



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**“EVALUAR EL REQUERIMIENTO HÍDRICO DE *Alnus acuminata*  
(Aliso) EN ETAPA DE VIVERO BAJO CONDICIONES  
CONTROLADAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI,  
ESPOCH. CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO”**

**Trabajo de integración curricular**

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA FORESTAL**

**AUTORA:**

**KEILY JASMIN TENECELA BUESTAN**

Riobamba – Ecuador

2021



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**“EVALUAR EL REQUERIMIENTO HÍDRICO DE *Alnus acuminata*  
(Aliso) EN ETAPA DE VIVERO BAJO CONDICIONES  
CONTROLADAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI,  
ESPOCH. CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO”**

**Trabajo de integración curricular**

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA FORESTAL**

**AUTORA: KEILY JASMIN TENECELA BUESTAN**

**DIRECTOR: PhD. JUAN EDUARDO LEÓN RUIZ**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Keily Jasmin Tenecela Buestan**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **Keily Jasmin Tenecela Buestan**, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que proviene de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.


Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de diciembre del 2021.

**Keily Jasmin Tenecela Buestan,**  
**CI: 140074070-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

El tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de integración curricular:  
Tipo: Proyecto de investigación, “**EVALUAR EL REQUERIMIENTO HÍDRICO DE *Alnus acuminata* (Aliso) EN ETAPA DE VIVERO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI, ESPOCH. CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**”, de responsabilidad de la señorita egresada Keily Jasmin Tenecela Buestan, ha sido prolijamente revisado, quedando autorizado su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>EDUARDO PATRICIO SALAZAR CASTANEDA</b> .....	<b>2021-12-20</b>
Ing. Juan Eduardo León Ruiz PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	<b>JUAN EDUARDO LEÓN RUIZ</b> Firmado digitalmente por: JUAN EDUARDO LEÓN RUIZ DN: cn=JUAN EDUARDO LEÓN RUIZ, o=SEC or SECURITY DATA S.A. 1, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION Motivo: Soy el autor de este documento Ubicación: Fecha: 2021-12-01 20:41:05:00 .....	<b>2021-12-20</b>
Ing. Vilma Fernanda Noboa Silva Msc. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>VILMA FERNANDA NOBOA SILVA</b> .....	<b>2021-12-20</b>

## **DEDICATORIA**

Dedico con todo mi corazón este trabajo de investigación a mis padres ya que sin ellos no lo habría logrado y muy especialmente a mi mamá quien me inspiró a seguir desarrollando mi tesis y no darme por vencida aun cuando quise hacerlo ahora la meta que me parecía muy lejana la he alcanzado gracias a ella. También se la dedico a mi hijo quien ha sido mi mayor motivación para no rendirme y poder llegar a ser un ejemplo para él.

Keily

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por darme salud y vida, por guiarme a lo largo de mi vida, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad. a mis padres quienes, con su amor, paciencia y mucho esfuerzo me han permitido hoy cumplir un sueño más en mi vida, muchas gracias sobre todo por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía y de no temer a las adversidades que la vida me presente.

Gracias a toda mi familia por sus oraciones, consejos, palabras de aliento y por su apoyo incondicional durante todo este proceso.

Agradezco a todos mis docentes de la carrera de ingeniería Forestal de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión.

Keily

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Aliso.....</b>	<b>4</b>
<i>1.1.1. Tronco.....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.2. Raíz.....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.3. Hojas.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.4. Flores.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.5. Frutos.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.6. Semillas.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.7. Origen y distribución geográfica.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.8. Condiciones de hábitat.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.8.1. Temperatura.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.8.2. Precipitación.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.9. Variables edáficas.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.10. Zonas de vida.....</i>	<i>7</i>
<b>1.2. Silvicultura del aliso.....</b>	<b>7</b>
<i>1.2.1. Regeneración por semilla.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2. Regeneración por estacas.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3. Capacidad de rebrote.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.4. Época de plantación.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.5. Métodos de plantación.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.6. Tamaño de la planta.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.7. Densidad y espaciamiento.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.8. Reposición.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.9. Protección.....</i>	<i>9</i>



<b>1.3.</b>	<b>Usos del aliso</b> .....	9
<b>1.4.</b>	<b>Manejo de la especie</b> .....	10
<b>1.4.1.</b>	<b>Labores pre-culturales</b> .....	10
1.4.1.1.	<i>Preparación del terreno</i> .....	10
1.4.1.2.	<i>Trazado y hoyado</i> .....	10
<b>1.4.2.</b>	<b>Labores culturales</b> .....	10
1.4.2.1.	<i>Densidad de la plantación</i> .....	10
1.4.2.2.	<i>Limpias</i> .....	10
1.4.2.3.	<i>Crecimiento inicial del aliso con fertilización</i> .....	11
<b>1.4.3.</b>	<b>Plagas y enfermedades del árbol de aliso</b> .....	11
<b>1.5.</b>	<b>Requerimiento hídrico</b> .....	12
<b>1.5.1.</b>	<b>Agua en el suelo</b> .....	13
1.5.1.1.	<i>Clasificación del agua en el suelo</i> .....	13
1.5.1.2.	<i>Medición de agua en el suelo</i> .....	15
<b>1.5.2.</b>	<b>Mediciones meteorológicas</b> .....	18
1.5.2.1.	<i>Temperatura</i> .....	19
1.5.2.2.	<i>Humedad relativa</i> .....	19
1.5.2.3.	<i>Velocidad del viento</i> .....	20
1.5.2.4.	<i>Precipitación</i> .....	20
1.5.2.5.	<i>Evaporación</i> .....	20
1.5.2.6.	<i>Evapotranspiración</i> .....	20
<b>1.6.</b>	<b>Etapas de desarrollo de los cultivos</b> .....	24
<b>1.6.1.</b>	<b>Fase inicial</b> .....	24
<b>1.6.2.</b>	<b>Fase de desarrollo de los cultivos</b> .....	25
<b>1.6.3.</b>	<b>Fase de mediados de temporada</b> .....	25
<b>1.6.4.</b>	<b>Fase final</b> .....	25
<b>1.7.</b>	<b>Calendario de riego</b> .....	26
<b>1.7.1.</b>	<b>Lamina de riego</b> .....	26
<b>1.7.2.</b>	<b>Lamina neta de riego (<math>L_n</math>)</b> .....	26
<b>1.7.3.</b>	<b>Lámina bruta de riego (<math>L_b</math>).</b> .....	27
<b>1.7.4.</b>	<b>Volumen de riego</b> .....	28
<b>1.7.5.</b>	<b>Tiempo de riego</b> .....	28
<b>1.7.6.</b>	<b>Frecuencia de riegos</b> .....	29
<b>1.7.7.</b>	<b>Agua útil o disponible</b> .....	29
<b>1.8.</b>	<b>Riego por goteo</b> .....	30

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	31
<b>2.1.</b>	<b>Caracterización del lugar</b> .....	31
<b>2.1.1.</b>	<b>Localización</b> .....	31
<b>2.1.2.</b>	<b>Ubicación Geográfica</b> .....	31
<b>2.1.3.</b>	<b>Características Climáticas</b> .....	31
<b>2.2.</b>	<b>Materiales y equipos</b> .....	31
<b>2.2.1.</b>	<b>Material Biológico</b> .....	31
<b>2.2.2.</b>	<b>Materiales de campo y equipos de laboratorio</b> .....	32
<b>2.2.3.</b>	<b>Materiales de oficina e informático</b> .....	32
<b>2.3.</b>	<b>Metodología</b> .....	32
<b>2.3.1.</b>	<b>Especificaciones del campo experimental</b> .....	32
<b>2.3.2.</b>	<b>Tratamientos</b> .....	33
<b>2.3.2.1.</b>	<b>Factores de estudio</b> .....	33
<b>2.3.3.</b>	<b>Diseño Experimental</b> .....	34
<b>2.3.3.1.</b>	<b>Tipo de diseño experimental</b> .....	34
<b>2.3.3.2.</b>	<b>Esquema de análisis de varianza</b> .....	34
<b>2.3.4.</b>	<b>VARIABLES A EVALUAR</b> .....	34
<b>2.3.4.1.</b>	<b>Porcentaje de prendimiento</b> .....	34
<b>2.3.4.2.</b>	<b>Altura de planta</b> .....	34
<b>2.3.4.3.</b>	<b>Crecimiento radicular</b> .....	34
<b>2.3.4.4.</b>	<b>Conductividad estomática</b> .....	35
<b>2.3.4.5.</b>	<b>Potencial hídrico</b> .....	35
<b>2.3.4.6.</b>	<b>Diámetro del tallo</b> .....	35
<b>2.3.4.7.</b>	<b>Contenido relativo de agua en las hojas (Wrc)</b> .....	35
<b>2.3.4.8.</b>	<b>Materia seca de la planta</b> .....	35
<b>2.3.5.</b>	<b>Fase de campo</b> .....	36
<b>2.3.5.1.</b>	<b>Labores pre culturales</b> .....	36
<b>2.3.5.2.</b>	<b>Labores culturales</b> .....	38
<b>2.3.6.</b>	<b>Análisis funcional</b> .....	39

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	40
<b>3.1.</b>	<b>Determinación del coeficiente de cultivo (kc) de <i>Alnus acuminata</i> (aliso) en etapa de vivero</b> .....	40

3.1.1.	<i>Identificación de las etapas fenológicas del ciclo del cultivo en etapa de vivero</i> .....	40
3.1.2.	<i>Duración total del ciclo de cultivo de aliso en etapa de vivero</i> .....	41
3.1.3.	<i>Coeficiente del cultivo (kc) para aliso (Alnus acuminata) mediante la metodología de Hargreaves, con 100% de la capacidad de campo del sustrato.</i> .....	42
3.1.4.	<i>Coeficiente del cultivo (kc) para aliso (Alnus acuminata) mediante la metodología de Hargreaves, con 75% de la capacidad de campo del sustrato.</i> .....	43
3.1.5.	<i>Coeficiente del cultivo (kc) ajustado para aliso (Alnus acuminata) mediante la metodología de Hargreaves, con 50% de la capacidad de campo del sustrato.</i> .....	44
3.1.6.	<i>Lamina total de agua aplicada en el ciclo del cultivo de Alnus acuminata (aliso) en etapa de vivero</i> .....	45
3.2.	<b>Establecimiento de la evapotranspiración de <i>Alnus acuminata</i> (Aliso) en etapa de vivero</b> .....	45
3.3.	<b>Porcentajes de prendimiento de las plantas</b> .....	46
3.3.1.	<i>Porcentaje de prendimiento a los 15 DDR</i> .....	46
3.4.	<b>Análisis de la altura de las plantas</b> .....	48
3.4.1.	<i>Altura de la planta, 15 DDR</i> .....	48
3.4.2.	<i>Altura de la planta, 140 DDR</i> .....	48
3.4.3.	<i>Altura de la planta, 155 DDR</i> .....	48
3.4.4.	<i>Altura de la planta, 177 DDR</i> .....	49
3.4.5.	<i>Altura de la planta, 196 DDR</i> .....	50
3.4.6.	<i>Altura de la planta, 211 DDR</i> .....	50
3.4.7.	<i>Altura de la planta, 227 DDR</i> .....	51
3.5.	<b>Análisis del diámetro a la altura del cuello</b> .....	52
3.5.1.	<i>Diámetro a la altura del cuello, 15 DDR</i> .....	52
3.5.2.	<i>Diámetro a la altura del cuello, 140 DDR</i> .....	53
3.5.3.	<i>Diámetro a la altura del cuello, 155 DDR</i> .....	53
3.5.4.	<i>Diámetro a la altura del cuello, 177 DDR</i> .....	54
3.5.5.	<i>Diámetro a la altura del cuello, 196 DDR</i> .....	54
3.5.6.	<i>Diámetro a la altura del cuello, 211 DDR</i> .....	54
3.5.7.	<i>Diámetro a la altura del cuello, 227 DDR</i> .....	55
3.6.	<b>Análisis del crecimiento radicular</b> .....	55
3.6.1.	<i>Crecimiento radicular a los 15 DDR</i> .....	55
3.6.2.	<i>Crecimiento radicular a los 140 DDR</i> .....	56
3.6.3.	<i>Crecimiento radicular a los 155 DDR</i> .....	56
3.6.4.	<i>Crecimiento radicular a los 177 DDR</i> .....	57
3.6.5.	<i>Crecimiento radicular a los 196 DDR</i> .....	58
3.6.6.	<i>Crecimiento radicular a los 211 DDR</i> .....	58

3.6.7.	<i>Crecimiento radicular a los 227 DDR</i> .....	58
3.7.	<b>Análisis del potencial hídrico foliar</b> .....	60
3.7.1.	<i>Potencial hídrico foliar a los 15 DDR</i> .....	60
3.7.2.	<i>Potencial hídrico foliar a los 140 DDR</i> .....	60
3.7.3.	<i>Potencial hídrico foliar a los 155 DDR</i> .....	61
3.7.4.	<i>Potencial hídrico foliar a los 177 DDR</i> .....	61
3.7.5.	<i>Potencial hídrico foliar a los 196 DDR</i> .....	62
3.7.6.	<i>Potencial hídrico foliar a los 211 DDR</i> .....	63
3.7.7.	<i>Potencial hídrico foliar a los 227 DDR</i> .....	63
3.8.	<b>Análisis de la conductancia estomática</b> .....	64
3.8.1.	<i>Conductancia estomática, 15 DDR</i> .....	64
3.8.2.	<i>Conductancia estomática, 140 DDR</i> .....	66
3.8.3.	<i>Conductancia estomática, 155 DDR</i> .....	66
3.8.4.	<i>Conductancia estomática, 177 DDR</i> .....	66
3.8.5.	<i>Conductancia estomática, 196 DDR</i> .....	67
3.8.6.	<i>Conductancia estomática, 211 DDR</i> .....	67
3.8.7.	<i>Conductancia estomática, 227 DDR</i> .....	68
3.9.	<b>Análisis del contenido relativo de agua en las hojas</b> .....	69
3.9.1.	<i>Contenido relativo de agua en hojas, 15 DDR</i> .....	69
3.9.2.	<i>Contenido relativo de agua en hoja 140 DDR</i> .....	70
3.9.3.	<i>Contenido relativo de agua en hoja 155 DDR</i> .....	70
3.9.4.	<i>Contenido relativo de agua en hoja 177 DDR</i> .....	71
3.9.5.	<i>Contenido relativo de agua en hoja 196 DDR</i> .....	71
3.9.6.	<i>Contenido relativo de agua en hoja 211 DDR</i> .....	72
3.9.7.	<i>Contenido relativo de agua en hoja 227 DDR</i> .....	72
3.10.	<b>Materia seca</b> .....	73
<b>CONCLUSIONES</b> .....		74
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		75
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Principales plagas del aliso las tablas .....	11
<b>Tabla 2-1:</b>	Principales enfermedades del aliso .....	12
<b>Tabla 3-1:</b>	Valores de CC y PMP según las clases de suelo.....	15
<b>Tabla 4-1:</b>	Interpretación de lecturas de los bloques de yeso .....	18
<b>Tabla 5-1:</b>	Coeficientes del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A .....	22
<b>Tabla 1-2:</b>	Especificaciones del campo experimental .....	32
<b>Tabla 2-2:</b>	Tratamientos en estudio .....	33
<b>Tabla 3-2:</b>	Factores de estudio.....	33
<b>Tabla 4-2:</b>	Análisis de varianza (ADEVA).....	34
<b>Tabla 5-2:</b>	Significancia de los valores para el análisis de varianza (ANOVA).....	39
<b>Tabla 1-3:</b>	Lamina total de agua aplicada durante el ciclo del cultivo de <i>Alnus acuminata</i> (aliso) en etapa de vivero .....	45
<b>Tabla 2-3:</b>	Tabla de porcentajes de prendimiento a los 15 DDR.....	46
<b>Tabla 3-3:</b>	ANOVA del prendimiento a los 15 DDR .....	47
<b>Tabla 4-3:</b>	ANOVA de la altura de las plantas a los 15 DDR .....	48
<b>Tabla 5-3:</b>	ANOVA de la altura de las plantas a los 140 DDR .....	48
<b>Tabla 6-3:</b>	ANOVA de la altura de las plantas a los 155 DDR .....	49
<b>Tabla 7-3:</b>	ANOVA de la altura de las plantas a los 177 DDR .....	49
<b>Tabla 8-3:</b>	Prueba TUKEY al 5% de la altura de las plantas a los 177 DDR.....	49
<b>Tabla 9-3:</b>	ANOVA de la altura de las plantas a los 196 DDR .....	50
<b>Tabla 10-3:</b>	ANOVA de la altura de las plantas a los 211 DDR .....	51
<b>Tabla 11-3:</b>	ANOVA de la altura de las plantas a los 227 DDR .....	51
<b>Tabla 12-3:</b>	Prueba TUKEY al 5% de la altura de las plantas a los 227 DDR.....	51
<b>Tabla 13-3:</b>	ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 15 DDR.....	53
<b>Tabla 14-3:</b>	ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 140 DDR.....	53
<b>Tabla 15-3:</b>	ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 155 DDR.....	53
<b>Tabla 16-3:</b>	ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 177 DDR.....	54
<b>Tabla 17-3:</b>	ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 196 DDR.....	54
<b>Tabla 18-3:</b>	ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 211 DDR.....	55
<b>Tabla 19-3:</b>	ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 227 DDR.....	55
<b>Tabla 20-3:</b>	ANOVA del crecimiento radicular a los 15 DDR .....	56
<b>Tabla 21-3:</b>	ANOVA del crecimiento radicular a los 140 DDR .....	56
<b>Tabla 22-3:</b>	ANOVA del crecimiento radicular a los 155 DDR .....	56
<b>Tabla 23-3:</b>	ANOVA del crecimiento radicular a los 177 DDR .....	57

<b>Tabla 24-3:</b>	Prueba TUKEY al 5% del crecimiento radicular a los 177 DDR .....	57
<b>Tabla 25-3:</b>	ANOVA del crecimiento radicular a los 196 DDR .....	58
<b>Tabla 26-3:</b>	ANOVA del crecimiento radicular a los 211 DDR .....	58
<b>Tabla 27-3:</b>	ANOVA del crecimiento radicular a los 227 DDR .....	59
<b>Tabla 28-3:</b>	ANOVA del potencial hídrico foliar a los 15 DDR.....	60
<b>Tabla 29-3:</b>	ANOVA del potencial hídrico foliar a los 140 DDR.....	60
<b>Tabla 30-3:</b>	ANOVA del potencial hídrico foliar a los 155 DDR.....	61
<b>Tabla 31-3:</b>	ANOVA del potencial hídrico foliar a los 177 DDR.....	61
<b>Tabla 32-3:</b>	Prueba TUKEY al 5% del potencial hídrico a los 177 DDR .....	62
<b>Tabla 33-3:</b>	ANOVA del potencial hídrico foliar a los 196 DDR.....	62
<b>Tabla 34-3:</b>	ANOVA del potencial hídrico foliar a los 211 DDR.....	63
<b>Tabla 35-3:</b>	ANOVA del potencial hídrico foliar a los 227 DDR.....	63
<b>Tabla 36-3:</b>	Prueba TUKEY al 5% del potencial hídrico a los 227 DDR .....	64
<b>Tabla 37-3:</b>	ANOVA de la conductancia estomática a los 15 DDR.....	65
<b>Tabla 38-3:</b>	Prueba TUKEY al 5% de la conductancia estomática a los 15 DDR .....	65
<b>Tabla 39-3:</b>	ANOVA de la conductancia estomática a los 140 DDR.....	66
<b>Tabla 40-3:</b>	ANOVA de la conductancia estomática a los 155 DDR.....	66
<b>Tabla 41-3:</b>	ANOVA de la conductancia estomática a los 177 DDR.....	67
<b>Tabla 42-3:</b>	ANOVA de la conductancia estomática a los 196 DDR.....	67
<b>Tabla 43-3:</b>	ANOVA de la conductancia estomática a los 211 DDR.....	68
<b>Tabla 44-3:</b>	ANOVA de la conductancia estomática a los 227 DDR.....	68
<b>Tabla 45-3:</b>	ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 15 DDR .....	69
<b>Tabla 46-3:</b>	Prueba TUKEY al 5% del contenido relativo de agua en hojas, 15 DDR .....	69
<b>Tabla 47-3:</b>	ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 140 DDR .....	70
<b>Tabla 48-3:</b>	ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 155 DDR.....	71
<b>Tabla 49-3:</b>	ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 177 DDR.....	71
<b>Tabla 50-3:</b>	ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 196 DDR.....	72
<b>Tabla 51-3:</b>	ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 211 DDR.....	72
<b>Tabla 52-3:</b>	ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 227 DDR.....	73
<b>Tabla 53-3:</b>	ANOVA de la materia seca de las plantas .....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Planta de Aliso ( <i>Alnus acuminata</i> ).....	4
--	---

