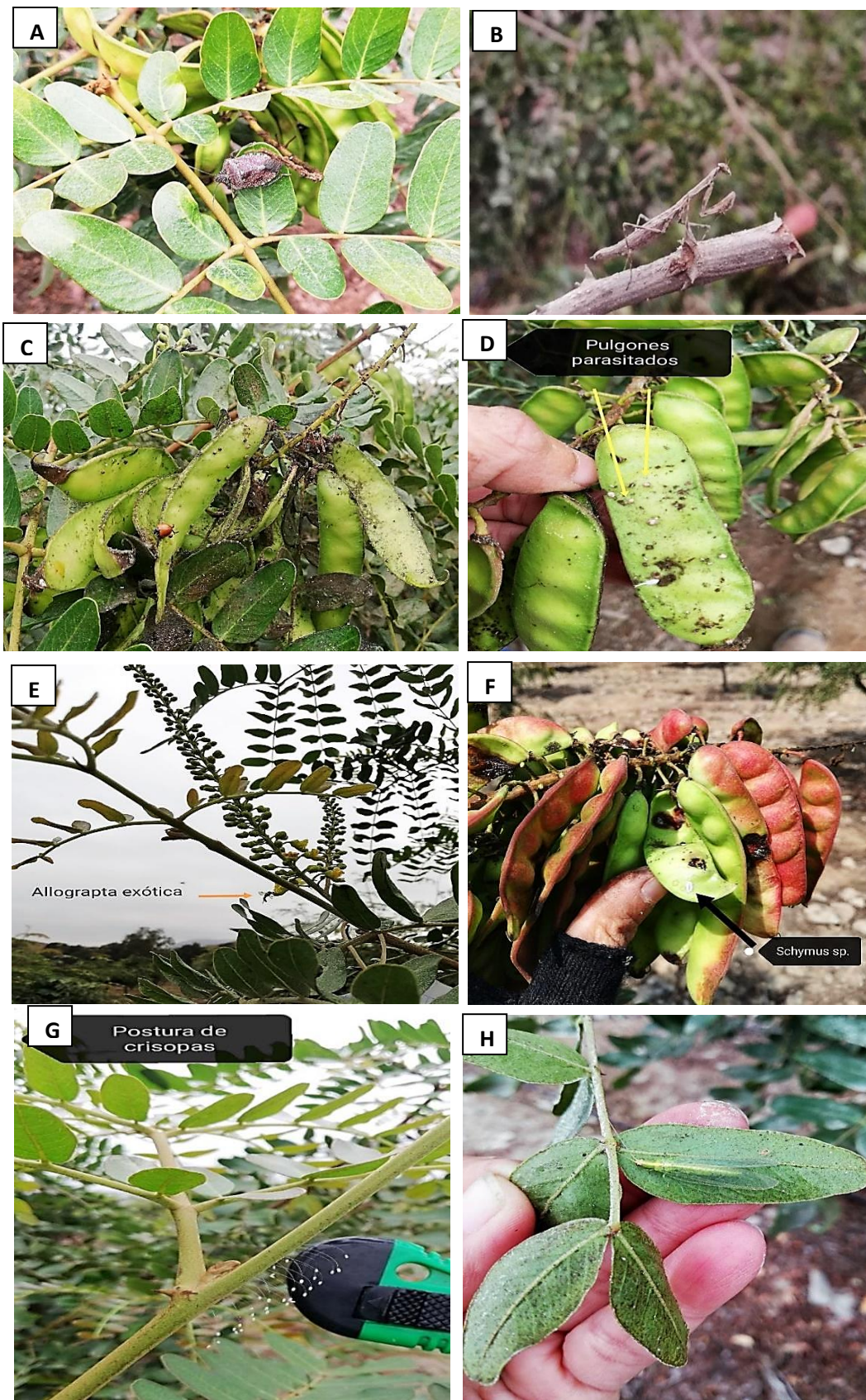
**Anexo 10: Plagas: A: Pinnaspis sp. B: Larva de *Spodoptera frugiperda*. C: Larva de barrenador de tallo**



**Anexo 11: *Epinotia aporema*. A: Daño en vaina. B: Estado larval. C: Estado de pupa**



**Anexo 12: Control químico: A: Aplicación de Azufre en polvo preventivo contra *Oidium* sp. B: Aplicación *Bacillus thuringiensis* para el control de *Epinotia* sp.**



