

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS  
FORESTALES**



**“CRECIMIENTO EN DIÁMETRO Y ALTURA DE TRES ESPECIES  
DE PINO TRATADAS CON BORO Y FÓSFORO AL INICIO DE LA  
PLANTACIÓN”**

**Presentada por:**

**MARILYN MERCEDES PRIETO JULCA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS  
FORESTALES**

**Lima - Perú**

**2023**

# TRATAMIENTO INICIAL CON BORO Y FÓSFORO EN EL CRECIMIENTO DE TRES ESPECIES DE PINO EN CAJAMARCA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repository.unipiloto.edu.co">repository.unipiloto.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
2	<a href="http://www.mysciencework.com">www.mysciencework.com</a> Fuente de Internet	<1 %
3	Submitted to costa rica tec Trabajo del estudiante	<1 %
4	<a href="http://www.se.gob.hn">www.se.gob.hn</a> Fuente de Internet	<1 %
5	<a href="http://www.itzonamaya.edu.mx">www.itzonamaya.edu.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
6	<a href="https://repositorio.unamba.edu.pe">repositorio.unamba.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
7	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
8	<a href="http://data.landportal.info">data.landportal.info</a> Fuente de Internet	<1 %
9	<a href="http://web.lamolina.edu.pe">web.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS  
FORESTALES**

**“CRECIMIENTO EN DIÁMETRO Y ALTURA DE TRES ESPECIES  
DE PINO TRATADAS CON BORO Y FÓSFORO AL INICIO DE LA  
PLANTACIÓN”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**MARILYN MERCEDES PRIETO JULCA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado**

Mg. Sc. Roxana Guillén Quispe  
**PRESIDENTE**

Dr. Gilberto Domínguez Torrejón  
**ASESOR**

Dr. Carlos Reynel Rodríguez  
**MIEMBRO**

Dr. José Cuellar Bautista  
**MIEMBRO**

# DEDICATORIA

A mis padres.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis padres, abuelos y a mi hermana por su constante apoyo, amor y aliento. Su dedicación y sacrificio han sido un pilar fundamental en mi formación académica y personal. Gracias por siempre estar a mi lado y brindarme su apoyo incondicional.

A mi compañero y amor, Cristian, quiero agradecerle por su paciencia, comprensión y motivación durante todo este proceso. Gracias por siempre estar a mi lado y brindarme tu apoyo incondicional.

A la Asociación Civil para el Desarrollo e Investigación Forestal, ADEFOR y a la SAIS José Carlos Mariátegui por el soporte en la ejecución de este estudio.

A mi asesor de tesis, Ing. Domínguez, quiero expresar mi gratitud por su guía experta y valiosa orientación a lo largo de este proyecto.

Agradezco también al jurado por su tiempo, dedicación y por brindarme la oportunidad de presentar mi trabajo de investigación. Sus comentarios y sugerencias constructivas han enriquecido mi trabajo y me han ayudado a mejorar como profesional.

Al Ing. Ulises Pajares por su gran apoyo en el desarrollo de esta investigación, sus conocimientos, consejos y dedicación han sido primordiales para el éxito de mi investigación.

Al Ing. Ignacio Lombardi, por sus conocimientos y consejos, fundamentales en el desarrollo de mi tesis.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mis amigos Rolando Montenegro, Santiago Bermúdez, Orlando Oruna, Lourdes Falen, Stefani Bashi y Eder Ramos por su apoyo incondicional durante la ejecución de mi tesis. Su ánimo, palabras de aliento y ayuda práctica han sido un gran estímulo en los momentos difíciles. Gracias por estar siempre dispuestos a tenderme una mano y por ser una parte invaluable de mi vida.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Características generales de las especies .....	3
2.1.1. <i>Pinus patula</i> Schltld. & Cham. ....	3
2.1.2. <i>Pinus radiata</i> D. Don .....	4
2.1.3. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. ....	5
2.2. Conceptos de Crecimiento .....	5
2.2.1. Diámetro.....	6
2.2.2. Altura.....	6
2.3. Requerimientos nutricionales.....	7
2.4. Fertilización .....	8
2.4.1. Elementos más usados en la fertilización .....	10
2.4.2. Fósforo.....	11
2.4.3. Boro .....	12
2.5. Experiencias de fertilización en pino.....	13
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1. Ámbito de estudio .....	16
3.1.1. Ubicación.....	16
3.1.2. Clima y suelo .....	17
3.2. Materiales y Equipo .....	18
3.3. Metodología.....	18
3.3.1. Diseño experimental.....	18
3.3.2. Descripción de la investigación.....	20
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
4.1. Evaluación del Diámetro por especie .....	24
4.1.1. <i>Pinus patula</i> .....	24