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Duración de las etapas fenológicas del cultivo de aliso en los diferentes .....	40
<b>Gráfico 2-3:</b>	Duración total del ciclo del cultivo de aliso en los diferentes tratamientos .....	41
<b>Gráfico 3-3:</b>	Coeficiente del cultivo (kc) por etapa, para el Tratamiento 1 .....	42
<b>Gráfico 4-3:</b>	Coeficiente del cultivo (kc) por etapa, para el Tratamiento 2 .....	43
<b>Gráfico 5-3:</b>	Coeficiente del cultivo (kc) por etapa, para el Tratamiento 3 .....	44
<b>Gráfico 6-3:</b>	Evapotranspiración de cultivo (Etc) por etapa fenológica, para cultivo de ( <i>Alnus acuminata</i> ) aliso. ....	45
<b>Gráfico 7-3:</b>	Promedio de los porcentajes de prendimiento a los 15 DDR .....	47
<b>Gráfico 8-3:</b>	Promedio de las alturas, 177 DDR .....	50
<b>Gráfico 9-3:</b>	Promedio de las alturas, 227 DDR .....	52
<b>Gráfico 10-3:</b>	Promedio del crecimiento radicular, 196 DDR .....	57
<b>Gráfico 11-3:</b>	Promedio de los potenciales hídricos foliares, 177 DDR.....	62
<b>Gráfico 12-3:</b>	Promedio del potencial hídrico foliar, 227 DDR.....	64
<b>Gráfico 13-3:</b>	Promedio de la conductancia estomática a los 140 DDR.....	65
<b>Gráfico 14-3:</b>	Promedio del contenido relativo de agua a los 15 DDR.....	70



## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** DELIMITACIÓN DEL ÁREA PARA LA INSTALACIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL
- ANEXO B:** INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO
- ANEXO C:** DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HÍDRICOS DEL SUSTRATO
- ANEXO D:** LLENADO DE FUNDAS Y REPIQUE
- ANEXO E:** MEDICIÓN DE LAS VARIABLES A CONSIDERAR
- ANEXO F:** LIMPIEZA DEL ÁREA DE ACLIMATACIÓN
- ANEXO G:** ANÁLISIS CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUSTRATO
- ANEXO H:** OBTENCIÓN DATOS CLIMATOLÓGICOS
- ANEXO I:** MEDICIÓN DE PLANTAS TESTIGO

## RESUMEN

El presente estudio consistió en evaluar el requerimiento hídrico de aliso (*Alnus acuminata*), en etapa de vivero bajo condiciones controladas, en la Estación Experimental Tunshi de la ESPOCH, cantón Riobamba provincia de Chimborazo. Para el ensayo se usaron 500 semillas de aliso recolectadas directamente de árboles de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, las semillas se recogieron cuando presentaban una coloración verde amarillenta que es cuando presentan mayor poder germinativo y no se les realizó ningún tratamiento pre germinativo; para la toma de datos se realizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) en el que se distribuyeron tres tratamientos basados en el riego por goteo, siendo estos: T1, T2 y T3 que representan al 100, 75 y 50 % de la capacidad de campo del sustrato, respectivamente; y tres repeticiones; las variables evaluadas en el transcurso de la investigación fueron: el porcentaje de prendimiento de las plantas de aliso, su altura, longitud de la raíz, diámetro, conductividad estomática, potencial hídrico, contenido relativo de agua en hojas, materia seca, coeficiente de cultivo y evapotranspiración de cultivo; las láminas de riego fueron establecidas mediante el cálculo empírico haciendo uso del tanque evaporímetro clase A. Los coeficientes de cultivo fueron; 0,4; 0,85; 0,76 y 0,24 (etapa inicial, desarrollo, intermedia y final); la evapotranspiración del cultivo alcanzó valores de 1,43; 3,13; 1,85 y 0,95 mm/día, respectivamente; se obtuvieron promedios de: altura de 48,43 cm, diámetro la altura del cuello de 5,3 mm, conductividad estomática de 282,6 mmol/ms, contenido relativo de agua de 81,1%. Se concluyó que, a mayor porcentaje de agua a capacidad de campo, se obtiene un mayor desempeño y se recomienda realizar más estudios de porcentajes de agua a capacidad de campo en relación con *Alnus acuminata*.

**Palabras clave:** <RIEGO POR GOTEO>, <REQUERIMIENTO HÍDRICO>, <LÁMINA DE RIEGO>, <COEFICIENTE DE CULTIVO>, <CAPACIDAD DE CAMPO> , <ALISO (*Alnus acuminata*)>.



Firmado electrónicamente por:  
**CRISTHIAN  
FERNANDO  
CASTILLO RUIZ**



0393-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

This research consisted on evaluating the water requirement of alder (*Alnus acuminata*), in nursery stage under controlled conditions, at Tunshi Experimental Station of the ESPOCH, Riobamba canton, province of Chimborazo. For the trial, 500 alder seeds collected directly from trees of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo were used, the seeds were collected when they presented a yellowish green coloration which is when they present greater germination power and no pre-germination treatment was performed; for data collection a randomized complete block design (DBCA) was performed in which three treatments based on drip irrigation were distributed, being these: T1, T2 and T3 representing 100, 75 and 50 % of the field capacity of the substrate, respectively; and three replications; the variables evaluated in the course of the research were: the percentage of alder plants' prostration, their height, root length, diameter, stomatal conductivity, water potential, relative water content in leaves, dry matter, crop coefficient and crop evapotranspiration; the irrigation laminae were established by empirical calculation making use of the class A evaporimeter tank. Crop coefficients were: 0.4, 0.85, 0.76 and 0.24 (initial, development, intermediate and final stages); crop evapotranspiration reached values of 1.43, 3.13, 1.85 and 0.95 mm/day, respectively; averages were obtained for: height of 48.43 cm, diameter at collar height of 5.3 mm, stomatal conductivity of 282.6 mmol/ms, relative water content of 81.1%. It was concluded that, the higher the percentage of water at field capacity, the higher performance and it is recommended to carry out more studies of water percentages at field capacity in relation to *Alnus acuminata*.

**Key words:** <DRIP IRRIGATION>, <WATER REQUIREMENT>, <IRRIGATION LANDING>, <CROP COEFFICIENT>, <FIELD CAPACITY>, <ALISO (*Alnus acuminata*)>.



Firmado electrónicamente por:  
**ELSA AMALIA  
BASANTES  
ARIAS**

## **INTRODUCCIÓN**

Ecuador es un país megadiverso en flora y fauna, tomando en cuenta esto, se ha podido ver con el transcurrir de los años como ha tomado relevancia el ámbito forestal dentro del sentido económico, social y cultural de una población. Actualmente, con el incremento del cambio climático, el desgaste de suelo y otros factores que afectan la calidad ambiental los agricultores han optado por perfeccionar y acoplar técnicas que mejoren la optimización de los recursos, así como también su preservación, garantizando la fertilidad de la tierra como fuente benéfica de la comunidad.

En este caso, la planta *Alnus Acuminata* o mejor conocido como “Aliso”, representa a un grupo seleccionado de plantas cuya utilización permite la recuperación de los suelos, por ser una especie que posee cualidades como, rápido crecimiento y el aporte de una cantidad importante de nitrógeno en el suelo. Su fácil crecimiento en diferentes tipos de terrenos ha permitido que muchas culturas adopten este tipo de especie para mejorar y dar vida a sus suelos, por lo que han optado cultivarlos en viveros como muestra de su valor para reforestar amplios terrenos que necesitan de sus beneficios.

Por otra parte, el valor ecológico que recae en esta unidad productiva constituye una estrategia para combatir la erosión de los suelos, la misma que requiere de un eficiente sistema integral de los elementos implicados para su productividad, tal es el caso del recurso hídrico como fuente principal para el desarrollo exponencial de la planta. El correcto suministro de este recurso provee la cantidad necesaria que la planta requiere para su óptimo crecimiento, cuya inversión evite generar pérdidas innecesarias por el inadecuado riego, así como también problemas de crecimiento, raíz y hasta la muerte prematura de la planta por faltante o exceso de agua.

### **Identificación del problema**

El desconocimiento de los requerimientos hídricos durante la etapa de vivero de especies forestales como *Alnus acuminata* (Aliso) puede ocasionar problemas como el mal manejo y uso del agua de riego desencadenando un nivel bajo de germinación de semillas y emergencia de plántulas, así como deteriorar la calidad de las plantas producidas en cuanto a sus tiempos de lignificación y posterior salida a campo o a su vez, problemas de adaptación de las plantas al medio ambiente en que fueron plantadas reduciendo su tasa de crecimiento en campo o en casos drásticos, la muerte prematura de los individuos plantados.

## **Justificación de la investigación**

El presente proyecto se enfoca en el estudio del requerimiento hídrico de *Alnus acuminata* en etapa de vivero en condiciones controladas como una característica crucial para consolidar un correcto manejo del agua de riego para la producción de plantas que calidad, ya que, podemos evidenciar que Ecuador no se encuentra libre de la deforestación que anualmente ha ido decreciendo los bosques en la región interandina, cuya vegetación casi ha sido reemplazada en su totalidad por cultivos agrícolas y zonas de pastoreo que, cuando están mal manejados, degradan en gran medida los suelos; o en otros casos son convertidos en asentamientos urbanos.

*Alnus acuminata* (Aliso) nos permite recuperar la tierra a través de una destacada característica como es la captación de nitrógeno atmosférico por medio de su simbiosis con una bacteria filamentososa del género *Frankia*, permitiendo una alta generación de biomasa rica en nitrógeno.

## **Objetivos de la investigación**

### **Objetivo General**

Evaluar el requerimiento hídrico de *Alnus acuminata* (Aliso) en etapa de vivero bajo condiciones controladas en la Estación Experimental Tunshi, ESPOCH. Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) de *Alnus acuminata* (Aliso) en etapa de vivero.
- Establecer la evapotranspiración de *Alnus acuminata* (Aliso) en etapa de vivero.
- Evaluar el comportamiento biométrico de *Alnus acuminata* (Aliso) en etapa de vivero.

### **Hipótesis**

#### **Hipótesis nula**

Las diferentes láminas de riego no influyen en el crecimiento vegetativo de *Alnus acuminata* (Aliso) en etapa de vivero.

### **Hipótesis alterna**

Al menos una de las láminas de riego influye en el crecimiento vegetativo de *Alnus acuminata* (Aliso) en etapa de vivero.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Aliso



**Figura 1-1.** Planta de Aliso (*Alnus acuminata*)

**Fuente:** Royal Botanic Garden KEW, 2019. p. 1

##### *1.1.1. Tronco*

Su tallo de contextura robusta y con base recta está cubierto por una corteza lisa o parcialmente rugosa de tonalidad grisácea o rojiza. Además, es delgada con savia de tono claro que se oxida rápidamente al aire, convirtiéndose en un color rojizo o anaranjado (Sánchez et al., 2010, p. 29).

##### *1.1.2. Raíz*

Las raíces se expanden de manera oblicua-vertical en la superficie actuando como un anclaje, estas poseen nódulos cuya función permite absorber nitrógeno, que gracias a esta característica es ideal para crecer en suelos pobres, por lo general requieren mantenerse sus raíces humedecidas, es por eso que se encuentra cerca de vertientes de agua, soportando en medida encharcamientos o excesos del mismo, brindándoles una mayor sujeción al suelo (Salazar, 2018, p. 12).

### ***1.1.3. Hojas***

En cuanto a sus hojas se las puede distinguir por su forma abovedada (forma de bóveda, o sea, con una curvatura o arco en la parte superior) de tonalidad verde con nervaduras ligeramente notables alcanzando aproximadamente 12 centímetros cuyo aspecto acorazonado tiene bordes desdentados y puntiagudos (Salazar, 2018, p. 13).

### ***1.1.4. Flores***

Las flores se presentan en inflorescencias, la tonalidad dependerá del tiempo de desarrollo de floración, cada ejemplar posee flores masculinas y femeninas, las cuales tienen una forma cilíndrica colgantes que están protegidas por hipsofilos cuya agrupación forma un cono pequeño erguido de 0,7cm a 2,5cm de largo y de 0,5cm. a 1,2cm de diámetro, mientras que las masculinas forman inflorescencias de manera pendular por agrupaciones de tres (Alcarraz, 2019, p. 13).

### ***1.1.5. Frutos***

Este tipo de fructificación se presenta generalmente en todo el año, su forma cónica u ovoide asemeja una pequeña piña notablemente leñosa con presencia de escamas que helicoidalmente amparan las semillas, el cuerpo tiene una medida aproximada de 1.5mm a 3mm de largo y 1.5mm a 1.8mm de ancho y su tonalidad depende del tiempo de maduración, entre más joven el fruto tendrá un tono verde amarillento mientras que su estado total de maduración reflejará un color café oscuro a marrón (Silva, 2012, p. 43).

### ***1.1.6. Semillas***

Tiene una forma plana, de tamaño pequeño con aproximadamente 4 milímetros de diámetro. La recolección de las semillas del Aliso debe hacerse antes de su estado de maduración, específicamente cuando el cono empieza a cambiar su tonalidad a verde amarillo ya que puede perder gran cantidad de semilla fértil, atribuyéndole rápidamente su escasa capacidad germinativa (Salazar, 2018, p. 14).

### ***1.1.7. Origen y distribución geográfica***

El aliso comprende una veintena de especies localizadas en zonas húmedas del hemisferio norte abarcando el continente europeo, asiático hasta América del norte (Portilla, 2012, p. 9).



En cuanto al continente americano, esta especie predomina habitualmente en zonas de media y alta montaña o llanuras desde México hasta el norte de Argentina, adecuándose formidablemente en suelos de origen volcánico (Portilla, 2012, p. 9).

#### ***1.1.8. Condiciones de hábitat***

Esta especie arbórea se localiza ampliamente en zonas ribereñas preferentemente de climas húmedos, con sustratos ácidos y áreas de nubosidad, requieren indispensablemente de luz solar y pueden acoplarse fácilmente en zonas secas o suelos pobres. Gracias a su capacidad de fijar nitrógeno se lo utiliza especialmente para mitigar espacios de explotación forestal (San José et al., 2010, p. 32).

##### ***1.1.8.1. Temperatura***

Generalmente de clima templado-húmedo, requiere una temperatura media anual entre 4 a 18° C, pueden resistir ocasionalmente heladas con temperaturas que bajan hasta los -2° centígrados, así como también temperaturas máximas que llegan hasta los 27° C tolerando ciertos lapsos de sequías una vez desarrollado completamente ya que en su periodo inicial puede ser susceptible en el proceso de crecimiento (Ospina et al., 2012, p. 13).

##### ***1.1.8.2. Precipitación***

Pueden plantarse en sitios con alta pendiente, se adapta perfectamente en altitudes entre 1.600 y 3.200 msnm, se acopla con facilidad a precipitaciones anuales de aproximadamente 500 mm (Ospina et al., 2012, p. 13).

#### ***1.1.9. Variables edáficas***

Estas especies arbóreas por lo general no son muy exigente en cuanto al tipo de suelo, ya que pueden crecer en suelos calizos, arcillosos incluyendo a menudo con afloramientos rocosos (Portilla, 2012, p. 9).

Para su óptimo crecimiento debe existir una buena humedad, habitualmente se lo encuentra en suelos de origen volcánico ya que requiere tierras con un pH ácido de 4,5 a 8, además, de ser rico en materia orgánica demanda un buen sistema de drenaje (Anilema, 2018, p. 22).

Otras características de los suelos donde comúnmente crecen estos árboles es el alto contenido de hierro (Fe) y aluminio (Al), por otra parte, la capacidad que esta especie posee para utilizar el nitrógeno atmosférico le atribuye en una ventaja en la obtención rápida de minerales por lo que le convierte en un recurso fundamental para la revegetación de suelos debilitados (Portilla, 2012, p. 9).

Cabe recalcar que, por ser un árbol que requiere un adecuado sistema de drenaje y filtración de agua, esta especie no soporta suelos pantanosos o que tenga constante desbordamientos de ríos, excesivas lluvias torrenciales u otro factor que mantenga la zona inundada o con exceso de agua (Alcarraz, 2019, p. 9).

#### ***1.1.10. Zonas de vida***

La zona de vida corresponde a un territorio biogeográfico limitado por diversos factores climáticos, en los que las precipitaciones, temperatura determinan el tipo de vegetación, en este caso el aliso se acentúa en bosques secos –montano bajo cuya altitud se adjudica entre los 800 m s.n.m. para el bosque húmedo pre montano (bh-PM) y los 3500msnm para los bosques húmedos montano (bh-M) (Alcarraz, 2019, p. 14).

### **1.2. Silvicultura del aliso**

#### ***1.2.1. Regeneración por semilla***

La propagación del Aliso se lo puede realizar por medio de semillas en almácigos, la germinación inicia entre 5 a 12 días de la siembra. La semilla pierde pronto su poder germinativo de forma que en un mes sólo se obtiene entre el 7% y un 15% de germinación (Anilema, 2018, p. 23).

#### ***1.2.2. Regeneración por estacas***

Los mejores resultados para su propagación se han obtenido utilizando estacas de 1 a 2 cm de diámetro y de 15 a 20 cm de largo, cortados a bisel en ambos extremos. Para obtener el 100% de prendimiento es indispensable que las estacas tengan raíces preformadas y 2 a 3 yemas. Este método facilita la reproducción en el Aliso blanco y permite obtener plantas de árboles selectos (Alcarraz, 2019, p. 21).

### ***1.2.3. Capacidad de rebrote***

Los árboles rebrotan en forma natural. La finalidad principal de la plantación es la contribución de nitrógeno al sitio, el corte de brotes cerca del árbol mata una cantidad de raicillas liberando así una gran parte de nitrógeno contenido (Anilema, 2018, p. 23).

### ***1.2.4. Época de plantación***

Por su exigencia de humedad, es indispensable plantar el Aliso cuando las lluvias se hayan establecido bien. Para su plantación en sitios semisecos o terrenos poco profundos es indispensable realizar una buena preparación del sitio. De ser necesario se debe realizar obras físicas para aumentar la filtración o retención del agua. La plantación debe realizarse cuando se ha iniciado la estación de lluvias, con ello se garantiza que haya buena humedad en el suelo. Lo ideal es hacer la plantación en días nublados o con lluvias intermitentes, ya que esto reduce el shock de trasplante. Estas condiciones son aún más necesarias cuando se trabajan con plantas a raíz desnuda (Anilema, 2018, p. 23).

### ***1.2.5. Métodos de plantación***

Aunque la propagación del Aliso por estaca es posible, su prendimiento es bajo y la calidad de su plantación generalmente es pobre debido al escaso desarrollo radicular (Anilema, 2018, p. 24).

### ***1.2.6. Tamaño de la planta***

En términos generales; las plantas de 20 a 30 cm de altura, producidas en fundas de polietileno son adecuadas para las plantaciones agroforestales. El tamaño adecuado de las plantas para las condiciones de la Región Andina oscila entre 25 y 30 cm de altura, pero deben ser bien lignificadas antes de salir del vivero para asegurar el prendimiento y sobrevivencia en el lugar definitivo (Anilema, 2018, p. 24).

### ***1.2.7. Densidad y espaciamiento***

Los espaciamientos están determinados por el propósito y objetivo de la plantación, también por las condiciones del suelo, a mayor profundidad y humedad, la distancia entre árboles deberá ser mayor y viceversa.

### ***1.2.8. Reposición***

La reposición debe efectuarse en los primeros meses después de realizada la plantación, mientras exista humedad, es necesario ejecutar la reposición de los árboles muertos y deformados que no sobrepasen del 15% (Anilema, 2018, p. 24).

### ***1.2.9. Protección***

A más de preparar el sitio y elegir la calidad de las plantas, es necesario protegerlas en los primeros meses de haber realizado la plantación, principalmente de los daños que causan los animales (ramoneo o pisoteo), de las labores agrícolas cuando se trata de plantaciones en sistemas agroforestales y los provenientes de factores climáticos (heladas, granizadas y sequía) (Alcarraz, 2019, p. 23).

## **1.3. Usos del aliso**

- 1) Madera empleada en ebanistería.
- 2) Madera para cajas de empaque.
- 3) Madera apropiada para elaboración de lápices, palillos y fósforos.
- 4) Artesanías talladas.
- 5) Leña.
- 6) Corteza para curtir cuero.
- 7) Sus hojas se emplean para aliviar inflamaciones y golpes y para combatir el reumatismo (maceradas y en cataplasma).
- 8) Apropiado para establecer sistemas agroforestales y silvopastoriles por su rápido crecimiento.
- 9) Árbol con raíces fijadoras de nitrógeno, mejora la fertilidad del suelo.
- 10) Corteza usada para dolores de la garganta (a manera de enjuagues o gargarismos).
- 11) Corteza para leña, carbón, juguetería, cabos de escobas e instrumentos musicales.
- 12) En tintorería la corteza y las hojas son empleadas para teñidos de color canela; además contiene taninos, por lo que es empleada en la curtiembre de cueros (Anilema, 2018, p. 25).