Anexo 13: Control biológico de plagas: A: Adulto de *Pentatomidae*. B: *Mantis religiosa*. C: Adulto de *Cycloneda sanguinea*. D: Pulgones parasitados. E: *Allograpta exótica*. F: *Schymus sp.* G: Postura de *Chrysoperla externa*. H: Adulto de *Chrysoperla externa*

**Informe de Ensayo N° 180591-01**

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

**Solicitante** ROSANNA ROMERO DULANTO  
**Domicilio legal** Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María  
**Contacto** ROSANNA ROMERO DULANTO  
**Dirección de entrega** Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María  
**Producto** VAINA TARA  
**Procedencia** Muestra proporcionada por el Cliente

Identificación	Cantidad	Descripción - Presentación	Precinto	FV	FP
CÓDIGO: T0 Pachacámac 04-01-21	300g	01 Sobre de manila cerrado e identificado	--	--	--

**INFORMACIÓN DEL SERVICIO**

**Ensayos realizados en** Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima  
**Fecha de recepción** 2021.02.04  
**Fecha Inicio Análisis** 2021.02.08  
**Fecha Término Análisis** 2021.02.09  
**Referencia** COT-106229  
**Identificación de Laboratorio** M-243162

**RESULTADOS**

Identificación	Análisis	Unidad	Resultado
CÓDIGO: T0	Taninos	%	60.96

**Métodos**

**Taninos:** INASSA Q-011 2013 Determinación de taninos

El muestreo no es parte del alcance de la acreditación del laboratorio de ensayo de NSF INASSA SAC.



Quím. Cecilia Alicia Ascención Varela  
 Jefe de Laboratorio de Química  
 C.Q.P. N° 717

Lima, 11 de febrero de 2021

**Fin de documento**

Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 Perú  
 Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaassa.pe

ER11-2; Versión 00; 2018-09-10. Documento de referencia PER11-1

IE N° 180591

pág. 1 de 1

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la autorización por escrito de NSF INASSA. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con las normas del producto ni la autorización de uso de la marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra proporcionada por el cliente. De tener alguna queja o apelación presentarla mediante el correo inassa@nsf.org, con la información sustantiva.

**Anexo 14: Análisis de taninos T0**

**Informe de Ensayo N° 180591-02**

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

<b>Solicitante</b>	ROSANNA ROMERO DULANTO
<b>Domicilio legal</b>	Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María
<b>Contacto</b>	ROSANNA ROMERO DULANTO
<b>Dirección de entrega</b>	Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María
<b>Producto</b>	VAINA TARA
<b>Procedencia</b>	Muestra proporcionada por el Cliente

Identificación	Cantidad	Descripción - Presentación	Precinto	FV	FP
CÓDIGO: T1 Pachacámac 04-01-21	300g	01 Sobre de manila cerrado e identificado	--	--	--

**INFORMACIÓN DEL SERVICIO**

<b>Ensayos realizados en</b>	Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima
<b>Fecha de recepción</b>	2021.02.04
<b>Fecha Inicio Análisis</b>	2021.02.08
<b>Fecha Término Análisis</b>	2021.02.09
<b>Referencia</b>	COT-106229
<b>Identificación de Laboratorio</b>	M-243162

**RESULTADOS**

Identificación	Análisis	Unidad	Resultado
CÓDIGO: T1	Taninos	%	61.08

**Métodos**

**Taninos:** INASSA Q-011 2013 Determinación de taninos

El muestreo no es parte del alcance de la acreditación del laboratorio de ensayo de NSF INASSA SAC.



Quím. Cecilia Alicia Ascención Varela  
Jefe de Laboratorio de Química  
C.Q.P. N° 717

Lima, 11 de febrero de 2021

----- **Fin de documento** -----

Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 Perú  
Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaasa.pe

ER11-2; Versión 00; 2018-09-10. Documento de referencia PER11-1

IE N° 180591

pág. 1 de 1

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la aprobación por escrito de NSF INASSA. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con las normas del producto ni la autorización de uso de la marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra proporcionada por el cliente. De tener alguna queja o apelación presentarla mediante el correo inassa@nsf.org, con la información sustanciativa.