4.1.2. <i>Pinus pseudostrobus</i> .....	25
4.1.3. <i>Pinus radiata</i> .....	25
4.2. Evaluación de la Altura total por especie .....	27
4.2.1. <i>Pinus patula</i> .....	27
4.2.2. <i>Pinus pseudostrobus</i> .....	28
4.2.3. <i>Pinus radiata</i> .....	29
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>36</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>37</b>
<b>VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>38</b>
<b>VIII. ANEXOS</b> .....	<b>45</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Factores del experimento.....	18
Tabla 2. Dosis aplicadas por tratamiento .....	20
Tabla 3. Prueba de Tukey al 5 por ciento para los promedios de DAP con dosis de boro en <i>Pinus radiata</i> .....	26
Tabla 4. Prueba de Tukey al 5 por ciento para los promedios de altura total con dosis de boro en <i>Pinus pseudostrobus</i> .....	29
Tabla 5. Prueba de Tukey al 5 por ciento para los promedios de altura total en los tratamientos en <i>Pinus radiata</i> .....	30
Tabla 6. Resumen de estudios de fertilización en plantaciones de pino.....	32
Tabla 7. Incremento medio anual- IMA (m <sup>3</sup> /ha/año) en plantaciones de pino en Cajamarca.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación del área de estudio .....	16
Figura 2. Plano de distribución del experimento .....	19
Figura 3. Croquis de la distribución de los tratamientos .....	22
Figura 4. Evaluación en campo .....	22
Figura 5. DAP promedio de los tratamientos (T1-T10) en <i>Pinus patula</i> .....	24
Figura 6. DAP promedio de los tratamientos (T1-T10) en <i>Pinus pseudostrobus</i> .....	25
Figura 7. DAP promedio de los tratamientos (T1-T10) en <i>Pinus radiata</i> .....	26
Figura 8. Altura total promedio en los diferentes tratamientos (T1-T10) en <i>Pinus patula</i> .	28
Figura 9. Altura total promedio en los diferentes tratamientos (T1-T10) en <i>Pinus pseudostrobus</i> .....	29
Figura 10. Gráfica de interacción en <i>Pinus radiata</i> .....	30
Figura 11. Altura total promedio en los diferentes tratamientos (T1-T10) en <i>Pinus radiata</i> .....	31

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Resumen de parámetros evaluados .....	45
Anexo 2. Plantaciones de <i>Pinus patula</i> de 27 años de edad, parte del ensayo de fertilización con roca fosfórica y bórax .....	47
Anexo 3. Plantaciones de <i>Pinus pseudostrobus</i> de 27 años de edad, parte del ensayo de fertilización con roca fosfórica y bórax .....	48
Anexo 4. Plantaciones de <i>Pinus radiata</i> de 27 años de edad, parte del ensayo de fertilización con roca fosfórica y bórax. ....	49
Anexo 5. Costos de instalación de una plantación sin fertilización .....	50
Anexo 6. Costos de instalación de una plantación con fertilización (T1: 40 g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /5 g bórax) .....	51
Anexo 7. Costos de instalación de una plantación con fertilización (T5: 80 g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / 10 g bórax) .....	53
Anexo 9. Análisis de varianza para el parámetro DAP .....	54
Anexo 10. Análisis de varianza para el parámetro Altura total .....	56
Anexo 11. Análisis de suelo .....	58
Anexo 12. Medición de parámetros dasométricos en las plantaciones pino evaluadas .....	59