## **1.4. Manejo de la especie**

### ***1.4.1. Labores pre-culturales***

#### *1.4.1.1. Preparación del terreno*

El sitio definitivo para la plantación debe prepararse con anticipación, eliminando las malas hierbas y limpiando adecuadamente (Anilema, 2018, p. 26).

#### *1.4.1.2. Trazado y hoyado*

La plantación debe seguir el sentido de las curvas de nivel, en cuadro, cada tres metros, haciendo hoyos de 30 x 30 x 25 cm, cuando el lote es de un sistema silvopastoril es necesario hacer un hoyo de mayor profundidad de 40 a 50 cm (Anilema, 2018, p. 26).

### ***1.4.2. Labores culturales***

#### *1.4.2.1. Densidad de la plantación*

La densidad inicial de siembra debe ser de 1.111 árboles por hectárea (3 m x 3 m) en cuadro; algunos autores recomiendan emplear densidades de 650 árboles por ha, puesto que el rápido desarrollo del aliso permite lograr una ocupación del terreno en poco tiempo, sin tener que hacer una entresaca temprana, sin embargo, otros trabajos realizados muestran que una baja densidad inicial afecta significativamente la forma de los árboles y favorece las pérdidas por fracturas de fustes (Alcarraz, 2019, p. 30).

#### *1.4.2.2. Limpias*

Para garantizar el normal desarrollo de la planta se debe mantener el terreno circundante libre de malas hierbas removiéndolas con cuidado para evitar el maltrato a las raíces del árbol. El aliso es muy sensible a la falta de luz y su crecimiento se ve afectado por la competencia del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en las etapas iniciales del crecimiento del árbol; cosa que no pasa cuando ya se encuentra (Alcarraz, 2019, p. 31).

### 1.4.2.3. Crecimiento inicial del aliso con fertilización

La mayoría de los suelos de la región andina son deficientes en fósforo, por esta razón se ha observado la poca o a veces nula formación de nódulos en el aliso. El uso de fertilizantes ha comprobado que la dosis de 50 gramos de 18-46-0 aplicada en el fondo del hoyo al momento de efectuar la plantación, es la más promisoría (Anilema, 2018, p. 27).

### 1.4.3. Plagas y enfermedades del árbol de aliso

**Tabla 1-1:** Principales plagas del aliso las tablas

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico, orden y familia</b>	<b>Daño producido</b>	<b>Manejo</b>
<b>Barrenador del aliso</b>	<i>Corthylus n. sp.</i> <i>Coleoptera</i> <i>Scolytidae</i>	Perforación del tronco	Captura mediante trampas con alcohol
<b>Barrenador del aliso</b>	<i>Scolytodes alni</i> <i>Coleóptero</i> <i>Scolytidae</i>	Perforación del tronco	Eliminación de los individuos afectados
<b>Comedor de follaje</b>	<i>Chalcophana sp.</i> <i>Coleoptera</i> <i>Chrysomelidae</i>	Perforaciones circulares entre las nervaduras principales	Control biológico con el parasitoide <i>Enoggera reticulata</i>
<b>Cucarroncito verde</b>	<i>Diabrotica sp.</i> <i>Coleoptera</i> <i>Chrysomelidae</i>	Daño en el cuello de la raíz, volcamiento y muerte	Aplicación de insecticidas de contacto
<b>Tortuguita verde</b>	<i>Nodonota sp.</i> <i>Coleoptera</i> <i>Chrysomelidae</i>	Perforaciones circulares en el follaje Amarillamiento general	Aplicación de insecticidas de contacto.
<b>Frailecito</b>	<i>Macrodactylus sp.</i> <i>Coleoptera</i> <i>Melolonthidae</i>	Esqueletizadores de las yemas terminales y las hojas nuevas	Aplicación de insecticidas de contacto
<b>Defoliador del aliso</b>	<i>Oxydia olivata</i> <i>Lepidóptera</i> <i>Geometridae</i>	Defoliación total del árbol	Captura mediante trampas de luz blanco o ultravioleta

Fuente: Salazar, 2018, p. 18

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

**Tabla 2-1:** Principales enfermedades del aliso

Nombre científico	Asociado al ataque de	Daño producido
<i>Fusarium solani</i> <i>Fusarium sp.</i> <i>Ceratocystis sp.</i>	<i>Corthylus n. sp.</i>	Manchas de color café rojizo Chancros Marchitamiento
<i>Melampsorium alni</i>		Manchas dispersas en la lámina foliar
<i>Phomopsis sp.</i>		Quema pardo-negrucza principalmente en hojas jóvenes y yemas apicales.

Fuente: Salazar, 2018, p. 19

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 1.5. Requerimiento hídrico

El agua es uno de los elementos primordiales que generan la vida, este recurso constituye las tres cuartas partes del planeta formando parte de nuestro vivir. Siendo una necesidad, las cuencas hidrográficas tiene un valor sustentable, ya que su preservación y cuidado asegura la calidad de vida de todos los seres vivos.

Este recurso forma parte de cada elemento del planeta tierra, el uso abismal que requerimos para hacer nuestras tareas cotidianas generan un desperdicio innecesario en su mala práctica, esto incluye la utilización de fuentes hídricas para el cultivo.

Cabe recalcar que esta fuente de vida no es un recurso renovable, por lo que, asegurar su conservación forma parte de una visión ecológica-ambiental generando reservas autosustentables que mantenga el potencial hídrico en perfectas condiciones (Delgado, Alberich y López, 2006, pp. 1-4).

Por otra parte, las propiedades características del agua determinan el uso a cada situación recurrente, en este sentido, generar un sistema de riego que permita aprovechar la lluvia o cuencas hidrográficas cercanas a la zona de cultivo como fuente de regadío es una forma beneficiosa de optimizar los recursos generados por la naturaleza (Martínez y Villalejo, 2018, p. 71).

Es imprescindible establecer condiciones de contorno para promover un balance de los recursos hidrográficos considerando todos los factores geológicos, hidrológicos y climáticos, esto no solo permite tener una idea de cuantificable de las fuentes hidrográficas existentes sino también de su ciclo operativo.

### ***1.5.1. Agua en el suelo***

Se sobreentiende que el agua es un elemento natural que se encuentra en diferentes partes del planeta, ya sea en las riveras de las montañas o vertientes naturales podemos encontrarlo en diferentes estados como gaseoso, sólido y líquido, los mares cubren la superficie plana del planeta tierra representado en un 71%, mientras que en estado sólido se encuentran los glaciares o casquete polares representado en un 96,5%, adicionando los depósitos acuíferos con un 1.74%, permafrost 1.72% y lo demás en cuencas, lagos, humedad de suelo, vapor atmosférico, ensamble, ríos y riachuelos que pertenece al 0,4% y está compuesta por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno lo cual la hace muy adhesiva y su efecto es que mantiene la humedad en cualquier lugar donde repose este recurso (Rubio et al., 2017, pp. 13-22).

En este sentido se refiere a la mezcla del agua en la tierra para determinar la capacidad de retener la humedad en los diferentes nichos, láminas, fundas, esquemas o en si misma que es el estado natural del suelo y la materia orgánica, ya que el suelo posee muchas propiedades, la diferencia está en la localización y región en la que se encuentran los páramos, hay diferentes factores del tiempo, clima y la roca madre como de los volcanes que influye mucho la actividad volcánica y el despojo de la ceniza (Silva et al., 2015, p. 34).

Es necesario precisar la capacidad del suelo en retener la humedad, ya que depende de varios factores que facilitan la filtración del agua en la tierra, para ello debemos considerar la textura, la densidad del suelo y la presencia de materia orgánica e inorgánica.

#### ***1.5.1.1. Clasificación del agua en el suelo***

##### **Capacidad De Campo (CC)**

Es la capacidad de retención de agua o humedad en los suelos después de que haya drenado libremente, se constituye como un parámetro utilizado por los técnicos forestales que indica la presencia y disponibilidad del agua en las plantas. Por otra parte, se incluye tres variables que determinan la humedad existente en los suelos, tales como: la materia orgánica, la densidad y las fracciones texturales (Chicas, Vanegas y García, 2014, pp. 41-46).

Retener la humedad en los suelos es fundamental para el desarrollo de las plantas, es por ello que se debe generar un balance en los niveles hídricos en la entrada y salida del agua promoviendo el desarrollo satisfactorio de los cultivos (Silva et al., 2015, p. 37).



Por otra parte, establecer medidas que permita regular la cantidad de agua existente o almacenada en los suelos mejora el aprovechamiento del recurso, así como también un control de humedad en los cultivos (Chicas, Vanegas y García, 2014, pp. 41-46).

Al considerar la pérdida de humedad del suelo debido a factores de evapotranspiración, esto cambiará el valor de retención. Además, el contenido de humedad en el suelo tiene un potencial de tensión o matriz de agua de -0,33 bares. A fin de evitar la evaporación se debe proteger el suelo, se puede considerar el uso de plásticos. Por lo general, toma alrededor de 24 horas después del riego completo (Silva et al., 2015, p. 40).

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

Este proceso se conoce como el nivel de humedad que mantiene el suelo, en el caso de no disponer agua de una adecuada filtración además de generar resequeidad en el suelo las consecuencias en el cultivo disminuirán las probabilidades de vida de la planta, como resultado la escasa absorción de agua de las raíces acarreado su muerte (López, 2016, p. 12).

Conocer el punto de marchitez permanente es de carácter fundamental ya que permite determinar el agua útil para los cultivos, siendo este el indicador más negativo de la capacidad del agua en el suelo cuya afectación a la planta conlleva a la muerte. Este parámetro depende de varios factores incluyendo las condiciones climáticas y la conductividad hídrica que mantiene el suelo (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 84).

Considerado como el “límite inferior de humedad aprovechable por las plantas”, el PMP tiene una variación aproximada de los 15 bares dependiendo claramente del tipo de especie (Mariño, Rodríguez y Ramírez, 2006, p. 33).

El punto de marchitez permanente (PMP) puede ser expresado a partir de la capacidad de campo (CC), mediante la siguiente fórmula (Silva et al., 2015, p. 9):

$$\text{PMP}=\text{CC}/1,85$$

Además, previamente dicho la textura de los suelos los valores varían en el contenido de agua de la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, por lo que se expresa a continuación una tabla valores aproximados de CC y PMP según el tipo de suelo:

**Tabla 3-1:** Valores de CC y PMP según las clases de suelo

<b>Clase textural</b>	<b>CC%</b>	<b>PMP%</b>
<b>Arcilla</b>	23-46	13-29
<b>Franco arcilla</b>	18-23	9-10
<b>Franca</b>	12-18	4-11
<b>Franco arenosa</b>	8-13	4-6
<b>Arena</b>	5-7	1-3

**Fuente:** Silva et al., 2015, p. 45

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

#### 1.5.1.2. Medición de agua en el suelo

Es evidente contar con un sistema de riego exacto con el objetivo de favorecer en el rendimiento productivo de los cultivos, para ello es necesario precisar la cantidad de agua almacenada en los suelos. En la actualidad existen varios métodos que permiten estimar la humedad del suelo, los mismos que según Gutiérrez (2001, p. 9), se clasifican en:

#### **Métodos Directos:**

- **Al tacto:** por medio de este sentido la sensación y el aspecto del suelo indican el estado su humedad, para obtener una mejor idea de la retención de agua se puede realizar un hoyo con cualquier instrumento permitiendo sacar una muestra del suelo para determinar la humedad existente.
- **Gravimétrico:** este método se basa en el valor de la cantidad de agua contenida en la masa de sólidos obtenidos por una muestra del suelo, el cual se calcula mediante la siguiente fórmula (Gutiérrez, 2001, p. 11):

$$PW = \frac{m_w}{m_x} * 100 = \left( \frac{PSH - PSS}{PSS} \right) * 100$$

Donde:

PW= Porcentaje gravimétrico del agua

mw= Masa de agua

ms= Masa de sólidos

PSH= Peso de suelo húmedo

PSS= Peso de suelo seco

Una vez recolectadas las muestras del suelo se obtiene el peso para posteriormente sujetarlo a temperaturas de 105-110 grados centígrados, esto puede hacerse mediante la utilización de un horno, para conjuntamente seguido pesarla de nuevo. Los valores obtenidos en el proceso deberán aplicarlos en la fórmula (Gutiérrez, 2001, p. 9).

### **Métodos Indirectos:**

- **Tensiómetros:** este método de lectura rápida, el cual calcula total o parcialmente el estado energético del agua en el suelo. Es un aparato que mide la fuerza con que es retenida el agua indicando en una escala graduada de 0 a 0,1 MPa el esfuerzo que realizan las plantas al absorber el agua.
- **Resistencia Eléctrica:** también conocidos como bloques de yeso, este método se basa en la conductividad eléctrica que tiene la materia sólida (suelo) de acuerdo a la cantidad de agua que este disponga.
- **Aspersor de neutrones:** mediante este método se puede medir la humedad del suelo a través de la interacción neutrónica con los átomos del agua contenida en el suelo, para obtener precisión, las mediciones deben tener una alta valoración
- **Medidor rápido de humedad Speedy:** mediante este método se busca una reacción química a través del carburo de calcio por cierta cantidad de humedad otorgada provocando como resultado un volumen específico de acetileno (Gutiérrez, 2001, p. 12).

Es importante tomar en cuenta en el sistema de riego las condiciones atmosféricas con las que cuenta el suelo, la planta, profundidad y el método de instalación del agua. Puede ser estimado a partir de CC tomando en cuenta la profundidad del suelo.

A continuación, se expresan diferentes fórmulas inmersas en la retención de humedad del suelo.

a) Cálculo del porcentaje de capacidad de campo (Cabrera, 1999, p. 24):

$$CC\% = [(Psh - Pss) / Pss] * 100$$

Dónde:

CC% = cantidad de agua retenida por el sustrato

Psh= peso seco

Pss= peso húmedo

b) Cálculo de la lámina de agua a capacidad de campo (Cabrera, 1999, p. 32):

$$Lam = CC\% - PMP \cdot 100 \cdot DAS \cdot D \text{ agua} \cdot x \text{ funda}$$

Donde:

Lam=lámina de agua expresada en mm

CC%= cantidad de agua retenida por el sustrato

PMP= punto de marchitez permanente

DAS= densidad aparente del sustrato

D agua = densidad del agua

Hfunda= altura de la funda

c) Cálculo individual del volumen de agua total a aplicarse (Cabrera, 1999, p. 43):

$$V = V_{CC} - V_c$$

Donde:

V= volumen de agua a aplicarse (cm<sup>3</sup>)

VCC = volumen de agua a capacidad de campo

Vc = volumen de agua consumida y/o pérdida después de cada frecuencia de riego.

### **Método gravimétrico**

Expresado anteriormente, consiste en el secado en estufa de una muestra de suelo a una temperatura de 105°C durante 24 h. El contenido de agua se calcula restando el peso seco de estufa del peso inicial del suelo del campo.

El contenido de humedad puede expresarse en términos de porcentaje de agua en volumen, para ello se emplea la siguiente fórmula (Gutiérrez, 2001, p. 11):

$$\% \text{Humedad (Gravimétrica)} = \frac{(\text{Peso húmedo}) - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$$

Una de las desventajas en la aplicación de este método es el tiempo que tarda la recolección de datos, ya que normalmente requiere 24 horas para obtener la información, por otra parte, los valores obtenidos pueden generar una leve variación, por lo tanto, es recomendable tomar varias muestras y realizar un promedio de los valores para descartar datos erróneos (Gutiérrez, 2001, p. 11).

Otro de los inconvenientes de este método es la trasportación de los materiales y herramientas del laboratorio a la zona experimental, así como también, el daño a los cultivos que se hace al extraer las muestras, ya que requieren realizar hoyos que permitan la obtención de la muestra.

### **Bloques de yeso o de Resistencia eléctrica**

Consiste principalmente en situar un par de electrodos dentro de un bloque de material poroso y medir la resistencia al paso de la corriente eléctrica contra el estado energético del agua contenida en el bloque, que, al saturarlo y colocarlo en el terreno a una profundidad determinada, dejará que la humedad dentro de éste se mueva hasta que se equilibre con la del suelo, por lo que, al conocer la tensión de la humedad en el bloque, conocemos también la del suelo. Este tipo de sensores satisface a varias aplicaciones de la irrigación donde solamente se requiere reponer la falta de humedad (Gutiérrez, 2001, p. 21).

**Tabla 4-1:** Interpretación de lecturas de los bloques de yeso

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Nº riego necesario</b>	<b>Riego para ser aplicado</b>	<b>Zona de peligro insuficiente humedad del suelo</b>
<b>Fino</b>	80 – 100 (92 - 10 cb)	60 – 80 (173 - 92 cb)	Bajo 60 (173 cb)
<b>Medio</b>	88 – 100 (65 - 10 cb)	70 – 88 (125 - 65 cb)	Bajo 70 (125 cb)
<b>Grueso</b>	90 – 100 (58 - 10 cb)	80 – 90 (92 - 58 cb)	Bajo 80 (92 cb)

**Fuente:** Gutiérrez, 2001, p. 21

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

Una de las ventajas al implementar este método es la obtención rápida de los resultados, por lo general la lectura de datos en suelos arcillosos tienen más del 80% de exactitud en el aprovechamiento de la humedad, además de no requerir personas con experticia y los gastos son relativamente bajos. Este sensor es práctico ya que se lo puede dejar en el campo para que monitoree realizando una lectura automáticamente (Gutiérrez, 2001, p. 21).

Por otra parte, tiene poca sensibilidad ante bajas tensiones de humedad en el suelo, adicionalmente algunos bloques tienen más resistencia a la humedad o sequedad total siendo variable la lectura.

#### **1.5.2. Mediciones meteorológicas**

Las condiciones meteorológicas influyen en los procesos de cultivo ya que factores como la temperatura máxima o mínima de la zona, la precipitación y dirección del viento, así como la radiación u otras condiciones locales determinan la efectividad de la plantación.

Es importante utilizar herramientas que permitan tener una idea sobre las condiciones climáticas al momento de ejercer un proceso de riego o cultivo, ya que esto permitirá evitar complicaciones en la planta por condiciones no apropiadas de estos factores.

A demás, de contar previamente con la experticia de profesionales en este tema, que interprete con exactitud valores meteorológicos de la zona, es necesario tener un amplio conocimiento de los diferentes tipos de especies y las condiciones de hábitat influyentes para su desarrollo (Garreaud y Meruane, 2005, p. 1).

#### *1.5.2.1. Temperatura*

Otro factor importante es la temperatura que gracias a su aporte permite determinar el desarrollo fortuito de la especie, puede ser un factor contribuyente en la descomposición de la materia orgánica cuyo beneficio estimula el crecimiento de raíz, así como también la germinación de la semilla, por ello es necesario mantener un control permitirá tener mayor éxito en el proceso y cuidado del cultivo (Garreaud y Meruane, 2005, p. 1).

Siendo un elemento primordial en las primeras etapas de vida de la semilla, la variación de la temperatura en casos extremos puede generar deficiencias en el crecimiento de la planta influyendo en la escasa absorción de nutrimentos, así como también la retención de la humedad en el suelo. En cuanto al requerimiento climático del Aliso, siendo una especie de climas húmedo-templado la temperatura ronda desde los 4 a 27 grados centígrados e inclusive puede llegar a soportar temperaturas hasta 0°C adaptándose con gran facilidad (Garreaud y Meruane, 2005, p. 1).

#### *1.5.2.2. Humedad relativa*

Uno de los factores ambientales que juega un papel importante en la preparación de los cultivos es la humedad, en este caso se refiere a la humedad del aire, expresada en términos de la cantidad de agua almacenada en el aire. Este tamaño adimensional suele expresarse en porcentaje, aunque la presión real emitida puede ser relativamente constante a lo largo del día, la humedad relativa oscila entre el valor máximo al amanecer y el valor mínimo al comienzo de la tarde (Garreaud y Meruane, 2005, p. 11).

### *1.5.2.3. Velocidad del viento*

El viento es un elemento natural que consiste el desplazamiento horizontal del aire causado por las diferentes presiones atmosféricas, este se atribuye también a las condiciones climáticas sobre las diferentes superficies del planeta (Garreaud y Meruane, 2005, p. 6).

La velocidad del viento usualmente la unidad de medida se calcula metros por segundo (m/s), se mide mediante un anemómetro, cuyas características requeridas son las siguientes:

**Gama de medida:** 0,5 a 75 m/s (I a 150 kn)

**Linealidad:**  $\pm 0,5$  m/s ( $\pm 1$  kn)

**Tiempo de respuesta:** 2 a 5 m

### *1.5.2.4. Precipitación*

La precipitación consiste en el estado líquido o sólido del agua cuya condensación de vapor cae de las nubes o del aire depositándose en el suelo. Los diferentes tipos de precipitaciones tales como la lluvia, granizo, nieve, entre otros forman parte fundamental del ciclo hidrológico que favorece la vida del planeta. Para conocer los valores de precipitación se utiliza el pluviómetro, este instrumento recolecta información acerca de la cantidad de agua que cae durante un tiempo estimado, expresado en milímetros de altura, la lectura se lo realiza normalmente cada doce horas (Garreaud y Meruane, 2005, p. 8).