**Anexo 15: Análisis de taninos T1**

**Informe de Ensayo N° 180591-03**

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

**Solicitante** ROSANNA ROMERO DULANTO  
**Domicilio legal** Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María  
**Contacto** ROSANNA ROMERO DULANTO  
**Dirección de entrega** Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María  
**Producto** VAINA TARA  
**Procedencia** Muestra proporcionada por el Cliente

Identificación	Cantidad	Descripción - Presentación	Precinto	FV	FP
CÓDIGO: T2 Pachacámac 04-01-21	300g	01 Sobre de manila cerrado e identificado	--	--	--

**INFORMACIÓN DEL SERVICIO**

**Ensayos realizados en** Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima  
**Fecha de recepción** 2021.02.04  
**Fecha Inicio Análisis** 2021.02.08  
**Fecha Término Análisis** 2021.02.09  
**Referencia** COT-106229  
**Identificación de Laboratorio** M-243152

**RESULTADOS**

Identificación	Análisis	Unidad	Resultado
CÓDIGO: T2	Taninos	%	59.69

**Métodos**

**Taninos:** INASSA Q-011 2013 Determinación de taninos

El muestreo no es parte del alcance de la acreditación del laboratorio de ensayo de NSF INASSA SAC.



Quím. Cecilia Alicia Ascención Varela  
 Jefe de Laboratorio de Química  
 C.Q.P. N° 717

Lima, 11 de febrero de 2021

----- **Fin de documento** -----

Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 Perú  
 Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsf.inassa.pe

ER11-2; Versión 00; 2018-09-10. Documento de referencia PER11-1

IE N° 180591

pág. 1 de 1

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la autorización por escrito de NSF INASSA. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con las normas del producto ni la autorización de uso de la marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra proporcionada por el cliente. De tener alguna queja o objeción presentarla mediante el correo inassa@nsf.org, con la información sustentatoria.

**Anexo 16: Análisis de taninos T2**

**Informe de Ensayo N° 180591-04**

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

**Solicitante** ROSANINA ROMERO DULANTO  
**Domicilio legal** Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María  
**Contacto** ROSANINA ROMERO DULANTO  
**Dirección de entrega** Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María  
**Producto** VAINA TARA  
**Procedencia** Muestra proporcionada por el Cliente

Identificación	Cantidad	Descripción - Presentación	Precinto	FV	FP
CÓDIGO: T3 Pachacámac 04-01-21	300g	01 Sobre de manila cerrado e identificado	--	--	--

**INFORMACIÓN DEL SERVICIO**

**Ensayos realizados en** Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima  
**Fecha de recepción** 2021.02.04  
**Fecha Inicio Análisis** 2021.02.08  
**Fecha Término Análisis** 2021.02.09  
**Referencia** COT-106229  
**Identificación de Laboratorio** M-243162

**RESULTADOS**

Identificación	Análisis	Unidad	Resultado
CÓDIGO: T3	Taninos	%	61.58

**Métodos**

**Taninos:** INASSA Q-011 2013 Determinación de taninos

El muestreo no es parte del alcance de la acreditación del laboratorio de ensayo de NSF INASSA SAC.



Quím. Cecilia Alicia Ascención Varela  
 Jefe de Laboratorio de Química  
 C.Q.P. N° 717

Lima, 11 de febrero de 2021

**Fin de documento**

Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 Perú  
 Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsfinaassa.pe

ER11-2; Versión 00; 2018-09-10. Documento de referencia PER11-1

IE N° 180591

pág. 1 de 1

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la autorización por escrito de NSF INASSA. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con las normas del producto ni la autorización de uso de la marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra proporcionada por el cliente. De tener alguna queja o apelación presentarla mediante el correo inassa@nsf.org, con la información sustentatoria.

**Anexo 17: Análisis de taninos T3**

**Informe de Ensayo N° 180591-05**

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

Solicitante ROSANNA ROMERO DULANTO  
 Domicilio legal Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María  
 Contacto ROSANNA ROMERO DULANTO  
 Dirección de entrega Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María  
 Producto VAINA TARA  
 Procedencia Muestra proporcionada por el Cliente

Identificación	Cantidad	Descripción - Presentación	Precinto	FV	FP
CÓDIGO: T4 Pachacámac 04-01-21	300g	01 Sobre de manila cerrado e identificado	--	--	--

**INFORMACIÓN DEL SERVICIO**

Ensayos realizados en Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima  
 Fecha de recepción 2021.02.04  
 Fecha Inicio Análisis 2021.02.08  
 Fecha Término Análisis 2021.02.09  
 Referencia CDT-106229  
 Identificación de Laboratorio M-243162

**RESULTADOS**

Identificación	Análisis	Unidad	Resultado
CÓDIGO: T4	Taninos	%	62.26

**Métodos**

**Taninos:** INASSA Q-011 2013 Determinación de taninos

El muestreo no es parte del alcance de la acreditación del laboratorio de ensayo de NSF INASSA S.A.C.