## RESUMEN

La aplicación de fertilizantes ha tomado más relevancia en los últimos tiempos debido a su efecto en el crecimiento de los árboles. El estudio se realizó en plantaciones de pino ubicadas en el caserío de la Calzada, distrito de San Juan, Cajamarca, tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación inicial de fósforo y boro en el crecimiento de tres especies de pino a los 27 años de establecido. Se usó un diseño experimental de bloques completos aleatorios con 4 repeticiones; siendo un experimento factorial completo, donde el  $P_2O_5$  fue el factor A y el bórax el factor B haciendo un total de 9 tratamientos. La población estuvo conformada por 24 plantas por tratamiento, 216 por repetición y 864 por ensayo (para cada especie). Se muestreo la parte central evaluando los diámetros a la altura del pecho (DAP) y las alturas totales. Con respecto al crecimiento diamétrico (DAP), las especies *Pinus patula* con el T5: 80 g  $P_2O_5$ /10 g bórax (23,6 cm) y el *Pinus pseudostrobus* con el T6 :120 g  $P_2O_5$ /10 g (26,46 cm) lograron un promedio superior a los demás tratamientos, a pesar que ambas no presentaron diferencia estadística. Sin embargo, se obtuvo significancia estadística entre las dosis de boro para el *Pinus radiata*, siendo superior la dosis de 5 g de bórax. En relación al crecimiento en altura, la especie *Pinus patula* obtuvo una mayor altura promedio (15,80 m) con el T6 :120 g  $P_2O_5$ /10g bórax a pesar de no presentar significancia estadística. Además, el *Pinus pseudostrobus* mostró diferencias significativas entre las dosis de boro, siendo superior estadísticamente la dosis de 10 g de bórax. Finalmente, la altura promedio del *Pinus radiata* con el tratamiento T1: 40 g  $P_2O_5$ /5 g bórax fue estadísticamente superior que los demás tratamientos.

Palabras claves: Aplicación de abonos, crecimiento, *Pinus*, boro, fósforo.

## SUMMARY

The application of fertilizers has become more relevant in recent times due to its effect on tree growth. The study was carried out in pine plantations located in the hamlet of La Calzada, district of San Juan, Cajamarca, with the objective of evaluating the effect of the initial application of phosphorus and boron on the growth of three pine species at 27 years of age. established. A randomized complete block experimental design with 4 replications was used; being a complete factorial experiment, where  $P_2O_5$  was factor A and borax was factor B, making a total of 9 treatments. The population consisted of 24 plants per treatment, 216 per repetition and 864 per trial (for each species). The central part was sampled, evaluating the diameters at breast height (DBH) and the total heights. Regarding diameter growth (DAP), *Pinus patula* with T5: 80 g  $P_2O_5$ /10 g borax (23.6 cm) and *Pinus pseudostrobus* with T6: 120 g  $P_2O_5$ /10 g (26.46 cm) achieved a higher average compared to the other treatments, although both did not show statistical differences. However, there was statistical significance among the boron doses for *Pinus radiata*, with the 5 g borax dose being superior. In relation to height growth, *Pinus patula* obtained a higher average height (15.80 m) with T6: 120 g  $P_2O_5$ /10 g borax, despite not showing statistical significance. Additionally, *Pinus pseudostrobus* showed significant differences among the boron doses, with the 10 g borax dose being statistically superior. Finally, the average height of *Pinus radiata* with T1: 40 g  $P_2O_5$ /5 g borax was statistically superior to the other treatments.

Keywords: Application of fertilizers, growth, *Pinus*, boron, phosphorus.

## I. INTRODUCCIÓN

El territorio de Cajamarca abarca un área de 3 541 782 hectáreas de las cuales 124 615 hectáreas están cubiertas con plantaciones, que corresponde al 3,5 por ciento del territorio, siendo el segundo departamento con mayor área reforestada, después de Cusco (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre 2019). Entre las especies introducidas más usadas en este departamento se encuentran el pino (*Pinus spp.*) y eucalipto (*Eucalyptus spp.*), debido a su adaptación a estas zonas y a su rápido crecimiento.

Las plantaciones forestales en el Perú en la actualidad tienen una productividad que es relativamente baja, debido al deficiente manejo silvicultural, uso de semillas de baja calidad genética, la escasa aplicación de técnicas de mejoramiento de suelo y falta de criterios sólidos para la elección de sitios (Guariguata *et al.* 2017).

La productividad depende de una serie de factores ambientales que comprenden: radiación, agua y disponibilidad de nutrientes. Dependiendo de su composición, los suelos difieren en su capacidad para proveer los diferentes nutrientes (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación 2002); contienen los elementos esenciales que la planta requiere para su reproducción. Siendo 16 elementos indispensables para el crecimiento, nueve de los cuales son requeridos en grandes cantidades o también llamados macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y micronutrientes como el hierro, cobre, cloro, manganeso, boro, zinc y molibdeno (Vásquez 2001); sin embargo, en la mayoría de los casos, no se encuentra en las cantidades suficientes, por lo que se hace necesario agregar los nutrimentos por medio de fertilizantes.