### *1.5.2.5. Evaporación*

Es un proceso el cual consiste la transformación del estado líquido a gaseoso, regresando directamente a la atmósfera en forma de vapor. Para obtener la medida de la evaporación se realiza mediante evaporímetros, los cuales son recipientes que se llenan de agua; de esta forma, se observa la diferencia del nivel de agua al cabo de un cierto intervalo de tiempo (Garreaud y Meruane, 2005, p. 9).

### *1.5.2.6. Evapotranspiración*

La evapotranspiración hace referencia a la pérdida de humedad en la superficie causada por la evaporación directa, del mismo modo la influencia de la transpiración de la planta general perdida de agua, en este proceso existen factores que son diversos tales como, variables en el tiempo y en el espacio, los relativos con la planta y los factores asociados con el suelo (Silva et al., 2015, p. 49).

Es decir que con un suelo correctamente regado el consumo de agua lo realiza las plantas, este proceso lo denominan evapotranspiración, así mismo los factores influyentes como: climáticos (radiación, temperatura, viento y humedad relativa); por otro lado, los factores netos del cultivo que se logran agrupar en un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) la cual depende de la especie y del estado de su desarrollo (Silva et al., 2015, p. 54).

Tomando en cuenta esto, existen tres condicionantes para que se produzca la evapotranspiración las cuales son:

- 1) Presencia de agua
- 2) Deberá existir una fuente que produzca energía para que convierta el agua líquida en vapor de agua
- 3) Se tiene que producir un fenómeno físico que logre separar el vapor de la superficie de evaporación.

La evapotranspiración es expresada en milímetros (mm) por unidad de tiempo, este medio expresa la cantidad que se ha perdido en la superficie cultivada en unidades de altura de agua (Silva et al., 2015, p. 54).

### **Método del tanque de evaporación**

Se entiende que la evaporación es un sistema de medición del tiempo que se constituye por varias condiciones climáticas tales como: lluvia, humedad, radiación solar, viento, temperatura y dispersión de la sequía. El sistema distingue las tasas de evaporación en función del factor meteorológico.

El método del tanque de evaporación permite relacionar la evaporación del agua del tanque con la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{To}$ ). existe una íntima relación entre los procesos de evapotranspiración del cultivo y la evaporación del Tanque Clase "A" por lo que este método es de gran utilidad para establecer un programa de riego en una zona determinada (Gaïbor, 2019, p. 23).

Para conocer de mejor manera mediante datos estadísticos se debe aplicar la fórmula para la determinación de la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) con el método del tanque de evaporación tipo A ( $E_{To}$  Tanque) la cual es:

$$E_{to} = E_{pan} * K_p$$



Donde:

$E_{t_0}$  = evapotranspiración de referencia (mm mes<sup>-1</sup>)

$K_p$  = coeficiente de tanque (adim)

$E_{pan}$  = evaporación del tanque (mm mes<sup>-1</sup>) (Gaibor, 2019, p. 23).

**Tabla 5-1:** Coeficientes del tanque evaporímetro ( $K_p$ ) para el tanque Clase A

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en suelo desnudo			
		Baja < 40	Media 40 -70	Alta > 70		Baja < 40	Media 40 -70	Alta > 70
<b>HR media</b>								
<b>Velocidad viento (m/s)</b>	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del cultivo a barlovento (m)			
<b>Baja</b>	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,6	0,7
<b>Moderada 2 – 5</b>	1	0,5	0,6	0,65	1	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,7	0,8	0,8	1000	0,45	0,55	0,6
<b>Alta 5 – 8</b>	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,45	0,55
<b>Muy alta &gt;8</b>	1	0,4	0,45	0,5	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1000	0,55	0,6	0,65	1000	0,35	0,4	0,45

Fuente: Allen et al., 2006, p. 81

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily., 2021

## Métodos empíricos

En el proceso de evapotranspiración existen varias posibilidades para calcularlo, esto dependerá según el tipo de información micro-meteorológica y los recursos netos disponibles. El método Penman, que al ser modificado define la ET como, al proceso evaporación a partir de una superficie amplia de un cultivo verde de poca altura, que da sombra total al suelo, ejerce poca o casi ninguna resistencia al flujo de agua y siempre cuenta con agua (Gaibor, 2019, p. 25).

## **Evapotranspiración potencial o de referencia (E<sub>t0</sub>)**

Se le conoce como la tasa de Evapotranspiración que posee una superficie de referencia que procede sin bloqueo de agua, se le denomina E<sub>t0</sub> a la superficie de referencia correspondiente a un cultivo indeterminado de pasto con características deliberadamente específicas (Delgado, Alberich y López, 2006, pp. 1-4).

Este concepto se introdujo para conocer la demanda general de Evapotranspiración correspondiente de la atmosfera. Las acciones de manejo del cultivo y de su crecimiento no dependen de la especie, por el contrario, dependerá de la Evapotranspiración o la cantidad de agua disponible en la superficie.

Los factores que componen el suelo no tienen ningún efecto sobre la ET. Al asociar ET con una superficie específica, nos permite tener una referencia con la que se puede relacionar la ET de otras superficies. Además, de esta manera, se puede eliminar la necesidad de tratar un cierto nivel de ET para cada especie de cultivo y período de crecimiento diferentes. (Silva et al., 2015, p. 56).

Dentro de los valores existentes de medida o estimados de ET se pueden comparar tomando en cuenta los diferentes tipos de localidades o como referencia las diferentes épocas del año. Esto debido a que se hace una referencia de ET bajo la misma superficie de referencia (Silva et al., 2015, p. 56).

Los únicos factores que realmente pueden afectar de cierto modo a la ET son los parámetros climáticos. Por lo que se puede decir que ET también se constituye o se estudia como un parámetro climático que de esta misma forma puede ser calculado a partir de una cantidad de datos meteorológicos (Silva et al., 2015, p. 58).

La Evapotranspiración expresa de manera directa el poder constante de evaporación que posee la atmósfera en una localidad o región y épocas del año específicas. Esta no toma en cuenta o no considera las características referentes del cultivo ni mucho menos los factores del suelo. Por lo que el único método aceptado para la determinación de la Evapotranspiración es el método FAO Penman-Monteith, ya que aplica parámetros climáticos y es el método que más se acerca a la E<sub>t0</sub> de cualquier localidad evaluada, contiene bases físicas sólidas y así mismo incorpora específicamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se ha desarrollado diferentes tipos de procedimientos para el cálculo estimados de parámetros climáticos faltantes (Silva et al., 2015, p. 60).

## **Coefficiente de cultivo ( $K_c$ )**

El coeficiente de cultivo  $K_c$  es conocido como un valor dependiente de las tipologías morfológicas, anatómicas y fisiológicas que posee una planta, el dato estadístico que representa un  $K_c$  varía según el ciclo de crecimiento de la planta y de la misma forma dependiente del clima determinado. Así mismo su accionar depende de la capacidad que posee la planta para extraer agua del suelo de manera independiente, también se suma su estado en base al desarrollo vegetativo (Gaibor, 2019, p. 38).

Se puede entender que el coeficiente de cultivo  $K_c$  es el resultado de la relación entre la evapotranspiración del cultivo en una etapa específica y la evapotranspiración de referencia. (Gaibor, 2019, p. 38):

$$K_c = \frac{E_{tc}}{E_{to}}$$

El coeficiente permite estimar la evapotranspiración de cultivo para un período determinado, así:

$$ET_{cultivo} = E_{to} * K_c$$

Para determinar el coeficiente de desarrollo de los diferentes cultivos se deben seguir los siguientes pasos:

- El período vegetativo de cultivo debe ser definido.
- Considerar cada una de las etapas en las cuales se desarrolla (Gaibor, 2019, p. 38).

### **1.6. Etapas de desarrollo de los cultivos**

El período de crecimiento de las diferentes especies de cultivos puede dividirse en cuatro etapas:

#### ***1.6.1. Fase inicial***

El alcance de esta etapa es desde el establecimiento del cultivo hasta el 10% de cobertura de suelo de la planta a través de su proceso de adaptación. Debido que la evapotranspiración incluye principalmente la evaporación efectiva del suelo, debido a que los cultivos deben mantener las condiciones óptimas de humedad en la superficie del suelo de una manera específica, esto requerirá riegos frecuentes (León, 2018, p. 33).

Así mismo dependiendo del tipo de cultivo o especie la cobertura correcta se hace efectiva o completa cuando ocurre el inicio de la floración o así mismo cuando ciertas hojas en hileras contiguas empiezan a esconderse con una (Fv de 70 y 80%, o cuando el IAF=3) (León, 2018, p. 33).

De este modo el proceso de inserción de una especie de planta se debe tomar de manera cautelosa y aplicando al suelo a horas de la tarde cuando el sol no emita la cantidad de rayos solares suficientes como para deteriorar el proceso de cultivo de la planta (León, 2018, p. 33).

#### ***1.6.2. Fase de desarrollo de los cultivos***

Esta etapa ocurre cuando el cultivo cubre el 10% del área de cobertura vegetal a fin de alcanzar el nivel adecuado del área foliar, en algunos casos de cultivos la floración es la etapa en la cual ocurre esto. Según los estándares establecidos, el inicio es (Fv = 10%) y el final (Fv entre 70% y 80%, IAF = 3 o inicio de floración) durante el período de crecimiento y la cobertura vegetal de la planta en relación con la siembra. superficie, la evaporación es limitada, el proceso más importante se convierte en la transpiración. Por tanto, el proceso debe contener un control suficiente porque representa la etapa que guía el proceso general de la fábrica (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 84).

#### ***1.6.3. Fase de mediados de temporada***

Esta etapa comienza cuando el cultivo alcanza su máxima cobertura, hasta que el cultivo comienza a madurar. En esta etapa, el coeficiente de cultivo Kc alcanza su valor máximo. Este proceso está relacionado con el hecho de que suele ser el inicio de la senescencia de la planta, lo que significa que algunas hojas se vuelven amarillas o senescentes. Esta es la forma de reconocer el color alrededor del fruto cuando comienza o también comienza a aparecer el proceso de desprendimiento de hojas. Marrón. Referencia Grado de reducción de la evapotranspiración del cultivo relacionado con la ETo (León, 2018, p. 35).

#### ***1.6.4. Fase final***

Esta etapa consiste en la madurez fisiológica de las plantas (hojas, tallos, flores y frutos) hasta la etapa final de cosecha, dependiendo de si los cultivos en ciertos lugares se recolectan frescos en el ambiente o recolectados en un ambiente seco. Esta etapa no representa la muerte de la planta, solo representa el final de un ciclo, dependiendo de la especie regresa al inicio a su manera (León, 2018, p. 37).

## **1.7. Calendario de riego**

Este proceso es de vital importancia para obtener un correcto accionar en cualquier especie de planta, este instrumento es un principio de organización que representa un factor determinante para el cuidado y mantener un control de las actividades sobre el desarrollo y crecimiento final de la planta, este medio se estructurará dependiendo de las necesidades generales de cada especie (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 85).

Por esto el calendario de riego se planifica en base a las siguientes acciones:

### ***1.7.1. Lamina de riego***

La base de la lista de riego es obtener una cierta cantidad de agua, la cual debe ser aplicada al suelo de manera correcta y precisa, de manera de cubrir las necesidades de crecimiento del cultivo; esto depende de la capacidad de almacenamiento de agua y del peso aparente del suelo, y la profundidad de la raíz o zona de absorción, El factor se expresa en milímetros o centímetros (mm o cm) (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 85).

Este proceso se expresa mediante la siguiente formula:

$$\mathbf{Lr=(CC-PMP) /100xPrxDa.}$$

Está formula permite conocer el proceso de Lámina de riego, lo que él (CC) representa la capacidad de campo y el (PMP) representa el punto de marchites permanente, el (Pr) se refiere a la profundidad de raíces y por último la (Da) como densidad aparente (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 86).

### ***1.7.2. Lamina neta de riego (Ln)***

Se le conoce a lamina neta de riego a la cantidad concreta de agua que debido a los buenos procesos se estima que logre quedar en la zona de raíces de las plantas, en la cual se ha estudiado o aplicado, para llevar el suelo a una capacidad de campo después de un proceso de riego (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 87).

Para determinar la lámina de riego neto (Lr), necesita conocer la humedad disponible en el suelo, el umbral de riego y la profundidad de las raíces que se mojarán. Entonces la fórmula de cálculo es la siguiente (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 89):

$$Ln = UR(\%) * AU$$

Dónde:

UR = Umbral de riego (50%).

AU = agua útil o lámina total de agua en las raíces (mm) que sea utilizable para las plantas (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 89).

El UR va a depender de la comprensión del cultivo a la disminución de la cantidad de agua disponible en el suelo, así también de los factores climáticos y económicos.

Entre otros métodos existe otra fórmula para calcular los mismos procesos, cabe recalcar que dependerá del proceso y especie de planta, la fórmula es la siguiente (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 89):

$$Ln = Etc * Fr$$

### **1.7.3. Lámina bruta de riego (Lb).**

Este proceso se aplica debido a que cuando se inicia el proceso de aplicación de riego, en variadas ocasiones suelen ocurrir pérdidas debido a la cantidad de agua que se entrega en riego, mediante el riego gravitacional, que concretamente se deben a la eficiencia del proceso del riego (Ef), que consiste en pérdida de percolación profunda y escurrimiento superficial (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 90).

La lámina de riego se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{Etc * Fr}{Ef}$$

Dónde:

Lb= Lámina bruta de riego (mm)

Etc = evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Fr = frecuencia de riego (días),

Ef = Eficiencia de aplicación de agua (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 92).

#### **1.7.4. Volumen de riego**

El volumen de riego tiene una gran importancia en la planificación del cuidado de una planta, este permite conocer el radio necesario para la aplicación correcta de agua en el suelo, obteniendo resultados óptimos para cubrir las necesidades de la planta (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 94).

La cantidad o volumen de riego que debe ser aplicado se determina:

$$V = Lb * \text{Área}$$

Donde:

V= Volumen o cantidad de riego a ser aplicado (litros)

Lb= Lámina bruta de riego (mm)

Área = Área de cultivo (m<sup>2</sup>) (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 96).

#### **1.7.5. Tiempo de riego**

El tiempo de riego representa una de las acciones con mayor importancia dentro del proceso de desarrollo de una planta, ya que dependerá directamente de la especie de la planta, su necesidad de hidratación y tiempo de vida, esto también es influyente depende de las estaciones que transcurran en el lugar donde se localice la planta (León, 2018, p. 12).

Por ende, en verano se estima a regar un poco más que en otras estaciones del año debido a la gran cantidad de calor generada por la luz solar. Un promedio se estipula en regar cada 2 o 3 veces por semana y una vez cada 10 días en invierno (León, 2018, p. 12).

El tiempo de riego se determina con la siguiente formula:

$$Tr = \frac{Vr}{Q}$$

Donde:

T= Tiempo de riego (horas)

Vr= Volumen de riego (Litros)

Q = caudal (L/hora/gotero) (León, 2018, p. 12).

### **1.7.6. Frecuencia de riegos**

La frecuencia de riego dependerá directamente del tipo o especie de planta ya que muchas de ellas tienen características que utilizan como defensas y tienden a conservar nutrientes y en ciertos casos suelen conservar agua en sus raíces, conforme a esto se debe calcular la frecuencia exacta de riego de una planta (León, 2018, p. 11).

La estimación del número de días transcurridos entre dos o más riegos permitirá determinar la frecuencia del mismo.

Se puede estimar de la siguiente forma:

$$Fr = \frac{Ln}{Etc}$$

Donde:

FR = frecuencia de riego (días)

Ln = lámina neta (mm)

ETc = evapotranspiración real o de cultivo (mm/día) (León, 2018, p. 11).

### **1.7.7. Agua útil o disponible**

En la definición, donde el AU corresponde al agua utilizable constituye la diferencia entre el contenido de agua de CC y PMP, que a veces se considera agua utilizable o potencialmente extraída por especies de plantas en el área de crecimiento radical (León, 2018, p. 10).

A demás, que el agua útil se ha de comprender entre la capacidad de campo y el punto de marchitez estando estos ubicados en diferente profundidad del suelo humedecido.

$$AU = (CC - PMP) * Da * Z$$

Dónde:

AU= Agua útil o lámina total de agua, disponible para las plantas, en la zona radicular (mm)

Z= Profundidad de la zona radicular (mm)

CC= Contenido de humedad a capacidad de campo (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

PMP= Contenido de humedad a punto de marchitez permanente (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

Da= Densidad aparente del suelo (gr/m<sup>3</sup>) (León, 2018, p. 10).



## **1.8. Riego por goteo**

El riego por goteo también conocido como riego gota a gota, es el más eficiente de los métodos de suministro de agua a los cultivos, ya que aporta eficientemente el agua directo a la zona radicular, este es un método utilizado en las zonas más áridas ya que permite la optimización de agua y abono en la cantidad y momento adecuado, por lo que la planta recibe exactamente lo necesario, cuando lo necesita (Amaguaña y Llamba, 2013, p. 98).

El agua que se aplica mediante este método se dirige directamente hacia las raíces de las plantas, entrando directamente hacia la zona de influencia de la raíz a través de un sistema de tuberías (León, 2018, p. 13).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Caracterización del lugar

##### 2.1.1. Localización

La presente investigación se llevó a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, en la Estación Experimental Tunshi (E.E. Tunshi).

##### 2.1.2. Ubicación Geográfica

La ubicación geográfica se encuentra dada según:

**Altitud:** 2720 m.s.n.m.  
**Latitud:** 1°44'54.32" S  
**Longitud:** 78°37'32,52" O

##### 2.1.3. Características Climáticas

**Temperatura media:** 14,9 °C  
**Precipitación media anual:** 635,4 mm / año  
**Humedad relativa:** 85,0 %

#### 2.2. Materiales y equipos

##### 2.2.1. Material Biológico

Se trabajó con 500 semillas de aliso (*Alnus acuminata*) recolectadas de los árboles encontrados dentro de las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se las recolectó directamente del árbol, cuando presentaban una coloración verde amarillenta ya que son las que tienen mayor porcentaje de germinación. No se les realizó ningún tratamiento pre germinativo.

### 2.2.2. *Materiales de campo y equipos de laboratorio*

Sustrato, sistema de riego por goteo (manguera de goteo no auto compensada Q= 1,6 l/h distancia entre goteros= 0,15 m), fundas de polietileno de 5 x 7, sarán, flexómetro, almácigo, fundas ziplock, cajas petri, calibrador pie de rey digital, rótulos de identificación, herramientas de labranza, tanque evaporímetro tipo A, pluviómetro, barreno, estufa, balanza, rizotrones, bloques de yeso, porómetro, cámara de Scholander, estación meteorológica portátil.

### 2.2.3. *Materiales de oficina e informático*

Computadora Asus F541U, GPS, Software Estadístico Infostat, Software Arc Map 10.3, software para registro de la estación meteorológica portátil Weather capture advance, cuaderno de campo, calculadora, memoria USB.

## 2.3. Metodología

### 2.3.1. *Especificaciones del campo experimental*

**Tabla 1-2:** Especificaciones del campo experimental

<b>Características del ensayo</b>	
<b>Número de tratamientos</b>	3
<b>Número de repeticiones</b>	3
<b>Número de unidades experimentales</b>	9
<b>Forma del ensayo</b>	rectangular
<b>Ancho</b>	3 m <sup>2</sup>
<b>Largo</b>	12 m <sup>2</sup>
<b>Distancia entre plantas</b>	0,15 m <sup>2</sup>
<b>Distancia entre hileras</b>	0,15 m <sup>2</sup>
<b>Área total del ensayo</b>	36 m <sup>2</sup>
<b>Área neta</b>	9 m <sup>2</sup>
<b>Características de la parcela experimental</b>	
<b>Forma</b>	Cuadrada
<b>Largo</b>	1 m
<b>Ancho</b>	1 m
<b>Profundidad</b>	0,2 m
<b>Área</b>	1 m <sup>2</sup>

<b>N° de camas por tratamiento</b>	3
<b>Distancia entre hileras</b>	0,15 m
<b>Distancia entre plantas</b>	0,15 m
<b>Número de hileras</b>	6
<b>Número de plantas/ hilera</b>	6
<b>Número de plantas/parcela</b>	36
<b>Numero de hileras/parcela neta</b>	4
<b>Número de plantas a evaluar por parcela neta</b>	5

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 2.3.2. Tratamientos

**Tabla 2-2:** Tratamientos en estudio

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	LR1	Lámina de riego al 100% CC del sustrato.
2	LR2	Lámina de riego al 75% CC del sustrato.
3	LR3	Lámina de riego al 50% CC del sustrato.

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

El número de repeticiones por tratamiento fue de 3, dando un total de 9 unidades experimentales.

#### 2.3.2.1. Factores de estudio

En el cultivo de Aliso (*Alnus acuminata*) se ha aplicado láminas de riego mismas que permiten el factor de estudio.