Quim. Cecilia Alicia Ascención Varela  
 Jefe de Laboratorio de Química  
 C.Q.P. N° 717

Lima, 11 de febrero de 2021

----- **Fin de documento** -----

Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 Perú  
 Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsl.org Web: www.nslinassa.pe

**Anexo 18: Análisis de taninos T4**



Informe de Ensayo N° 180591-06

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE

Solicitante	ROSANNA ROMERO DULANTO
Domicilio legal	Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María
Contacto	ROSANNA ROMERO DULANTO
Dirección de entrega	Edificio Las Gardenias Dpro 402. Residencial San Felipe. Jesús María
Producto	VAINA TARA
Procedencia	Muestra proporcionada por el Cliente

Identificación	Cantidad	Descripción - Presentación	Precinto	FV	FP
CÓDIGO: T5 Pachaclámac 04-01-21	300g	01 Sobre de manila cerrado e identificado	--	--	--

INFORMACIÓN DEL SERVICIO

Ensayos realizados en	Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima
Fecha de recepción	2021.02.04
Fecha Inicio Análisis	2021.02.08
Fecha Término Análisis	2021.02.09
Referencia	COT-106229
Identificación de Laboratorio	M-243162

RESULTADOS

Identificación	Análisis	Unidad	Resultado
CÓDIGO: T5	Taninos	%	65.46

Métodos

**Taninos:** INASSA Q-011 2013 Determinación de taninos

El muestreo no es parte del alcance de la acreditación del laboratorio de ensayo de NSF INASSA SAC.



Quim. Cecilia Alicia Ascención Varela  
Jefe de Laboratorio de Química  
C.Q.P. N° 717

Lima, 11 de febrero de 2021

Fin de documento

Av. La Marina 3035-3059 San Miguel - Lima 32 Perú  
Tel: (511) 616-5200 Email: inassa@nsf.org Web: www.nsf.inassa.pe

ER11-2; Versión 00; 2018-09-10. Documento de referencia PER11-1

IE N° 180591

pág. 1 de 1

El presente Informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la autorización por escrito de NSF INASSA. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con los requisitos del producto ni la autorización de uso de la marca NSF. Los resultados se refieren únicamente a los elementos analizados, en la condición de muestra proporcionada por el cliente. De tener alguna queja o solicitud presentarla mediante el correo inassa@nsf.org, con la información sustentada.

Anexo 19: Análisis de taninos T5

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Area Foliar (m2)	18	0.72	0.61	16.55

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	56.50	5	11.30	6.22	0.0045
Tratamiento	56.50	5	11.30	6.22	0.0045
Error	21.80	12	1.82		
Total	78.29	17			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.69612

Error: 1.8163 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	5.05	3	0.78 A
T4	6.54	3	0.78 A B
T3	8.77	3	0.78 B
T2	9.03	3	0.78 B
T0	9.27	3	0.78 B
T1	10.20	3	0.78 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 20: Análisis de varianza del área foliar (m2)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso vaina (g)	18	0.49	0.28	9.10

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.63	5	0.13	2.31	0.1088
Tratamiento	0.63	5	0.13	2.31	0.1088
Error	0.65	12	0.05		
Total	1.28	17			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.63882

Error: 0.0543 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	2.25	3	0.13 A
T0	2.49	3	0.13 A
T1	2.50	3	0.13 A
T4	2.59	3	0.13 A
T3	2.67	3	0.13 A
T2	2.86	3	0.13 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 21: Análisis de varianza del peso de vaina (g)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento comercial (kg/..	18	0.79	0.70	26.08

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5742302.36	5	1148460.47	8.98	0.0010
Tratamiento	5742302.36	5	1148460.47	8.98	0.0010
Error	1535391.15	12	127949.26		
Total	7277693.51	17			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=981.00910

Error: 127949.2627 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	188.54	3	206.52 A
T4	1356.90	3	206.52 B
T3	1443.04	3	206.52 B
T2	1533.04	3	206.52 B
T0	1762.70	3	206.52 B
T1	1946.17	3	206.52 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 22: Análisis de varianza del rendimiento comercial (kg)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento (kg/ha)	18	0.80	0.72	19.34

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5787100.38	5	1157420.08	9.58	0.0007
Tratamiento	5787100.38	5	1157420.08	9.58	0.0007
Error	1450362.04	12	120863.50		
Total	7237462.43	17			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=953.45836

Error: 120863.5036 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	618.46	3	200.72 A
T3	1827.67	3	200.72 B
T4	1837.67	3	200.72 B
T2	1875.10	3	200.72 B
T0	2291.51	3	200.72 B
T1	2332.59	3	200.72 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 23: Análisis de varianza del rendimiento (kg)