La fertilización ayuda tanto en el establecimiento de las plantaciones, en el prendimiento y desarrollo, como en un aumento de la productividad (Sotomayor *et al.* 2002). Las plantaciones que se establecen en la sierra del Perú no incluyen dentro de su manejo la incorporación de fertilizantes, debido al costo que implica, a la falta de información y difusión de los beneficios generados a largo plazo. Sin embargo, la experiencia también

demuestra que es necesario ajustar la fertilización a las demandas de la plantación y a las características de los diferentes sitios (Martínez 2001).

Por lo que el estudio busca contribuir al conocimiento de los requerimientos nutritivos de las especies estudiadas al proporcionar información relevante respecto al efecto de una fertilización realizada al inicio de las plantaciones de tres especies de pino.

Para ello se ha establecido como objetivo principal, evaluar el efecto de la aplicación de fósforo y boro al inicio de la plantación en el crecimiento de tres especies de pino con 27 años de edad, además, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la dosis de fósforo y boro aplicados que han generado un mayor crecimiento en altura en tres especies de pino con 27 años de establecimiento.
  
- Determinar la dosis fósforo y boro aplicados que han generado un mayor crecimiento diamétrico en tres especies de pino con 27 años de establecimiento.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ESPECIES

#### 2.1.1. *Pinus patula* Schltdl. & Cham.

La taxonomía de la especie es:

Reino: Plantae

División: Pinophyta

Clase: Pinopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*

Especie: *Pinus patula* Schltdl. & Cham.

Nombres comunes: Pino, pino pátula, pátula, pino llorón (Colombia). En el área de su distribución natural se denomina: pino chino, pino llorón mexicano, pino colorado, pino pátula, ocote macho, pino xalocote (Ospina *et al.* 2011).

El *Pinus patula* es un árbol de 20 a 55 m de altura y de 50 a 120 cm de diámetro, de fuste recto y corteza escamosa café rojizo, sobre todo en la parte superior del tronco. Su copa es piramidal y rala (Sáenz *et al.* 2011).

Es una especie de hábitat subtropical húmedo de la sierra Madre Oriental del eje Neovolcánico y de la sierra norte de Oaxaca, México (Del Castillo *et al.* 2004).

La especie alcanza su mejor desarrollo en suelos húmedos, profundos y bien drenados. En cuanto al suelo, la textura puede ser franca, arenosa o arcillosa, con pH entre 5,0 y 5,5. No se desarrolla bien en suelos poco profundos, debido a que tienen una baja retención de

humedad, especialmente en épocas secas. Además, la cantidad de fósforo en el suelo es una condición que limita su desarrollo (Ospina *et al.* 2011).

### 2.1.2. *Pinus radiata* D. Don

La taxonomía de la especie es:

Reino: Plantae  
División: Pinophyta  
Clase: Pinopsida  
Orden: Pinales  
Familia: Pinaceae  
Género: Pinus  
Especie: *Pinus radiata* D. Don

Nombres comunes: Todavía se le conoce como pino de Monterrey en los Estados Unidos de América y algunos otros países de habla inglesa como pino insigne o pino de Monterrey (Mead 2013).

Árbol entre 20 m a 30 m de altura, sus acículas se agrupan generalmente envainadas de tres en tres, característica que le diferencia de otras especies de pino que sólo tienen dos, son de color verde vivo y brillante, que dan a la copa un aspecto muy denso (Fernández y Sarmiento 2004).

Es oriundo de una estrecha faja costera de California, pero su cultivo se ha difundido ampliamente, encontrándose en países como Chile, Nueva Zelanda, Portugal, España y Argentina (Ferrere *et al.* 2015).

La especie prefiere suelos profundos y bien drenados (Mead 2013); además, fértiles (Asociación Civil para la Investigación y el Desarrollo Forestal 2011), de textura arenociliosa, no pedregosos. Las características nutricionales del sitio, las pendientes pronunciadas y la orientación de la ladera tienen un efecto importante en el desarrollo de los individuos de esta especie (Comisión Nacional Forestal 2001).

### 2.1.3. *Pinus pseudostrobus* Lindl.

La taxonomía de la especie es:

Reino: Plantae

División: Pinophyta

Clase: Pinopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Género: Pinus

Especie: *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Nombres comunes: pino, pino lacio se le conoce como pacingo y mocohtaj (lengua tojolobal), pino ortiguillo, pino blanco, pino triste, ocote, pino canís y pino real (Sáenz *et al.* 2011).