**Tabla 3-2:** Factores de estudio

LR: Lamina de riego	100% a capacidad de campo del sustrato
LR: Lamina de riego	75% a capacidad de campo del sustrato
LR: Lamina de riego	50% a capacidad de campo del sustrato

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 2.3.3. Diseño Experimental

#### 2.3.3.1. Tipo de diseño experimental

La aplicación de 3 tratamientos en 3 repeticiones considerando el diseño de bloques completos al azar (DBCA).

#### 2.3.3.2. Esquema de análisis de varianza

**Tabla 4-2:** Análisis de varianza (ADEVA).

Fuente de Variación	Fórmula	GL
Bloques	B-1	2
Tratamiento	T-1	2
Error	(B-1) (T-1)	4
Total	(B*T)-1	8

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 2.3.4. Variables a evaluar

#### 2.3.4.1. Porcentaje de prendimiento

La evaluación se basó en la cantidad de plantas prendidas a los 15 días después del repique, expresando los resultados en cantidades porcentuales.

#### 2.3.4.2. Altura de planta

La medición de altura de planta en cm se realizó con el uso de cinta métrica considerando el inicio en la base del tallo hasta el ápice de la misma en diferentes días como 15, 140, 155, 177, 196, 211 y 227 días después de realizado el repique.

#### 2.3.4.3. Crecimiento radicular

El crecimiento radicular se midió mediante la utilización de rizotrones a los 15, 140, 155, 177, 196, 211 y 227 días después de realizado el repique.

#### 2.3.4.4. Conductividad estomática

La medida de la conductancia estomática se llevó a cabo mediante la utilización del porómetro a los 15, 140, 155, 177, 196, 211 y 227 días luego del repique.

#### 2.3.4.5. Potencial hídrico

Con la utilización de la cámara de Scholander se logró determinar la potencia hídrica de la planta a los 15, 140, 155, 177, 196, 211 y 227 días después del repique.

#### 2.3.4.6. Diámetro del tallo

Se determinó el diámetro del tallo con la ayuda de un calibrador digital a los 15, 140, 155, 177, 196, 211 y 227 días después del repique.

#### 2.3.4.7. Contenido relativo de agua en las hojas (*Wrc*)

La respuesta de las plantas al estrés hídrico se puede cuantificar midiendo el contenido relativo de agua de las muestras de plantas. El WRC foliar mide el contenido relativo de agua en relación con la turgencia total. Para evaluar el contenido relativo de agua, se seleccionaron al azar hojas representativas de las plantas de cada tratamiento y se determinó el peso fresco, y luego se remojaron en agua destilada durante un tiempo prolongado (alrededor de 12 horas). Después de que se obtuvo el peso de fresco, las muestras se colocaron a 65 ° C. En el horno por 48 horas hasta peso constante, determinar el peso seco, utilizar el siguiente tubería (León, 2012, pp. 13-57):

$$WRC(\%) = \frac{Pf - Ps}{PT - Ps} * 100$$

Donde:

Pf = Peso fresco de las hojas

PT = Peso turgente de la hoja

Ps = Peso seco de las hojas

#### 2.3.4.8. Materia seca de la planta

De los tratamientos se seleccionaron cinco plantas por cada uno a fin de determinar la materia seca. Aplicando la ecuación de tuberías (León, 2012, pp. 13-57):

$$\% \text{ de materia seca} = \frac{\text{Peso materia seca}}{\text{Peso materia humeda}} * 100$$

### **2.3.5. Fase de campo**

#### **2.3.5.1. Labores pre culturales**

##### **Obtención de las semillas**

Las semillas fueron recolectadas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cuando el fruto presentaba una coloración verde amarillenta y se mantenía aun en el árbol.

##### **Preparación del almacigo**

Como almacigo se usaron dos contenedores de poliestireno expandido (EPS) los cuales fueron debidamente desinfectados con cloro, para evitar la aparición de hongos patógenos por exceso de humedad los germinadores estuvieron ubicados elevados del suelo. Para el substrato de germinación se usó Floragard Floradur B Seed, substrato de plantación con un pH de 5,6, contenido de sal de 0,8 g/l, de estructura superfina.

##### **Siembra**

Las semillas de aliso se sembraron al voleo.

##### **Preparación del área de aclimatación**

Se construyó el lugar de aclimatación el deshierbe del área en estudio con la ayuda de las herramientas de labranza se procederá a delimitar el área de 1m<sup>2</sup> para colocar los tratamientos.

##### **Distribución de la parcela**

Se realizó la delimitación de las nueve parcelas las cuales constituyeron el ensayo, distribuidas en tres tratamientos cada uno con tres repeticiones.

## **Formación de camas**

Se realizó de forma manual con la ayuda de azadón, azada, piola y flexómetro, estacas cuyas dimensiones fueron: ancho de 1 m, largo de 1m y profundidad de 0,20 m.

## **Instalación del sistema de riego a goteo.**

La utilización de cinta de goteo no auto compensado con goteros cada 15 cm con un caudal de 1,65 lt/h de acuerdo a la longitud de la parcela para así tener un caudal homogéneo.

## **Determinación del contenido de humedad inicial**

Previo a la aplicación de las láminas de riego en cada tratamiento se procedió a determinar el contenido de humedad del suelo y luego aplicar láminas de riego para llegar a capacidad de campo en todo el ensayo, para tener un contenido de humedad uniforme; la disponibilidad de agua en el suelo fue determinada mediante el siguiente método:

## **Determinación de los parámetros hídricos del suelo**

### ***Capacidad de campo***

Agregar agua al sustrato para asegurar la saturación; después de 48 horas, tomar una muestra representativa del sustrato y medir su porcentaje de humedad por método gravimétrico. Este valor es equivalente al valor de capacidad de campo (Gaibor, 2019, p. 34).

### ***Punto de marchitez permanente***

Se determinó con la ecuación (León, 2012, pp. 13-57):

$$H\%PMP = (CC * 0,74) - 5$$

Dónde:

H%PMP = Porcentaje de Humedad en punto de marchitez permanente.

H%CC = Porcentaje de Humedad en Capacidad de Campo.

0,74 y 5 = Constantes establecidas por el modelo matemático dado por Silva. FAO (León, 2012, p. 13-57).



### ***Humedad disponible o aprovechable***

La determinación se la realizó mediante la diferencia entre los valores de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente (León, 2012, pp. 13-57).

### ***Densidad aparente***

Su determinación en campo consistió en extraer una muestra de suelo y determinar el volumen imperturbado que ocupa dicha muestra mediante la fórmula (León, 2012, pp. 13-57):

$$Da = \frac{\text{Peso del suelo seco (g)}}{\text{Volumen imperturbado de ese suelo}}$$

### ***2.3.5.2. Labores culturales***

#### **Trasplante**

Cuando las plántulas presentaron dos pares de hojas verdaderas se procedió a colocarlas en bolsas de polietileno de 7x7.

#### **Riego**

El riego en las fundas se realizó todos los días sin excesos, el sistema de riego en las plantas repicadas se aplicó en función a las necesidades de cada tratamiento.

#### **Control malezas**

Se lo realizó una vez que las plántulas estuvieron repicadas, se lo efectuó de forma manual para evitar la competencia.

#### **Control fitosanitario**

Se aplicó circón insecticida sistémico y de contacto para eliminar la presencia de mosca blanca.

#### **Determinación del coeficiente de cultivo (Kc)**

El coeficiente de cultivo Kc se calculó usando la siguiente ecuación:

El  $K_C$  se lo determinó mediante la fórmula de Hargreaves que es  $0,01335 + 0,04099 \times (\text{etapa de cultivo}) - 0,0004 \times (\text{etapa del cultivo})^2$  para lo cual fue determinante la duración del ciclo de cultivo del aliso desde las fases de repique hasta llegar al trasplante (Jiménez, 2016, p. 40).

### **Establecimiento de la evapotranspiración de cultivo (Etc)**

La evapotranspiración de cultivo se basó en la siguiente ecuación tiempo (Allen et al., 2006, p. 90):

$$Etc = Eto * Kc$$

Donde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo= Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kc = Coeficiente de cultivo (a dimensional)

### **Evaluación del comportamiento biométrico**

Todas las variables biométricas fueron evaluadas cada 15 días desde del repique hasta el final del estudio.

#### **2.3.6. Análisis funcional**

- a. Se determinó el coeficiente de variación, expresado en porcentaje.
- b. Se comprobó la significancia del análisis de varianza para los valores medios.

**Tabla 5-2:** Significancia de los valores para el análisis de varianza (ANOVA)

Nota:
p-valor: $>0,01$ y $>0,05 = ns$ (no significativo)
p-valor: $>0,01$ y $<0,05 = *$ (significativo)
p-valor: $<0,01$ y $<0,05 = **$ (altamente significativo)

**Fuente:** Soporte de Minitab, 2019

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

- c. En caso de haber significancia, para separar medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%.

## CAPÍTULO III

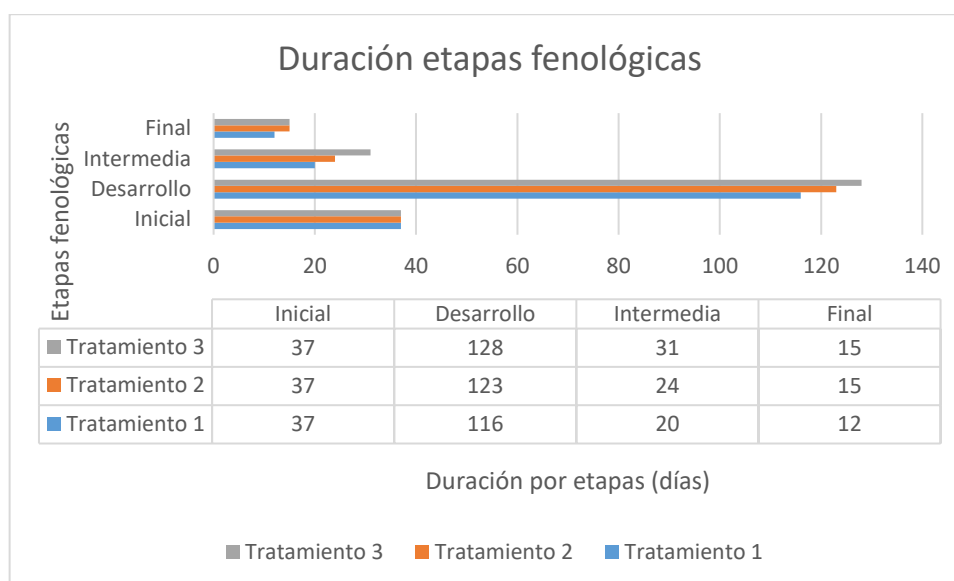
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Determinación del coeficiente de cultivo (kc) de *Alnus acuminata* (aliso) en etapa de vivero

##### 3.1.1. Identificación de las etapas fenológicas del ciclo del cultivo en etapa de vivero

Las etapas fenológicas del cultivo de Aliso (*Alnus acuminata*) fueron identificadas mediante una visualización directa al cultivo, en base al desarrollo y crecimiento del mismo.

Se han establecido cuatro etapas fenológicas: recolección (etapa inicial), formación de nuevas hojas (etapa de desarrollo), crecimiento y desarrollo vegetativo (etapa intermedia) y lignificación (etapa final). En cada etapa, las variables estudiadas desde el momento del anillo hasta la lignificación han cambiado.



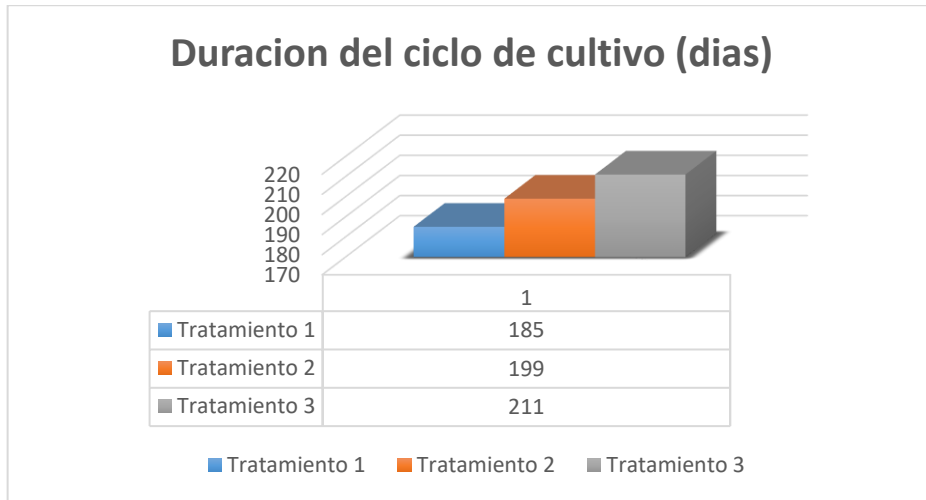
**Gráfico 1-3.** Duración de las etapas fenológicas del cultivo de aliso en los diferentes

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

En el Gráfico 1-3, se presenta la duración de las etapas fenológicas del cultivo de aliso con los tres diferentes tratamientos. La duración de la etapa inicial del cultivo fue de 37 días para los tres tratamientos; la etapa de desarrollo duró 116, 123 y 128 días para T1, T2 y T3; la etapa intermedia

tuvo una duración de 20, 24 y 31 días después del repique para la etapa final el T1 tuvo una duración de 12 días mientras que en T2 y T3 duraron 15 días después del repique.

### 3.1.2. Duración total del ciclo de cultivo de aliso en etapa de vivero



**Gráfico 2-3.** Duración total del ciclo del cultivo de aliso en los diferentes tratamientos

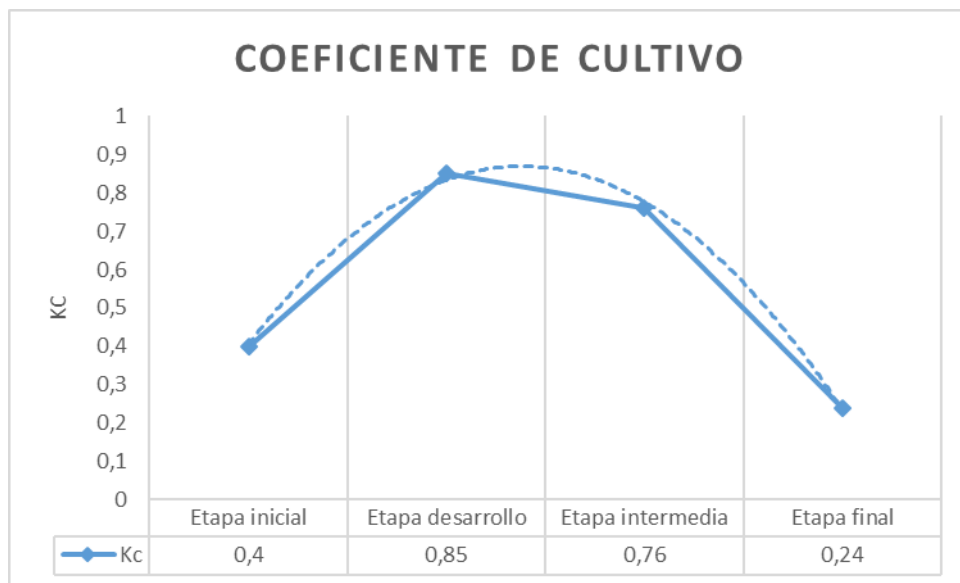
Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

En el Gráfico 2-3, se puede observar el ciclo total del cultivo del aliso (*Alnus acuminata*) teniendo una duración para el tratamiento 1 de 185 ddr, 199 ddr y 211 ddr, para tratamiento 2 y tratamiento 3, respectivamente.

Al respecto OFICATIE (2002; citado en Artunduaga, 2018, p. 37) obtiene un comportamiento similar con la presente investigación, en la cual menciona que los árboles de aliso se pueden sembrar en el sitio definitivo a los 6-7 meses después de repicados en la bolsa.

Allen et al. (2006, p. 183), mencionó que, en un mismo cultivo, por diferencias de tamaño y aerodinámica (como sus partes anatómicas), existen diferencias en el consumo de agua, por lo que los cambios de crecimiento, desarrollo y cambios finales también son diferentes. en etapa de fenología del cultivo.

**3.1.3. Coeficiente del cultivo (kc) para aliso (*Alnus acuminata*) mediante la metodología de Hargreaves, con 100% de la capacidad de campo del sustrato.**

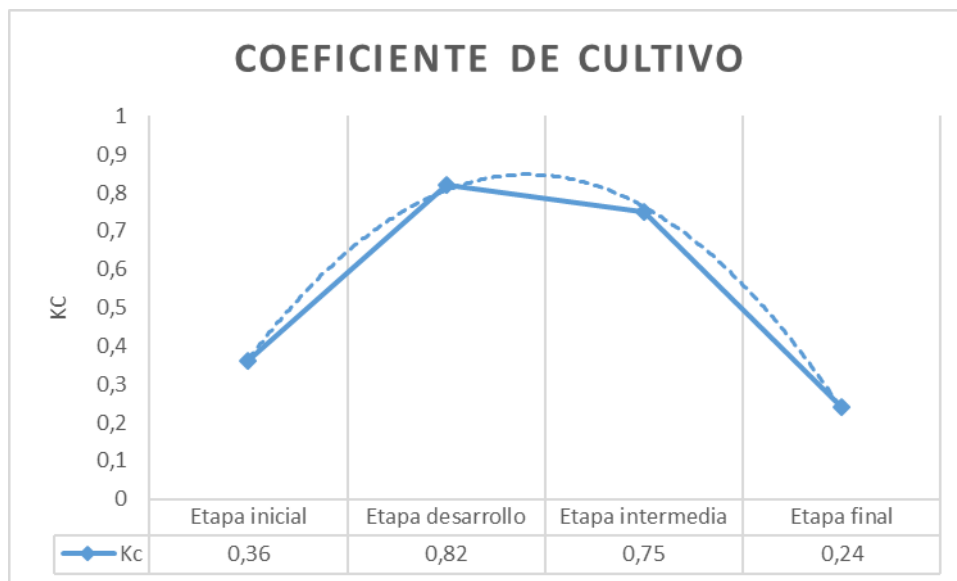


**Gráfico 3-3.** Coeficiente del cultivo (kc) por etapa, para el Tratamiento 1

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

En el Gráfico 3-3, podemos apreciar el coeficiente del cultivo (kc) para el cultivo de aliso (*Alnus acuminata*) determinada por el método de Hargreaves con 100% de la capacidad de campo del sustrato, además se puede ver el coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo, en la que los valores obtenidos fueron: 0,40; 0,85; 0,76 y 0,24 con una duración de 37, 116, 20 y 12 días, para la etapa inicial, desarrollo, media y final respectivamente, ésta teniendo una duración de 186 ddr.

**3.1.4. Coeficiente del cultivo (kc) para aliso (*Alnus acuminata*) mediante la metodología de Hargreaves, con 75% de la capacidad de campo del sustrato.**

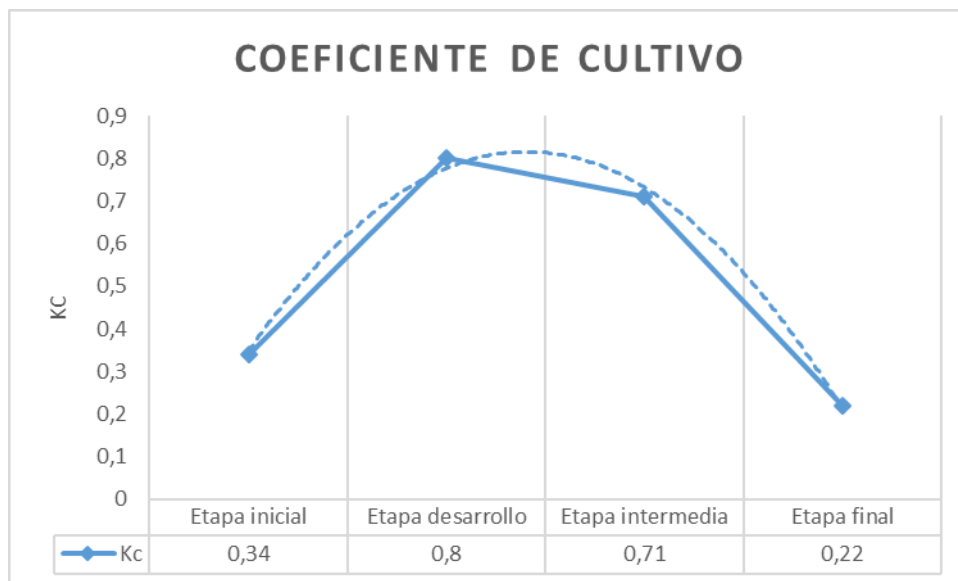


**Gráfico 4-3.** Coeficiente del cultivo (kc) por etapa, para el Tratamiento 2

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

Se puede observar en el Gráfico 4-3 que el coeficiente de cultivo (kc) del cultivo de aliso (*Alnus acuminata*) medido por el método de Hargreaves representa el 75% de la capacidad del campo, y el coeficiente de cultivo (kc) también se puede ver a través de la etapa fenológica del ciclo del cultivo, por lo que el valor kc obtenido en la etapa inicial es 0,36, la duración es 37 días, la etapa de desarrollo es 0,82, la duración es 123 días, la etapa intermedia es 0,75, la duración es 24 días, y la duración es 0,24. La etapa final dura 15 días respectivamente, finalizando el ciclo de cultivo, La duración total es 199 ddr.