Árbol con altura de 15 m a 40 m, y un diámetro de 40 cm a 80 cm. Fuste recto, libre de ramas de 30 a 50 por ciento de altura. Las ramas a menudo son horizontales, copa espesa; corteza áspera, grisácea (Salazar *et al.* 2000).

La especie es originaria de México, Guatemala y Honduras; en latitudes que van de 14° N a 26° N (Sáenz *et al.* 2011). En México se encuentra distribuido a lo largo de las montañas del eje Neovolcánico en el centro de México (Vozzo 2010).

Crece en suelos profundos derivados de material volcánico, ácidos a moderadamente ácido (pH de 5,5 a 6,5); no crece en suelos con problemas de drenaje (Salazar *et al.* 2000). Suelos profundos de 1 a 3 metros con textura migajón-arenosa, areno-arcillosa (CONAFOR 2001).

## 2.2. CONCEPTOS DE CRECIMIENTO

Según Aldana (2008) el crecimiento es el aumento gradual de la planta que se produce por la actividad fisiológica y que está influenciado por factores internos (genéticos), externos (ecológicos) y por el tiempo.

Imaña y Encinas (2008) indican que el crecimiento de los árboles puede ser medido a través de cualquier característica medible como el diámetro, el área basal, la altura, el volumen, el peso, la biomasa y otros.

### **2.2.1. Diámetro**

El crecimiento en diámetro se refiere al aumento del diámetro de un árbol en un determinado periodo de tiempo, este crecimiento es denominado crecimiento secundario, este crecimiento está influenciado principalmente por la distribución espacial (Imaña y Encinas 2008).

Dicho crecimiento está influenciado por la actividad cambial (del cambium) del árbol, razón por la cual se puede registrar el crecimiento de un día y a veces de tiempos más cortos. Este crecimiento es más rápido en los primeros tiempos del período vegetativo atenuándose considerablemente a medida que este decrece (Aldana 2008).

El diámetro a la altura del pecho (DAP) se debe medir a 1,30 m del suelo en árboles normales en pie, rectos y en terreno plano, siendo la variable de mayor evaluación, debido a que es la dimensión más fácil de medir en los árboles; es sensitiva a los cambios ambientales y a la densidad del rodal; y está estrechamente relacionada con la altura total, el volumen del fuste, la biomasa del árbol y el tamaño de la copa, variables importantes y de difícil medición en árboles en pie (Cancino 2006).

### **2.2.2. Altura**

El crecimiento en altura se produce por la actividad de la yema apical o terminal, a través de la división celular, este crecimiento es llamado crecimiento primario. Esta variable, altura del árbol, produce la modificación más notoria del crecimiento (Imaña y Encinas 2008).

La altura es la longitud de la línea recta que va desde el suelo (base del fuste) hasta algún punto en el árbol. Por lo que según sea la posición de ese punto, se definen cinco alturas diferentes: i) altura total, medida entre el suelo y el extremo de la yema terminal del fuste (ápice); ii) altura fustal, medida entre el suelo y el punto donde comienza la copa (viva o muerta) del árbol; iii) altura comercial, medida entre el suelo y el punto donde el fuste tiene

un diámetro comercial definido; iv) altura de tocón, medida entre el suelo y la base del primer trozo; y v) altura de copa viva, medida entre el suelo y el inicio de la copa viva. Después del DAP, la altura es la variable más medida en los árboles, que se utiliza para caracterizar un rodal, estimar el volumen o determinar la calidad de sitio (Cancino 2006).

### **2.3. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES**

Arévalo y Castellano (2009) manifiestan que las plantas dependen de los nutrientes que se encuentran en el suelo para poder crecer, desempeñan funciones muy importantes en la vida de la planta y cuando están en cantidades insuficientes, pueden reducir notablemente su crecimiento. Algunos nutrientes son usados en mayor cantidad que otros, por lo que se clasifican en macro y micronutrientes. Del total de elementos esenciales para la planta, nueve son requeridos en grandes cantidades: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre; conocidos como macronutrientes o elementos primarios, siendo el nitrógeno y el fósforo los nutrientes más escasos en el suelo. Mientras que el cobre, hierro, manganeso, zinc y boro, son utilizados en pequeñas cantidades, denominados micronutrientes o elementos menores. No obstante, esto no significa que los micronutrientes sean menos necesarios para las plantas, la falta de uno de estos elementos menores en la nutrición de la planta, puede afectar de igual manera el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Los elementos más deficientes en los suelos de la franja tropical son el fósforo (P) y el nitrógeno (N), y en suelos de zona andina y de sabanas se han encontrado boro (B) como un factor limitante (Vásquez 2001).