**3.1.5. Coeficiente del cultivo (kc) ajustado para aliso (*Alnus acuminata*) mediante la metodología de Hargreaves, con 50% de la capacidad de campo del sustrato.**



**Gráfico 5-3.** Coeficiente del cultivo (kc) por etapa, para el Tratamiento 3

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

En el Gráfico 5-3, podemos observar el coeficiente del cultivo ajustado para el cultivo de aliso (*Alnus acuminata*) obtenido por el método de Hargreaves con 50% de la capacidad de campo, asimismo se puede apreciar el coeficiente del cultivo (kc) por etapa fenológica del ciclo del cultivo. Siendo los valores obtenidos de: 0,34; 0,8; 0,71 y 0,22 y una duración de 37, 128, 31 y 15 días para la etapa inicial, desarrollo, media y final respectivamente, el ciclo del cultivo el cual tuvo una duración de 211 ddr.

El coeficiente de cultivo Kc depende directamente del tipo de cultivo, su área foliar y la cobertura que hace sobre el suelo (sombreado). En cuanto al tipo de cultivo, diferentes especies presentan diferencias en albedo, altura del cultivo, propiedades aerodinámicas, así como características de los estomas y estructuras morfológicas de sus hojas que producen diferentes valores de Kc (Andriani, 2016, p. 100).

De acuerdo con los resultados obtenidos en las variables e índices de crecimiento y desarrollo, se determinó que el coeficiente de cultivo (Kc) es 0,6 para *Gmelina arborea* en la etapa de vivero. Este Kc se considera un valor medio, lo cual indica que los requerimientos hídricos para la especie forestal valores que se asemejan a los obtenidos en este estudio que fue  $kc= 0,6$  (Vergara et al. 2017, p. 1).

### 3.1.6. Lamina total de agua aplicada en el ciclo del cultivo de *Alnus acuminata* (aliso) en etapa de vivero

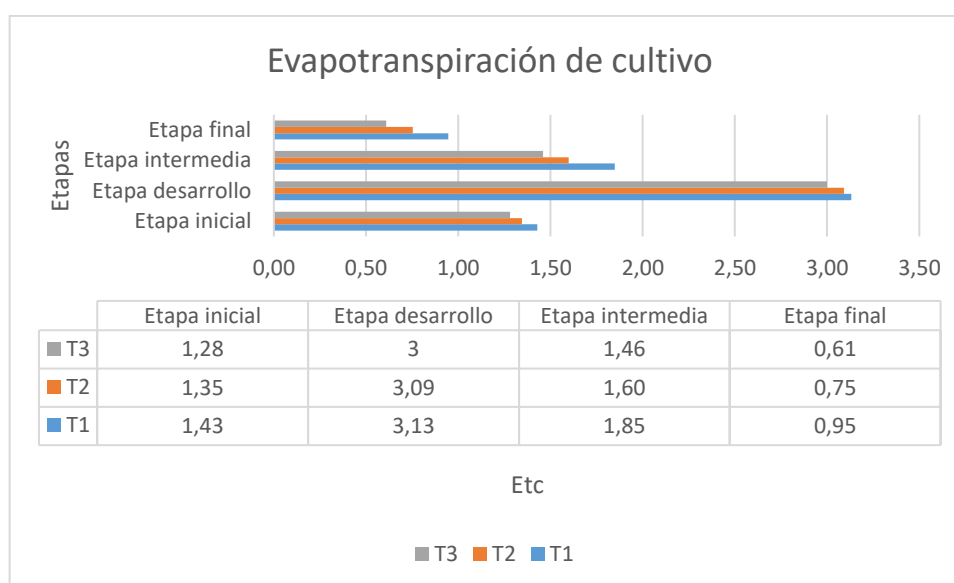
**Tabla 1-3:** Lamina total de agua aplicada durante el ciclo del cultivo de *Alnus acuminata* (aliso) en etapa de vivero

Lamina de riego aplicada	
Tratamientos	Lamina total aplicada (mm)
T1 (100% CC)	370,41
T2 (75% CC)	316,65
T3 (50% CC)	293,32

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

Los resultados que se pueden observar en la tabla indican las diferentes tabletas de agua utilizadas a lo largo del ciclo de cultivo del Aliso (*Alnus acuminata*). El tratamiento 1 es de 370,41 mm en total, el tratamiento 2 es de 316,65 mm y el tratamiento 3 es de 293,32 mm. En el análisis de los resultados se infiere que la lámina de agua más grande utilizada en esta investigación es de 370,41 mm el tratamiento 1, y la lámina más pequeña en el tratamiento 3 se utiliza para la manipulación de hojas de 293,32 mm.

### 3.2. Establecimiento de la evapotranspiración de *Alnus acuminata* (Aliso) en etapa de vivero



**Gráfico 6-3.** Evapotranspiración de cultivo (Etc) por etapa fenológica, para cultivo de (*Alnus acuminata*) aliso.

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021



En el Gráfico 6-3, podemos observar la evapotranspiración para el cultivo de (*Alnus acuminata*) aliso en etapa de vivero por etapa fenológica del ciclo del cultivo expresada en mm/día. Siendo los valores obtenidos para T1: 1,43; 3,13; 1,85 y 0,95 para la etapa inicial, desarrollo, media y final respectivamente; mientras que los resultados obtenidos para T2 fueron para la etapa inicial: 1,35; etapa de desarrollo 3,09; media 1,60 y para la etapa final 0,75. Finalmente con el T3: 1,28; 3,00; 1,46 y 0,61 fueron los valores obtenidos para cada etapa siendo estas inicial, desarrollo, media y final.

De los valores obtenidos podemos señalar que el efecto de las láminas de riego sobre las plántulas de *Alnus acuminata* fue la disminución en la evapotranspiración en cada una de sus etapas fenológicas.

Las plántulas de mayor tamaño presentan, mayor área foliar, mayor cantidad de estomas, permitiéndoles mayor transpiración, conductancia estomática y consumo de agua; mientras que las plántulas de menor tamaño, por su menor área foliar como número de estomas, tendrán menor consumo hídrico, permitiéndoles, menor transpiración.

Fao (2006; citado en Gaibor, 2019, p. 19) dice que, La evapotranspiración en la etapa inicial del crecimiento de las plantas es baja; aumenta con el crecimiento de la altura de la planta y el área foliar, y luego disminuye gradualmente hasta la etapa final, como se observa en este estudio.

En ausencia de cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la superficie del suelo, la evaporación disminuye rápidamente y puede cesar casi totalmente en un corto lapso de tiempo (Allen et al., 2006, p. 171).

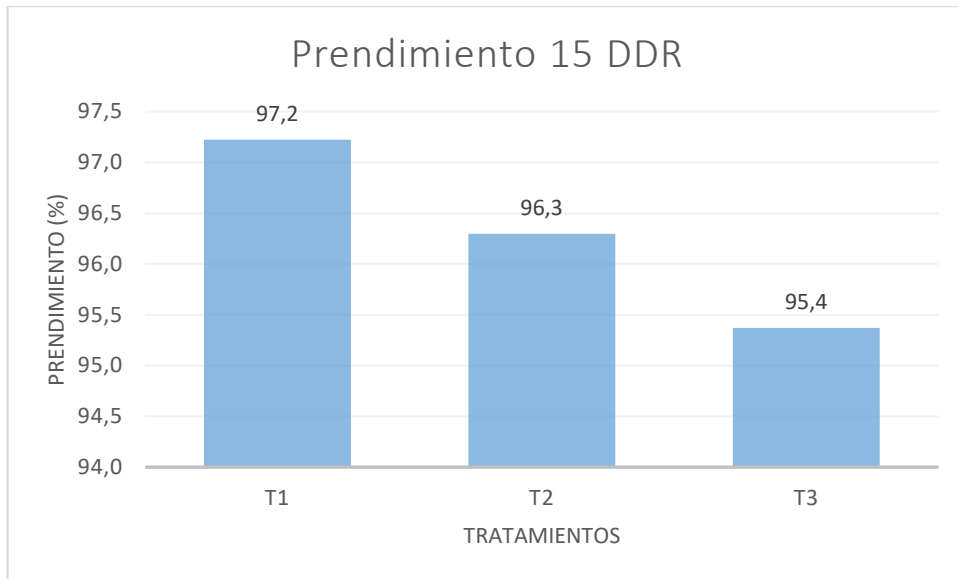
### 3.3. Porcentajes de prendimiento de las plantas

#### 3.3.1. Porcentaje de prendimiento a los 15 DDR

**Tabla 2-3:** Tabla de porcentajes de prendimiento a los 15 DDR

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			MEDIAS
	I	II	III	
T1	100,0	94,4	97,2	97,2
T2	91,7	97,2	100,0	96,3
T3	94,4	97,2	94,4	95,4

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021



**Gráfico 7-3.** Promedio de los porcentajes de prendimiento a los 15 DDR

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

En el análisis de varianza para prendimiento 15 DDR, no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 3,72%.

**Tabla 3-3:** ANOVA del prendimiento a los 15 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,33	0,8264	ns
Repetición	2	0,33	0,8264	ns
Error	4	1,67		
Total	8			
C.V		3,72 %		

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

Armas (1991, p. 73) menciona que *Alnus acuminata* es una especie la cual no es muy exigente en calidad de suelos, prefiere suelos húmedos e inundados, aunque también tierras con menor humedad.

### 3.4. Análisis de la altura de las plantas

#### 3.4.1. Altura de la planta, 15 DDR

En el análisis de varianza para Altura de la planta 15 DDR, no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos ni repeticiones que signifiquen un análisis adicional. El coeficiente de variación fue de 3,32%.

**Tabla 4-3:** ANOVA de la altura de las plantas a los 15 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,09	0,3387	ns
Repetición	2	0,30	0,0834	ns
Error	4	0,06		
Total	8			
C.V	3,32 %			

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

#### 3.4.2. Altura de la planta, 140 DDR

Las diferencias estadísticas no fueron significativas para el análisis de varianza para Altura de la planta 140 DDR, entre tratamientos ni repeticiones. El coeficiente de variación fue de 9,86%.

**Tabla 5-3:** ANOVA de la altura de las plantas a los 140 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	1,93	0,2645	ns
Repetición	2	0,66	0,5710	ns
Error	4	1,02		
Total	8			
C.V	9,86 %			

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

#### 3.4.3. Altura de la planta, 155 DDR

En el análisis de varianza para Altura de la planta 155 DDR, las diferencias estadísticas no fueron significativas para los tratamientos ni para las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 12,65 %.

**Tabla 6-3:** ANOVA de la altura de las plantas a los 155 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	1,78	0,5717	ns
Repetición	2	2,63	0,4585	ns
Error	4	2,76		
Total	8			
C.V	12,65 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

#### 3.4.4. Altura de la planta, 177 DDR

En el análisis de varianza para Altura de la planta 177 DDR, las diferencias estadísticas presentadas fueron significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 14,87 %.

**Tabla 7-3:** ANOVA de la altura de las plantas a los 177 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	68,03	0,0365	*
Repetición	2	13,03	0,3048	ns
Error	4	8,03		
Total	8			
C.V	14,87%			

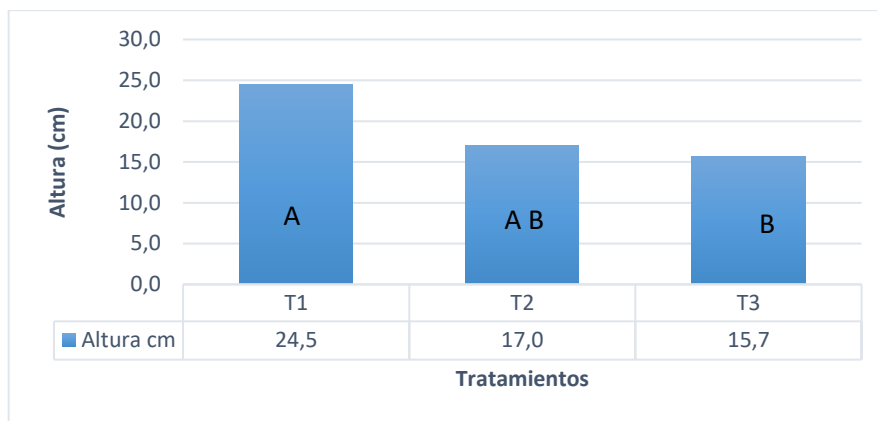
**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

Mediante la prueba de Tukey al 5% para altura de planta 177 DDR se presentan dos rangos; donde el rango “A” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 24,50 y en el rango “B” se ubicó el tratamiento 3 con una media de 15,67.

**Tabla 8-3:** Prueba TUKEY al 5% de la altura de las plantas a los 177 DDR

Tratamientos	Media (%)
T1	24,50 A
T2	17,00 A B
T3	15,67 B

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021



**Gráfico 8-3.** Promedio de las alturas, 177 DDR

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.4.5. Altura de la planta, 196 DDR

Para determinar la varianza en la Altura de la planta 196 DDR, no demostró diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones de significancia. El coeficiente de variación fue de 16,27 %.

**Tabla 9-3:** ANOVA de la altura de las plantas a los 196 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	72,78	0,0901	ns
Repetición	2	16,62	0,4257	ns
Error	4	15,60		
Total	8			
C.V	16,27 %			

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.4.6. Altura de la planta, 211 DDR

La Altura de la planta 211 DDR permitió analizar, sin presentar diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 19,05 %.

**Tabla 10-3:** ANOVA de la altura de las plantas a los 211 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	173,22	0,0906	Ns
Repetición	2	32,10	0,4887	ns
Error	4	37,29		
Total	8			
C.V	19,05 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.4.7. Altura de la planta, 227 DDR

Como se observa en el análisis de varianza según la altura de la planta a los 227 DDR, evidencia diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 18,27 %.

**Tabla 11-3:** ANOVA de la altura de las plantas a los 227 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	307,48	0,0547	*
Repetición	2	51,75	0,4156	ns
Error	4	46,94		
Total	8			
C.V	18,27 %			

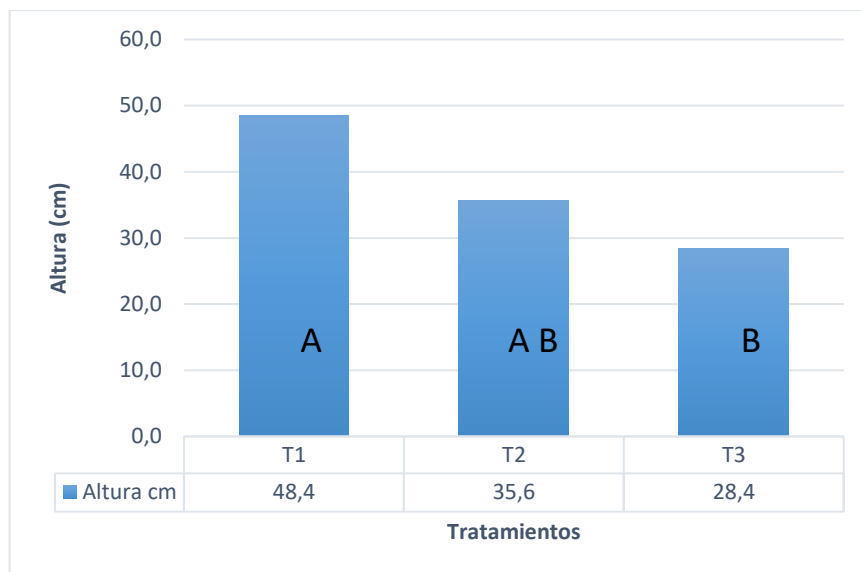
**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

En la prueba de Tukey al 5% para altura de planta 177 DDR presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 48,43 y en el rango “B” se ubicó el tratamiento 3 con una media de 28,45 %.

**Tabla 12-3:** Prueba TUKEY al 5% de la altura de las plantas a los 227 DDR

Tratamientos	Media (%)
T1	48,43 A
T2	35,63 A B
T3	28,45 B

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021



**Gráfico 9-3.** Promedio de las alturas, 227 DDR

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

La intensidad y duración del estrés hídrico influye en los efectos y la capacidad de las plantas para resistirlo, entre los principales efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento está la reducción en la altura, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (Luna, 2012, p. 344).

Se ha reportado que al aumentar el estrés en las plantas se presenta una disminución en su crecimiento en altura y producción de hojas, ésta es una respuesta característica al estrés hídrico. Este efecto se ha documentado con el crecimiento en altura de *Pinus leiophylla* además en plantas cultivadas como el algodón, donde la cantidad de hojas y crecimiento en altura se ve afectado considerablemente por la carencia de agua (Gómez et al., 2015, p. 732). Este hecho se puede encontrar evidenciado en este estudio en el caso de las alturas a los 227 DDR, donde tenemos que el Tratamiento 1 (mayor cantidad de agua) presenta valores promedio por encima de los otros dos tratamientos.

### **3.5. Análisis del diámetro a la altura del cuello**

#### **3.5.1. Diámetro a la altura del cuello, 15 DDR**

En el análisis de varianza para Diámetro a la altura del cuello 15 DDR, las diferencias no han sido significativas para los tratamientos ni las repeticiones. El coeficiente de variación de 6,67 %.

**Tabla 13-3:** ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 15 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,02	0,3222	ns
Repetición	2	0,01	0,4580	ns
Error	4	0,01		
Total	8			
C.V	6,67 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.5.2. Diámetro a la altura del cuello, 140 DDR

Para el Diámetro a la altura del cuello 140 DDR se analiza la varianza, las diferencias no han sido significativas para los tratamientos ni las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 3,26 %.

**Tabla 14-3:** ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 140 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,04	0,0610	ns
Repetición	2	1,7E-03	0,7668	ns
Error	4	0,01		
Total	8			
C.V	3,26 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.5.3. Diámetro a la altura del cuello, 155 DDR

Una vez analizado el Diámetro a la altura del cuello 155 DDR, las diferencias no han sido significativas para los tratamientos ni las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 6,27 %.

**Tabla 15-3:** ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 155 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,09	0,1700	ns
Repetición	2	0,03	0,4623	ns
Error	4	0,03		
Total	8			
C.V	6,27 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021



### 3.5.4. Diámetro a la altura del cuello, 177 DDR

Luego del análisis de varianza para Diámetro a la altura del cuello 177 DDR, las diferencias no han sido significativas para los tratamientos ni las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 6,30%.

**Tabla 16-3:** ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 177 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,23	0,0727	ns
Repetición	2	0,07	0,3008	ns
Error	4	0,04		
Total	8			
C.V	6,30 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.5.5. Diámetro a la altura del cuello, 196 DDR

La varianza para Diámetro a la altura del cuello 196 DDR, las diferencias no han sido significativas para los tratamientos ni las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 5,34 %.

**Tabla 17-3:** ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 196 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,23	0,0649	ns
Repetición	2	0,01	0,7631	ns
Error	4	0,04		
Total	8			
C.V	5,34 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.5.6. Diámetro a la altura del cuello, 211 DDR

El Diámetro a la altura del cuello 211 DDR se analiza de la siguiente forma, las diferencias no han sido significativas para los tratamientos ni las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 7,57%.

**Tabla 18-3:** ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 211 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,44	0,1049	ns
Repetición	2	0,03	0,7778	ns
Error	4	0,10		
Total	8			
C.V	7,57 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.5.7. Diámetro a la altura del cuello, 227 DDR

En el análisis de varianza para Diámetro a la altura del cuello 227 DDR, las diferencias no han sido significativas para los tratamientos ni las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 11,83%.

**Tabla 19-3:** ANOVA del diámetro a la altura del cuello a los 227 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,50	0,3330	ns
Repetición	2	0,07	0,8126	ns
Error	4	0,34		
Total	8			
C.V	11,83 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

Según Quiroz et al. (2009, p.43) el diámetro a la altura de cuello es un indicador de la capacidad de transporte de agua hacia la parte aérea, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa de tolerar altas temperaturas de la planta. Pero no hace referencia a que el diámetro a la altura del cuello sea un indicador de falta de agua, como lo visto en la investigación donde no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos.

## 3.6. Análisis del crecimiento radicular

### 3.6.1. Crecimiento radicular a los 15 DDR

No se presentan diferencias significativas en el análisis de varianza para Crecimiento radicular a los 15 DDR, entre tratamientos ni repeticiones. El un coeficiente de variación fue de 14,17%.

**Tabla 20-3:** ANOVA del crecimiento radicular a los 15 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,11	0,8711	ns
Repetición	2	0,11	0,8711	ns
Error	4	0,78		
Total	8			
C.V	14,17 %			

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.6.2. Crecimiento radicular a los 140 DDR

No se presentan diferencias significativas en el análisis de varianza para Crecimiento radicular 140 DDR para los tratamientos ni para las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 3,82%.