El fósforo es un elemento que con frecuencia se presenta deficiente en muchos suelos ácidos de regiones tropicales, principalmente en Ultisoles y Andisoles; la causa principal se debe al grado de meteorización del suelo, su escasa movilidad, y al fenómeno de fijación de fósforo por las arcillas (Alvarado y Raigosa 2012).

La mayoría de las especies de *Pinus* necesitan de altos valores de fósforo (P) en el suelo durante los estadios juveniles. Esta demanda nutricional cae gradualmente hasta el cierre de las copas, luego se mantiene estable, con pequeñas fluctuaciones, hasta la cosecha de los árboles (Dalprá 2007).

Otro de los elementos esenciales para las plantas se encuentra el boro (B), el cual es comúnmente deficiente en los suelos forestales, siendo una de las primeras consecuencias el cese del crecimiento de las puntas de las raíces, seguido por el daño o muerte de los meristemas apicales. La deficiencia se puede encontrar en suelos derivados de cenizas volcánicas, como lo son los suelos de los andes y en suelos ácidos con bajo contenido de materia orgánica (Herrera 2003).

El boro está disponible para la planta en un rango de pH entre 5 - 7 y existe un estrecho rango entre deficiencia y toxicidad. El pH en las plantaciones podría ser un factor de la falta de boro en las plantaciones (Caldas 2019).

## **2.4. FERTILIZACIÓN**

Los fertilizantes son materiales que contienen nutrimentos para las plantas y se agregan a través del suelo, el agua o aspersiones foliares. Ejercen diversos efectos favorables sobre los árboles, como incrementar su crecimiento y productividad, mejorar la calidad de la madera y la sanidad de la plantación. También tienen un efecto positivo sobre el suelo mediante el mejoramiento y restitución de la fertilidad. Cuando los fertilizantes se utilizan en forma desproporcionada, pueden causar efectos negativos sobre el ecosistema, por lo que conocer los productos y su manejo es imperativo en un mundo que exige tecnologías de producción limpias. Entre los beneficios que se obtienen con el uso de fertilizantes en plantaciones forestales, Alvarado y Raigosa (2007) mencionan:

- Suplir deficiencias nutricionales de los árboles
- Restituir nutrimentos extraídos por la extracción de madera
- Mantener o mejorar la fertilidad del suelo
- Mejorar resistencia de los árboles a enfermedades
- Mejorar la calidad de la madera
- Incrementar la producción de madera
- Aumentar la rentabilidad

El objetivo de un programa de fertilización forestal es proporcionar suficientes nutrientes en las etapas de crecimiento cuando la demanda de nutrientes es alta (Moorhead y Dickens 2002).

Existen 2 clases de fertilizantes: los orgánicos y minerales. Los orgánicos se elaboran del material vegetal descompuesto o de excremento de animales. Los minerales generalmente son abonos industriales o químicos, por ejemplo, la cal, dolomita, el yeso y la roca fosfórica (Fondo Nacional del Ambiente 2007).

Las dosis de fertilizantes a utilizar deben tener en cuenta la demanda nutricional vinculada a una meta de productividad y el suministro de nutrientes relacionado con el análisis de suelo previo a la plantación del cultivo. Comprender bien la demanda de nutrientes según la especie forestal y fase del cultivo, así como el suministro de nutrientes según el sitio forestal, son aspectos que ayudan a entender mejor la respuesta a fertilizantes en cultivos forestales (Stahringer *et al.* 2017).

Un adecuado diagnóstico, mediante un análisis químico del suelo, previo al establecimiento de la plantación y posteriormente durante el desarrollo del rodal, indicará la necesidad, las dosis a utilizar y la rentabilidad de efectuar fertilizaciones preventivas y/o de apoyo, evitando pérdidas de crecimiento, así como la necesidad de efectuar fertilizaciones correctivas posteriores (Sotomayor *et al.* 2002).

Esta actividad se debe realizar en la fase de establecimiento de la plantación, es decir durante los primeros 3 años de la plantación (FONAM 2007). Generalmente existen tres épocas apropiadas para la fertilización: a la siembra o inmediatamente después de esta labor; al cerrarse la parte aérea del bosque (5 a 10 años de edad) cuando la demanda de nutrientes puede ser mayor que la capacidad del suelo para suplirlos y después del raleo (Dickens *et al.* 2003).

Existen diferentes formas de aplicar los fertilizantes, entre los cuales podemos mencionar las siguientes (Programa de desarrollo socio ambiental 2005):

- En fajas rectangulares, esta aplicación es paralela a los surcos o líneas de árboles.

- Mezclado con la tierra, aquí el fertilizante se mezcla con la tierra que se va utilizar para la siembra y luego se aplica.
- Al lado del árbol, se hacen hoyos de unos 15 o 20 centímetros de profundidad al lado de la planta y luego, se aplica el fertilizante.
- En bandas circulares, se hace alrededor a unos 20 o 25 centímetros del tallo de la planta.

#### **2.4.1. Elementos más usados en la fertilización**

Los macronutrientes son los elementos básicos en los programas de fertilización de la mayoría de los cultivos y generalmente son incluidos en las fórmulas completas de fertilizantes, las cuales se fabrican a partir nitrógeno, fósforo y potasio (N, P y K) como componentes principales. La fertilización balanceada de estos nutrientes tiene gran efecto en el rendimiento de los cultivos (Meléndez y Molina 2003).

El nitrógeno es habitualmente el nutriente más limitante para la producción, y por ello esta presente en todos los planes de fertilización, en el suelo va íntimamente ligado a la materia orgánica, siendo ésta el único reservorio importante de nitrógeno en el suelo. El nitrógeno se absorbe por parte de las plantas en la forma nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y en forma amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), en los fertilizantes, siempre se expresa en porcentaje en peso de nitrógeno (N %). El fósforo es el segundo nutriente en importancia, en suelos calizos, con pH elevado, está presente en el suelo predominantemente en forma de fosfato cálcico, muy poco soluble, de modo que puede llegar a ser el factor más limitante de la producción. Este se absorbe por parte de las plantas en la forma fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ); sin embargo, en una sustancia fertilizante se expresa habitualmente en forma de óxido fosfórico ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) (Andreu *et al.* 2006).

Por último, con excepción del nitrógeno, el potasio es el elemento absorbido en mayor cantidad por la mayoría de los cultivos. A pesar de que en muchos suelos el contenido de potasio total es muchas veces superior al potasio absorbido por las plantas, solo una pequeña fracción se encuentra disponible. De ahí que las necesidades de potasio son con frecuencia altas para satisfacer los requerimientos de los cultivos y establecer una nutrición balanceada. La riqueza de potasio en una sustancia fertilizante se expresa habitualmente en forma de óxido potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) (Meléndez y Molina 2003).

Otros nutrientes de mayor uso son los microelementos como el hierro, manganeso, zinc, boro, molibdeno y cobre que están disponibles comercialmente para aplicación en muchas formas, incluyendo como mejoras a las formas de las materias primas de los fertilizantes N, P y K (Arkema 2021).

Sólo la combinación de fertilizantes que aporten distintos elementos esenciales, serán capaces de cubrir las necesidades nutricionales de un cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento (Villablanca y Villavicencio 2010).

#### **2.4.2. Fósforo**

La fertilización fosfórica realizada durante la siembra o inmediatamente después de ésta, puede representar la diferencia entre tener una plantación rentable o tener una plantación en malas condiciones (Dickens *et al.* 2003). La respuesta del fósforo dura entre 15 a 20 años (Moorhead y Dickens 2002).

Los signos más característicos y generales de una deficiencia de fósforo son: a) la planta presenta un tamaño reducido; retraso en el desarrollo y la maduración, b) las hojas adquieren un color verde muy fuerte y, en ocasiones, puede llegar a aparecer un tono púrpura en diferentes partes de las hojas, en el tallo y en las ramas (Meléndez y Molina 2003).

Los fertilizantes de fósforo incluyen los fosfatos solubles en agua (superfosfatos y amonio fosfatos), las rocas fosfóricas insolubles y las mezclas de superfosfatos y rocas fosfatos.

Los superfosfatos se fabrican haciendo reaccionar roca fosfórica con ácido sulfúrico para convertir el fósforo en la forma de fosfato más fácilmente disponible. El superfosfato simple es el más usado, ya que proporciona azufre además de fósforo. El superfosfato triple, hecho por reacción de roca fosfórica con ácido fosfórico, se utiliza más comúnmente en la silvicultura debido a su mayor concentración de fósforo que reduce los costes de transporte y distribución. Así mismo, se puede utilizar roca fosfórica en suelos ácidos (pH del suelo inferior a 6) para proporcionar una forma de liberación lenta de fosfato, dando una respuesta a más largo plazo que los superfosfatos (Davis *et al.* 2010); estas son de solubilización lenta y necesitan agua alrededor de las partículas para permitir que los productos de la disolución se muevan por difusión lejos de las partículas de la roca fosfórica en el volumen del suelo,

por lo que un suministro adecuado de agua promoverá el crecimiento de las plantas y la absorción del fósforo por las raíces resultando en un aumento de la eficiencia. Además, diversos experimentos han mostrado que las rocas fosfóricas son más eficaces cuando se aplicaban a plantaciones en suelos ácidos tropicales (FAO 2007); siendo entre los factores de suelo determinantes para su absorción la acidez (Castro y Melgar 2018).