**Tabla 21-3:** ANOVA del crecimiento radicular a los 140 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,11	0,8403	ns
Repetición	2	0,78	0,3735	ns
Error	4	0,61		
Total	8			
C.V	3,82 %			

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.6.3. Crecimiento radicular a los 155 DDR

No se presentan diferencias significativas en el análisis de varianza para Crecimiento radicular 155 DDR para los tratamientos ni para las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 8,66%.

**Tabla 22-3:** ANOVA del crecimiento radicular a los 155 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	3,11	0,5378	ns
Repetición	2	0,78	0,8403	ns
Error	4	4,28		
Total	8			
C.V	8,66 %			

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.6.4. Crecimiento radicular a los 177 DDR

No se presentan diferencias significativas en el análisis de varianza para Crecimiento radicular 177 DDR para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 4,28 %.

**Tabla 23-3:** ANOVA del crecimiento radicular a los 177 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	27,00	0,0081	*
Repetición	2	6,33	0,0878	ns
Error	4	1,33		
Total	8			
C.V	4,28 %			

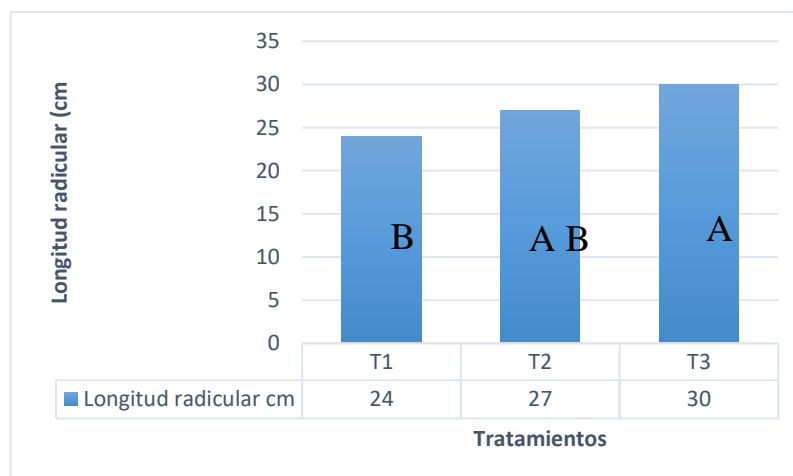
**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

En la prueba de Tukey al 5% para crecimiento radicular 177 DDR presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el tratamiento 3 con una media de 30 cm, y en el rango “B” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 24 cm.

**Tabla 24-3:** Prueba TUKEY al 5% del crecimiento radicular a los 177 DDR

Tratamientos	Media (%)
T3	30,00 A
T2	27,00 A B
T1	24,00 B

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021



**Gráfico 10-3.** Promedio del crecimiento radicular, 196 DDR

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.6.5. Crecimiento radicular a los 196 DDR

No se presentan diferencias significativas en el análisis de varianza para Crecimiento radicular 196 DDR en los tratamientos aplicados por repetición. El coeficiente de variación fue de 9,02%.

**Tabla 25-3:** ANOVA del crecimiento radicular a los 196 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	5,33	0,5739	ns
Repetición	2	21,00	0,1958	ns
Error	4	8,33		
Total	8			
C.V	9,02 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.6.6. Crecimiento radicular a los 211 DDR

No se presentan diferencias significativas en el análisis de varianza para Crecimiento radicular 211 DDR en los tratamientos ni para las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 14,21%.

**Tabla 26-3:** ANOVA del crecimiento radicular a los 211 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	9,33	0,7243	ns
Repetición	2	56,33	0,2365	ns
Error	4	26,67		
Total	8			
C.V	14,21 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.6.7. Crecimiento radicular a los 227 DDR

No se presentan diferencias significativas en el análisis de varianza para Crecimiento radicular 227 DDR en los tratamientos ni para las repeticiones. El coeficiente de variación fue de 19,79%.

**Tabla 27-3:** ANOVA del crecimiento radicular a los 227 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	19,11	0,7727	ns
Repetición	2	119,44	0,2891	ns
Error	4	69,44		
Total	8			
C.V	19,79 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

El efecto de las láminas de riego sobre las plántulas de *Alnus acuminata* respecto a las variables de crecimiento (altura, diámetro a la altura del cuello y longitud de la raíz) no presentaron diferencias significativas puesto que no fueron afectadas por la limitante de humedad.

Resultados similares se obtuvieron en un estudio en invernadero con *Albizia lebbbeck*, *Lysiloma latisiliquum* y *P. Piscipula* durante 2 meses de aplicación de tres dosis de riego: riego continuo (1000 ml cada tercer día), riego intermedio (500 ml cada 15 días) y déficit de riego (250 ml cada 30 días) donde no se mostraron diferencias significativas en la altura de las plántulas (Tamayo-Chin et al., 2012; citado en Luna et al., 2012, p. 349). Por otra parte, Wu et al. (2008; citado en Luna et al., 2012, p. 349), reportaron que en *Zygophyllum xanthoxylum* las diferencias en la biomasa de hojas y tallo solo se presentaron en el tratamiento de estrés severo (riego diario a 15% de la CC), mientras que el estrés moderado (riego diario a 30% de la CC) no mostró diferencias en comparación con el control (riego diario a 45% de la CC).

La longitud y biomasa de la raíz ( $L_R$  y  $B_R$ ) no presentaron diferencias entre tratamientos para ninguna de las especies. El efecto del estrés hídrico sobre la distribución de la biomasa radicular es mínimo y la biomasa es afectada de manera indirecta a través de cambios en la tasa de crecimiento, lo cual puede deberse a ajustes en la relación fuente-demanda de agua en las plántulas (Wullschlegler et al., 2005; citado en Luna et al., 2012, p. 349). Esto ha sido observado en plántulas caducifolias de *Dalbergia sisso* que bajo condiciones de estrés hídrico moderado no mostraron diferencias sobre el crecimiento y biomasa de la raíz (Singh y Singh, 2006; citado en Luna et al., 2012, p. 349).

La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de las partes aéreas y las raíces; las raíces continúan desarrollándose, mientras que las partes aéreas dejan de crecer por la presión. Por lo tanto, las plantas pueden continuar desarrollando sus raíces para encontrar agua en áreas más profundas del suelo.

Entre los efectos generales más obvios de estrés hídrico son los fallos en la germinación, la reducción en la altura de la planta, área foliar y rendimiento del cultivo (Florido y Bao, 2014, p. 71).

### 3.7. Análisis del potencial hídrico foliar

#### 3.7.1. Potencial hídrico foliar a los 15 DDR

Según el análisis de varianza para Potencial hídrico 15 DDR, no existen diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación de fue de 6,51 %.

**Tabla 28-3:** ANOVA del potencial hídrico foliar a los 15 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,83	0,0539	ns
Repetición	2	0,13	0,4255	ns
Error	4	0,13		
Total	8			
C.V	6,51 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

#### 3.7.2. Potencial hídrico foliar a los 140 DDR

Referente al análisis de varianza para Potencial hídrico 140 DDR, no existen diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 4,84%.

**Tabla 29-3:** ANOVA del potencial hídrico foliar a los 140 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	0,10	0,2500	ns
Repetición	2	0,21	0,1065	ns
Error	4	0,05		
Total	8			
C.V	4,84 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.7.3. *Potencial hídrico foliar a los 155 DDR*

En base al análisis de varianza para Potencial hídrico 155 DDR, no existen diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 14,84%.

**Tabla 30-3:** ANOVA del potencial hídrico foliar a los 155 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	1,36	0,2844	ns
Repetición	2	1,69	0,2291	ns
Error	4	0,78		
Total	8			
C.V	14,84 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.7.4. *Potencial hídrico foliar a los 177 DDR*

En el análisis del Potencial hídrico 177 DDR, no existen diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 8,97%.

**Tabla 31-3:** ANOVA del potencial hídrico foliar a los 177 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	2,12	0,0248	*
Repetición	2	0,31	0,3151	ns
Error	4	0,20		
Total	8			
C.V	8,97 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

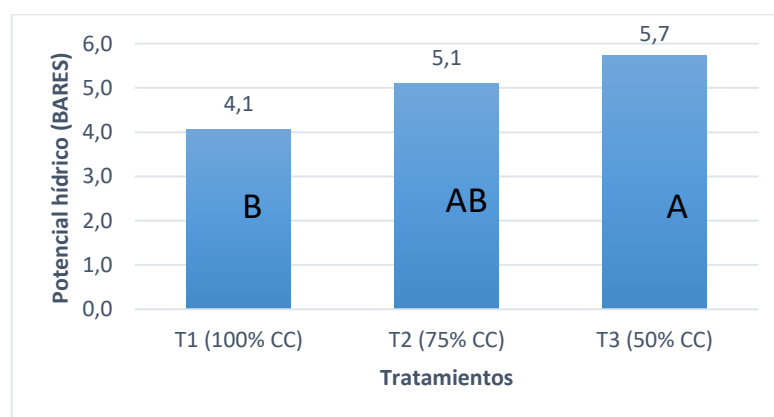
En la prueba de Tukey al 5% para potencial hídrico 177 DDR presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el tratamiento 3 con una media de 5,73 Bares y en el rango “B” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 4,07 Bares.



**Tabla 32-3:** Prueba TUKEY al 5% del potencial hídrico a los 177 DDR

Tratamientos	Media (%)
T3	5,73 A
T2	5,10 A B
T1	4,07 B

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021



**Gráfico 11-3.** Promedio de los potenciales hídricos foliares, 177 DDR

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.7.5. Potencial hídrico foliar a los 196 DDR

El análisis de varianza para Potencial hídrico 196 DDR, no existen diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 8,72%.

**Tabla 33-3:** ANOVA del potencial hídrico foliar a los 196 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	1,86	0,1008	ns
Repetición	2	0,12	0,7644	ns
Error	4	0,43		
Total	8			
C.V	8,72 %			

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.7.6. *Potencial hídrico foliar a los 211 DDR*

Según el análisis de varianza para Potencial hídrico a los 211 DDR, no existen diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 9,29%.

**Tabla 34-3:** ANOVA del potencial hídrico foliar a los 211 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	2,34	0,0713	ns
Repetición	2	2,04	0,0868	ns
Error	4	0,43		
Total	8			
C.V	9,29 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.7.7. *Potencial hídrico foliar a los 227 DDR*

Según la varianza para Potencial hídrico 227 DDR, no existen diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 10,14%.

**Tabla 35-3:** ANOVA del potencial hídrico foliar a los 227 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	4,75	0,0065	*
Repetición	2	0,08	0,6944	ns
Error	4	0,21		
Total	8			
C.V	10,14 %			

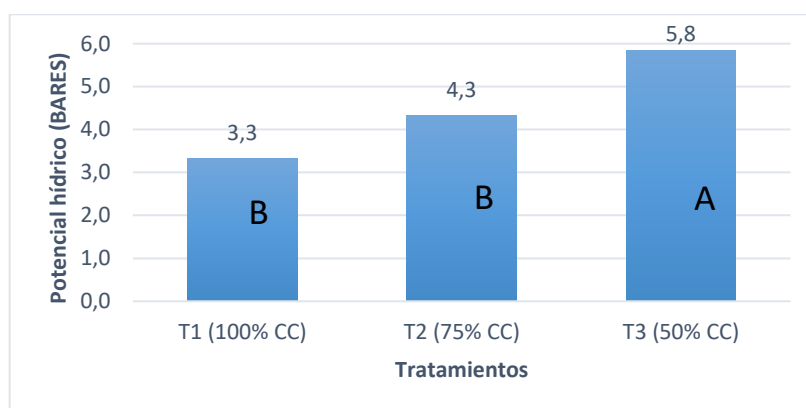
**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

En la prueba de Tukey al 5% para potencial hídrico 227 DDR presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el tratamiento 3 con una media de 5,83 Bares, y en el rango “B” se ubicaron los tratamientos 1 y 2 con una media de 4,42 Bares.

**Tabla 36-3:** Prueba TUKEY al 5% del potencial hídrico a los 227 DDR

Tratamientos	Media (%)
T3	5,83 A
T2	4,33 B
T1	3,33 B

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021



**Gráfico 12-3.** Promedio del potencial hídrico foliar, 227 DDR

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

El efecto del estrés inducido sobre las plántulas de *C. dodecandra*, *P. piscipula* y *L. leucocephala* sobre el estado hídrico fue la disminución en el potencial hídrico ( $\Psi$ ) al medio día (Luna et al., 2012, p. 346). Resultado similar al obtenido en la investigación en la que se pudo evidenciar que a mayor estrés hídrico (menor cantidad de agua en el Tratamiento 3) es mayor el potencial hídrico visto.

### 3.8. Análisis de la conductancia estomática

#### 3.8.1. Conductancia estomática, 15 DDR

Referente a la Conductancia estomática 15 DDR, se presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 14,12%.

**Tabla 37-3:** ANOVA de la conductancia estomática a los 15 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	21096,35	0,0141	*
Repetición	2	2349,28	0,3002	ns
Error	4	1423,56		
Total	8			
C.V	14,12 %			

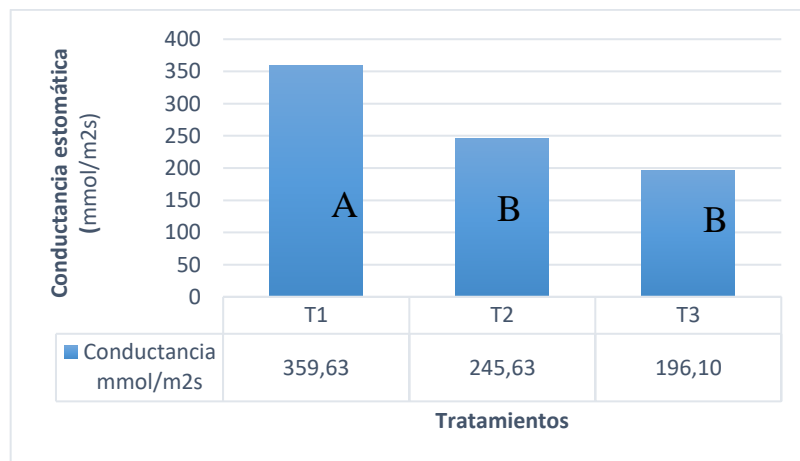
**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

En la prueba de Tukey al 5% para conductancia estomática DDR presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 359,63 mmol/m<sup>2</sup>s, y en el rango “B” se ubicaron los tratamientos 2 y 3 con una media de 220,87

**Tabla 38-3:** Prueba TUKEY al 5% de la conductancia estomática a los 15 DDR

Tratamientos	Media (%)
T1	359,63 A
T2	245,63 B
T3	196,10 B

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021



**Gráfico 13-3.** Promedio de la conductancia estomática a los 140 DDR

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.8.2. Conductancia estomática, 140 DDR

En referencia a la Conductancia estomática 140 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 13,20%.

**Tabla 39-3:** ANOVA de la conductancia estomática a los 140 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	2624,45	0,4609	ns
Repetición	2	6929,45	0,1978	ns
Error	4	2774,74		
Total	8			
C.V	13,20 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.8.3. Conductancia estomática, 155 DDR

Según lo determinado en la Conductancia estomática 155 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 16,34%.

**Tabla 40-3:** ANOVA de la conductancia estomática a los 155 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	6777,00	0,2071	ns
Repetición	2	1788,52	0,5774	ns
Error	4	2829,47		
Total	8			
C.V	16,34 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.8.4. Conductancia estomática, 177 DDR

Según la Conductancia estomática 177 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 17,77%.

**Tabla 41-3:** ANOVA de la conductancia estomática a los 177 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	1258,63	0,5648	ns
Repetición	2	1016,13	0,6230	ns
Error	4	1903,38		
Total	8			
C.V	17,77 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.8.5. Conductancia estomática, 196 DDR

Para determinar la Conductancia estomática 196 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 23,18%.

**Tabla 42-3:** ANOVA de la conductancia estomática a los 196 DDR

F. V	Gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	6454,25	0,1734	ns
Repetición	2	1280,56	0,6123	ns
Error	4	2303,11		
Total	8			
C.V	23,18 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.8.6. Conductancia estomática, 211 DDR

En el análisis de varianza para Conductancia estomática 211 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 10,70%.

**Tabla 43-3:** ANOVA de la conductancia estomática a los 211 DDR

F. V	Gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	4000,09	0,2155	ns
Repetición	2	5227,35	0,1590	ns
Error	4	1732,99		
Total	8			
C.V	10,70 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.8.7. Conductancia estomática, 227 DDR

La varianza para Conductancia estomática 226 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 10,70%.

**Tabla 44-3:** ANOVA de la conductancia estomática a los 227 DDR

F. V	Gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	3529,37	0,0824	ns
Repetición	2	1861,72	0,1875	ns
Error	4	710,79		
Total	8			
C.V	10,70 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

Blum (2011; citado en Valverde y Arias, 2020, p. 21) menciona que el estrés hídrico en especies tropicales incide en una reducción significativa de la conductividad estomática y transpiración debido al cierre de estomas. La adaptación al estrés hídrico implica la reducción de la deshidratación celular, ya sea por evitación de la sequía y de deshidratación o tolerancia al estrés. Algunos ejemplos de evitación son una rápida ontogenia, desprendimiento de las hojas y frutos, enrollamiento de estas y una baja conductancia estomática (Florido y Bao, 2014, p. 72). Resultados también vistos a los 15 DDR en la investigación, pero que no se repitió en las siguientes fechas.

### 3.9. Análisis del contenido relativo de agua en las hojas

#### 3.9.1. Contenido relativo de agua en hojas, 15 DDR

En el análisis de varianza para Contenido relativo de agua en hojas 15 DDR, en este caso presentó diferencias estadísticas significativas para los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 5,70%.

**Tabla 45-3:** ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 15 DDR

F. V	Gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	62,95	0,0523	*
Repetición	2	30,70	0,1429	ns
Error	4	9,33		
Total	8			
C.V	5,70 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

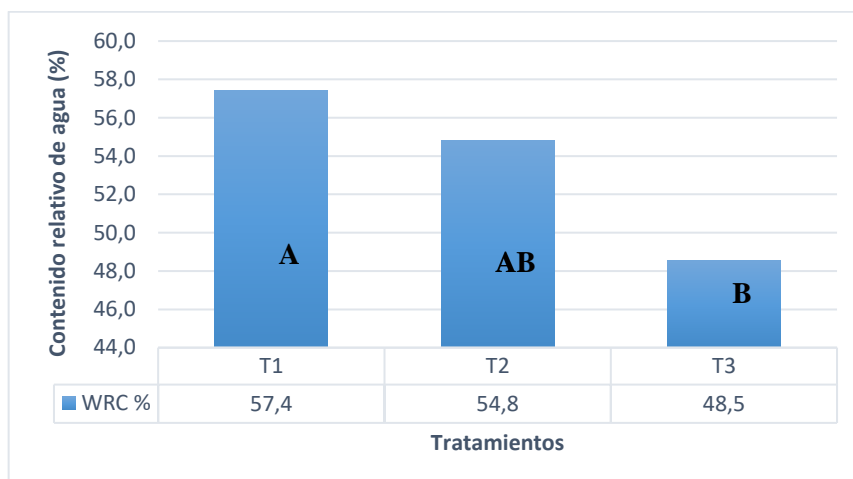
En la prueba de Tukey al 5% para Contenido relativo de agua en hojas 15 DDR presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó el tratamiento 1 con una media de 57,43%, y en el rango “B” se ubicó el tratamiento 3 con una media de 48,53%.

**Tabla 46-3:** Prueba TUKEY al 5% del contenido relativo de agua en hojas, 15 DDR

Tratamiento	Media (%)
T1	57,43 A
T2	54,87 A B
T3	48,53 B

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021





**Gráfico 14-3.** Promedio del contenido relativo de agua a los 15 DDR

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.9.2. Contenido relativo de agua en hoja 140 DDR

El análisis de varianza para Contenido relativo de agua en hojas 140 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 5,72%.

**Tabla 47-3:** ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 140 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	42,59	0,1590	ns
Repetición	2	94,52	0,0529	ns
Error	4	14,12		
Total	8			
C.V	5,72 %			

Realizado por: Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.9.3. Contenido relativo de agua en hoja 155 DDR

La varianza para Contenido relativo de agua en hojas 155 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 16,32%.

**Tabla 48-3:** ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 155 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	131,39	0,5196	ns
Repetición	2	50,27	0,7586	ns
Error	4	169,65		
Total	8			
C.V	16,32 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.9.4. Contenido relativo de agua en hoja 177 DDR

En el análisis de varianza para Contenido relativo de agua en hojas 177 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 15,23%.

**Tabla 49-3:** ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 177 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	35,43	0,8082	ns
Repetición	2	134,53	0,4914	ns
Error	4	157,71		
Total	8			
C.V	15,23 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.9.5. Contenido relativo de agua en hoja 196 DDR

Según el análisis de varianza para Contenido relativo de agua en hojas 196 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 10,50%.

**Tabla 50-3:** ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 196 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	10,83	0,8492	ns
Repetición	2	271,06	0,1020	ns
Error	4	63,59		
Total	8			
C.V	10,50%			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.9.6. Contenido relativo de agua en hoja 211 DDR

En referencia al análisis de varianza para Contenido relativo de agua en hojas 211 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 13,78%

**Tabla 51-3:** ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 211 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	70,64	0,6017	ns
Repetición	2	10,96	0,9159	ns
Error	4	122,16		
Total	8			
C.V	13,78 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

### 3.9.7. Contenido relativo de agua en hoja 227 DDR

Como muestra el análisis de varianza para Contenido relativo de agua en hojas 227 DDR, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 4,58%

**Tabla 52-3:** ANOVA del contenido relativo de agua en hojas a los 227 DDR

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	50,05	0,1100	ns
Repetición	2	5,76	0,6588	ns
Error	4	12,42		
Total	8			
C.V	4,58 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

El déficit hídrico tiene en conjunto importantes consecuencias para la fisiología y la morfología de las plantas provocando, a corto y medio plazo, un descenso del potencial hídrico, del contenido hídrico relativo y de la conductividad hídrica, así como un aumento de la síntesis de ácido abscísico. Estos hechos dan lugar a un descenso de la conductancia estomática y del área foliar total, así como a cambios metabólicos provocados por la disminución de la concentración de agua en las células (Medrano et al., 2007, p. 70). Resultado solo encontrado a los 15 DDR en el estudio.

### 3.10. Materia seca

En el análisis de varianza para Materia seca, el análisis no existe diferencias estadísticas para los tratamientos ni para las repeticiones que sean significativas. El coeficiente de variación fue de 7,41%

**Tabla 53-3:** ANOVA de la materia seca de las plantas

F. V	gl	CM	p-valor	Significancia
Tratamiento	2	21,21	0,1438	ns
Repetición	2	15,50	0,2074	ns
Error	4	6,48		
Total	8			
C.V	7,41 %			

**Realizado por:** Tenecela Buestan, Keily, 2021

El estado de déficit hídrico puede influir sobre el crecimiento y la producción de materia seca por las plantas, por lo que se espera una menor cantidad de materia seca en las plantas a las que se les aplicó una menor cantidad de agua (Batista, 2011, p. 3). Situación que no se evidenció en la investigación.

## CONCLUSIONES

- El ciclo total del cultivo del aliso tuvo una duración para el Tratamiento 1, 100% de agua en capacidad de campo, de 185 días después del repique; 199 días para el Tratamiento 2, 75% de agua en capacidad de campo, y 211 días para el Tratamiento 3 de 50% de agua en capacidad de campo. A diferencia de la etapa inicial en la que todos los tratamientos dieron una duración de 37 días, las siguientes etapas siempre fueron más cortas para el Tratamiento 1. Podemos decir que, a mayor porcentaje de agua en capacidad de campo, es menor la duración del ciclo total de cultivo del aliso en vivero.
- Los coeficientes de cultivo en el tratamiento 1 para el 100% de la capacidad de retención de agua del campo son: 0,38; 0,93; 0,51 y 0,22, que representan las etapas: inicial, de desarrollo, intermedia y final, respectivamente. Para el tratamiento 2, el 75% de la capacidad de retención de agua del campo es: etapa inicial 0,36, etapa de desarrollo 0,94, etapa intermedia 0,56 y etapa final 0,24. Para el tratamiento 3, el 50% de la capacidad de retención de agua del campo es: 0,34; 0,94; 0,58 y 0,24, que son las etapas: inicial, de desarrollo, intermedia y final, respectivamente.
- El efecto de la reducción de las láminas de riego sobre las plántulas de *Alnus acuminata* repercutió en la disminución en la conductancia estomática, el contenido relativo de agua, altura, diámetro a la altura del cuello y materia seca; en tanto que, las variables longitud de la raíz y potencial hídrico se vieron favorecidas por la limitante de humedad.

## **RECOMENDACIONES**

- Probar porcentajes de agua en capacidad de campo por encima del 100% para averiguar en qué proporción de riego se obtendrían mejores datos de desarrollo de las plantas de aliso en vivero.
- Realizar el mismo estudio en otras especies forestales bajo los mismos parámetros para conocer sus requerimientos hídricos bajo vivero y así realizar un mejor manejo del agua.

## GLOSARIO

**Cámara Scholander:** La Cámara de Presión o bomba de Scholander es un instrumento que permite medir el agua retenida en la planta o estado hídrico (Comisión Nacional de Riego, 2017, p. 1).

**Nódulos:** Los nódulos radicales son asociaciones simbióticas entre bacterias y plantas superiores. La más conocida es la de *Rhizobium* con especies de Leguminosas. La planta proporciona a la bacteria compuestos carbonados como fuente de energía y un entorno protector, y recibe nitrógeno en una forma utilizable para la formación de proteínas (González, 2002, p. 1).

**Pluviómetro:** dispositivo que se emplea para poder medir las precipitaciones que caen en una zona durante una determinada cantidad de tiempo (Portillo, 2016, p. 1).

**Porómetro:** mide la *Conductancia Estomática* (*g*) de las hojas usando la técnica del Estado Estacionario. Esta técnica mide la presión de vapor y el flujo de vapor sobre la superficie de la hoja (Lapaca, 2021, p. 1).

**Rizotrón:** cámaras para observar la zona de la raíz y la investigación de la influencia de diferentes factores ambientales en el crecimiento y desarrollo del sistema de raíces de la planta (COTECNO, 2020, p. 1).

**Tanque de evaporación tipo A:** mide la evaporación efectiva, es decir, la cantidad de agua que una masa líquida al aire libre pierde a través de su superficie por haberse convertido en vapor, durante un cierto periodo de tiempo (Meteored, 2016, p. 1).

## BIBLIOGRAFÍA

**ALCARRAZ, T.** Producción de aliso (*Alnus acuminata* HBK) en diferentes porcentajes de tierra negra, arena y compost en vivero Andahuaylas 2017 (Tesis) (Ingeniería). Universidad Tecnológica de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Agronomía. Apurímac - Perú. 2019. pp. 5-31.

**ALLEN, R., PEREIRA, L., RAES, D.; & SMITH, M.** *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma-Italia: FAO. 2006. ISBN 92-5-304219-2, pp. 81-183.

**AMAGUAÑA, S.; & LLAMBA, C.** Diseño e implementación de la fase inicial de un sistema de manejo sustentable para suelo y agua en el sector sur oeste de la UPS (Tesis) (Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera en Ingeniería Ambiental. Quito - Ecuador. 2013. pp. 84-98.

**ANDRIANI, J.** *Lo que hay que saber del “consumo de agua de los cultivos”* [en línea]. Argentina. 2016. P. 100. [Consulta: 13 septiembre 2021]. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-lo-que-hay-que-saber-consumo-de-agua-cultivos.pdf>.

**ANILEMA, J.** Aplicación de tres dosis de fertilizante en el crecimiento y desarrollo de *Alnus acuminata* kunth, (aliso) en la comunidad de Tiocajas, cantón Gamote, provincia de Chimborazo (Tesis) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba - Ecuador. 2018. pp. 22-94.

**ARMAS, R.** Crecimiento inicial del aliso (*Alnus acuminata*), Empleando cinco tipos de plantas (Tesis) (Ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Escuela de Ingeniería Forestal. Ibarra-Ecuador. 1991. p. 73.

**ARTUNDUAGA, C.** Caracterización y análisis integral de la producción y de potencial nutricional de *Alnus acuminata* en la etapa inicial de desarrollo, con diferentes cepas de micorrizas vesículo arbusculares (MVA) (Trabajo de grado) (Maestría). Universidad del Tolima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Maestría En Ciencias Pecuarias. Ibagué - Colombia. 2018. p. 37.



**BATISTA, W.** *Las plantas y el agua* [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Universidad de Buenos Aires. 2011. [Consulta: 13 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.agro.uba.ar/users/batista/EE/papers/agua.pdf>.

**CABRERA, R.** *Prácticas Básicas en el Uso y Manejo del Agua (Monografía)* (Ingeniero). Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", División De Ingeniería. Saltillo-México. 1999. pp. 24-98.

**CHICAS, R., VANEGAS, A.; & GARCÍA, N.** "Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 23, no. 1 (2014), (Guatemala) pp. 41-46.

**COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO.** *Uso de la cámara de presión para el monitoreo del estado hídrico de plantas* [en línea]. Chile. 2009. [Consulta: 17 agosto 2021]. Disponible en: [http://agriculturers.com/wp-content/uploads/2017/11/S116\\_Cartilla\\_Uso\\_de\\_la\\_cAmara\\_de\\_presiOn\\_para\\_el\\_monitoreo\\_d\\_el\\_estado\\_hIdrico\\_de\\_plantas.pdf](http://agriculturers.com/wp-content/uploads/2017/11/S116_Cartilla_Uso_de_la_cAmara_de_presiOn_para_el_monitoreo_d_el_estado_hIdrico_de_plantas.pdf).

**COTECNO.** *Cámaras de Rizotron* [en línea]. Chile. 2020. [Consulta: 17 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.cotecno.cl/nuestros-productos/camaras-de-rizotron/>.

**DELGADO, C., ALBERICH, M.; & LÓPEZ, F.** *Recursos hídricos: conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Toluca - México: Piriguazú Ediciones. 2006 ISBN 9974-7571-6-9. pp. 1-4.

**FLORIDO, M.; & BAO, L.** "Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.)". *Cultivos tropicales*, vol. 35, no. 3 (2014), (Cuba) pp. 70-88.

**GAIBOR, J.** Determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*) var. calima en base al tanque de evaporación tipo a, y fórmulas empíricas (fao), en Macají, cantón Riobamba provincia de Chimborazo (Proyecto de investigación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba - Ecuador. 2019. pp. 19-45.

**GARREAUD, R.; & MERUANE, C.** *Instrumentos Meteorológicos y Humedad Atmosférica* [en línea]. Santiago de Chile - Chile: Universidad de Chile. 2005. p. 1-11. [Consulta: 2 enero 2021]. Disponible en: [http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/meteo\\_mod1.pdf](http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/meteo_mod1.pdf).

**GÓMEZ, M., LINDING, R.; & DEL VAL, E.** “Efecto de la sequía en la relación simbiótica entre *Pinus pseudostrobus* y *Pisolithus tinctorius*”. *Botanical sciences*, vol. 93, no. 4 (2015), (México) pp. 731-740.

**GONZÁLEZ, A.** *Anatomía de raíz* [en línea]. Argentina.2002. [Consulta: 17 agosto 2021]. Disponible en: <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema20/20-10nodulos.htm>.

**GUTIÉRREZ, J.** Comparación de Cinco Métodos para la Determinación del Contenido de Humedad del Suelo (Tesis) (Ingeniería). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de Ingeniería. Saltillo - México. 2001. pp. 9-21.

**JIMÉNEZ, R.** Determinación de los requerimientos hídricos del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*. L. Var. Avenger) bajo condiciones edafoclimáticas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba - Ecuador. 2016. p. 40.

**LAPACA.** *Porómetro de Hoja - Conductividad Estomática* [en línea]. 2021. [Consulta: 17 agosto 2021]. Disponible en: <http://www.lapacacr.com/productos/fisiologia-vegetal/porometro-de-hoja>.

**LEÓN, J.** Determinación de requerimientos hidricos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) var. Winterhaven en base al tanque de evaporacion tipo a y formulas empiricas (fao) en macaji, canton Riobamba, provincia de Chimborazo (Proyecto de investigación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba - Ecuador. 2018. pp. 10-37.

**LÓPEZ, M.** Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrífugas para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente (Tesis) (Ingeniería). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito - Ecuador. 2016. p. 12.

**LÓPEZ, R., MARTÍN DE SANTA OLALLA, F., MONTORO, A.; & LÓPEZ, P.** “Determinación de los coeficientes de cultivo único y dual de la cebolla mediante un lisímetro de pesada”. Universidad de Castilla [en línea]. 2005 (España), pp. 621-625. [Consulta: 15 enero 2021]. Disponible en: <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2054.%20VI%20Congreso%20Ib%C3%A9rico%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas.%20XII%20Congreso%20Nacional%20de%20>

20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas/Comunicaciones/Determinaci%C3%B3n%20de%20los%20coeficientes%20de%20cultivo%20%C3%BAnico%20y%20dual%20de%20la%20cebolla%20mediante%20un%20lis%C3%ADmetro%20de%20pesada.pdf.

**LUNA, W., ESTRADA, W., JIMÉNEZ, J.; PINZÓN, L.** “Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias”. *Terra Latinoamericana*, vol. 30, no. 4 (2012), (México) pp. 343-353.

**MARIÑO, Y., RODRÍGUEZ, M.; & RAMÍREZ, C.** Evaluación del punto de marchitez permanente bajo condiciones de invernadero como variable para la asignación de clones de *Gmelina arborea* (Roxb) a sitios potenciales de plantación. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Carrera de Biología. Bogotá - Colombia. 2006. p. 33.

**MARTÍNEZ, Y.; & VILLALEJO, V.** "La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos". *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* [en línea], 2018, (Cuba) 39. pp. 58-72. [Consulta: 23 diciembre 2020]. ISSN: 1680-0338. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382018000100005&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382018000100005&script=sci_arttext&tlng=en).

**MEDRANO, H., BOTA, J., CIFRE, J., FLEXAS, J., RIVAS, M.; & GULÍAS, J.** “Eficiencia en el uso del agua por las plantas”. *Investigaciones Geográficas*, no. 43 (2007), (España) pp. 63-84.

**MENDOZA, C.** Evaluación del tipo y cantidad de mordiente en la intensidad de color y solidez al lavado del teñido de fibra de alpaca (*Vicugna pacos*) con aliso (*Alnus acuminata* H.B.K) (Tesis) (Ingeniería). Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Huancavelica - Perú. 2018. pp. 14-64.

**METEORED.** *El Tanque de Evaporación tipo "A"* [en línea]. Chile. 2009. [Consulta: 18 agosto 2021]. Disponible en: <https://foro.tiempo.com/el-tanque-de-evaporacion-tipo-a-t55901.0.html>.

**OSPINA, C., HERNÁNDEZ, R., GÓMEZ, D., GODOY, J., ARISTIZÁBAL, F., PATIÑO, J.; & MEDINA, J.** *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera* [en línea]. Colombia: Cenicafe, 2005. p. 13. [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/aliso.pdf>.

**PAGUAY, S.** Determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de la cebolla colorada (*Allium cepa* L.) var. Burguesa en base al contenido de agua en el suelo, en Macají, cantón

Riobamba, provincia de Chimborazo (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba - Ecuador. 2017. pp. 60-64.

**PORTILLA, D.** Propagación vegetativa del aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.) utilizando dos tipos de sustrato en la parroquia La Esperanza (Tesina) (Tecnología). Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra- Ecuador. 2012. p. 9.

**PORTILLO, G.** *Pluviómetro* [en línea]. 2016. [Consulta: 18 agosto 2021]. Disponible en: [https://www.meteorologiaenred.com/pluviometro.html#Que\\_es\\_un\\_pluviometro](https://www.meteorologiaenred.com/pluviometro.html#Que_es_un_pluviometro).

**QUIROZ, I., GARCÍA, E., GONZÁLEZ, M., CHUNG, P.; & SOTO, H.** *Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta* [en línea]. Chile. 2009. [Consulta: 13 agosto 2021]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/17366/25075.pdf;jsessionid=EC EF AA9B25BA16FF1B98670FC5D8A653?sequence=1>.

**ROYAL BOTANIC GARDEN KEW.** *Alnus acuminata Kunth* [en línea]. [Consulta: 13 diciembre 2020]. Disponible en: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:294882-1>

**RUBIO, H., OCHOA, J., ORTIZ, R., QUINTANA, R., SAUCEDO, R.; & VILLALBA, M.** "Calidad de agua en términos físico-químico-metales en tres sitios contrastantes del río Conchos en Chihuahua, México". *Investigación y Ciencia* [en línea], 2017, (México) 25(70). pp. 13-22. [Consulta: 25 diciembre 2020]. ISSN 1665-4412. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/674/67451351002.pdf>.

**SALAZAR, J.** Evaluación del crecimiento del aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.) y su influencia en un sistema silvopastoril ubicado en la parroquia El Carmelo provincia del Carchi (Tesis) (Ingeniería). Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Facultad de Agropecuarias y Ciencias Ambientales, Carrera de Desarrollo Integral Agropecuario. Tulcán - Ecuador. 2018. pp. 11-19.

**SAN JOSÉ, M., JANEIRO, L.; & CORREDOIRA, E.** "Micropropagación del aliso común para la conservación de su germoplasma". *Spanish Journal of Rural Development*, (2010), (España). pp. 31-38.

**SÁNCHEZ, L., AMADO, G., CRIOLLO, P., CARVAJAL, T., ROA, J., CUESTA, A., CONDE, A., UMAÑA, A., BERNAL, L.M., & BARRETO, L.** *El Aliso (Alnus acuminata H.B.K.) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano.* Tibaitatá - Colombia: Corpoica, 2010. ISBN 978-958-740-028-1, pp. 25-41.

**SILVA, M.** Mejoramiento, manejo y control fitosanitario de las especies nativas sembradas en el CEYPSA (lote sector alto del invernadero de caracoles) de la parroquia Eloy Alfaro-Provincia de Cotopaxi (Tesis) (Ingeniería). Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias Y Recursos Naturales, Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente. Latacunga - Ecuador. 2012. pp. 19-43.

**SILVA, P., SILVA, H., GARRIDO, M.; & ACEVEDO, E.** *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos* [en línea]. Santiago de Chile - Chile: Universidad de Chile, 2015. pp. 34-60. [Consulta: 26 diciembre 2020]. ISBN 978-956-19-0906-9. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130642/Manual-de-estudio-y-ejercicios-relacionados-con-el-contenido-de-agua.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

**SOPORTE DE MINITAB.** *Interpretar los resultados clave para la ANOVA de un solo factor* [En línea]. 2019. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/how-to/one-way-anova/interpret-the-results/key-results/>.

**VALVERDE, J.; & ARIAS, D.** “Efectos del estrés hídrico en crecimiento y desarrollo fisiológico de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp”. *Colombia forestal*, vol. 23, no. 1 (2020), (Colombia) pp. 20-34.

**VERGARA, A., MERCADO, T., JARMA, A.; & GATTI, K.** “Requerimiento Hídrico de *Gmelina arborea* en Etapa de Vivero Bajo Condiciones Controladas”. *Floresta e Ambiente*, vol. 24 (2017), (Colombia) p. 1.



Firmado electrónicamente por:  
**CRISTHIAN  
FERNANDO  
CASTILLO RUIZ**

## ANEXOS

### ANEXO A: DELIMITACIÓN DEL ÁREA PARA LA INSTALACIÓN DEL ENSAYO EXPERIMENTAL



### ANEXO B: INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO



### ANEXO C: DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HÍDRICOS DEL SUSTRATO



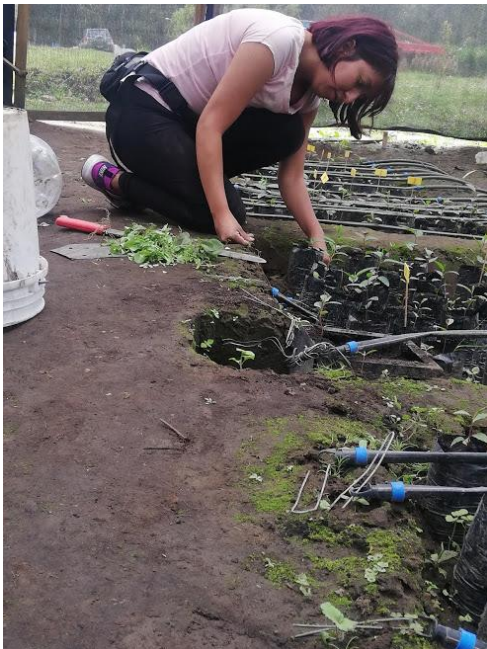
### ANEXO D: LLENADO DE FUNDAS Y REPIQUE



**ANEXO E: MEDICIÓN DE LAS VARIABLES A CONSIDERAR**



**ANEXO F: LIMPIEZA DEL ÁREA DE ACLIMATACIÓN**





### ANEXO G: ANÁLISIS CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUSTRATO



### ANEXO H: OBTENCIÓN DATOS CLIMATOLÓGICOS



### ANEXO I: MEDICIÓN DE PLANTAS TESTIGO






**epoch**

**Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 09 / 03 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>	
<b>Nombres – Apellidos:</b> Keily Jasmin Tenecela Buestan	
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>	
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales	
<b>Carrera:</b> Ingeniería Forestal	
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Forestal	
<b>f. responsable:</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>CRISTHIAN FERNANDO CASTILLO RUIZ</b>



0393-DBRA-UTP-2022