La roca fosfórica ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) es un abono simple fosfatado extraído de yacimientos, compuesto por 30 por ciento de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Beltrán *et al.* 2019), su utilidad varía con el cultivo, en general su efectividad es mayor en cultivos de largo plazo o perennes que en cultivos de corto plazo o anuales (Chien *et al.* 2011).

La forma más apropiada de aplicar un fertilizante en base a fósforo es en el fondo del hoyo de siembra, cubriendo con una capa de suelo antes de colocar la planta, de esta manera el fertilizante queda muy localizado y con poco contacto con el suelo, disminuyendo las pérdidas por fijación. Esta práctica también es recomendada en terrenos con pendientes moderadas o altas, en donde la aplicación superficial del fertilizante podría ser susceptible de perderse por el agua de escorrentía superficial (Alvarado y Raigosa 2012).

### **2.4.3. Boro**

La aplicación anticipada y preventiva de boro es importante, para evitar la deficiencia, que aparece primero como un crecimiento anormal o retardado de los puntos apicales de crecimiento y a mediada que progresa los puntos terminales mueren (Mengel y Kirkby 2000).

Un aspecto general de la deficiencia en el boro es el mal desarrollo de los tejidos meristemáticos, tanto en la raíz como en los brotes. Los primeros síntomas reflejan dificultades en la división y el desarrollo celular. Las células se dividen, pero la separación no se produce correctamente, con lo cual se presenta un desarrollo incompleto e irregular de las hojas, que aparecen distorsionadas, y una falta de elongación de los entrenudos.

En la raíz, el boro es requerido, primeramente, para la elongación de las células y, posteriormente, para la división de las mismas (Alarcón 2001).

Para lograr un incremento adicional en el crecimiento debe recurrirse a la fertilización no solo con boro si no con otros elementos, principalmente de fósforo y nitrógeno (Schlatter y Gerding 1984), donde han obtenido en plantaciones de pino al cabo de dos años un aumento del 48 por ciento en el crecimiento en altura (Vásquez 2001). Además, el boro actúa como un catalizador para la mayoría de los nutrientes (Barbier 2018).

Entre los fertilizantes más usados como fuente de boro se encuentran el mineral ulexita que contiene borato de sodio soluble en agua y borato de calcio insoluble en agua, por lo tanto, proporciona formas de boro de liberación rápida y lenta; el bórax (borato de sodio) y colemanita (borato de calcio) que también se ha venido utilizando siendo estos más solubles. Se debe tener cuidado al aplicar fertilizantes de boro, ya que altas tasas causan toxicidad, especialmente en suelos de grava de drenaje libre (Davis *et al.* 2010).

El bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), Borato de sodio o Tetraborato de sodio es un compuesto importante del boro, un cristal blanco y suave que se disuelve fácilmente en agua compuesto por 11 por ciento de boro (Pacheco 2011). La fertilización boratada, se aplica mediante incorporación de este elemento de forma sólida en el suelo o en soluciones foliares (Rojas 2004).

La deficiencia de boro en sistemas forestales ha sido reportada en diferentes especies de pino y eucalipto, verificándose importantes mejoras en la producción y/o calidad de madera, con el agregado de este nutriente. La baja retranslocación dentro de la planta hace necesario un aporte constante para satisfacer las demandas del cultivo (Ferrando y Zamalvide 2012).

## **2.5. EXPERIENCIAS DE FERTILIZACIÓN EN PINO**

La fertilización en pinos se ha incrementado apreciablemente desde la década de los años 60 (Dickens *et al.* 2003), desarrollándose a partir de allí como práctica silvícola operativa. El despliegue operativo se vio obstaculizado por una incapacidad para identificar con precisión sitios y rodales que respondieran consistentemente a la fertilización. Un gran avance ocurrió con el descubrimiento de respuestas de crecimiento en *Pinus elliottii* después de adiciones de fósforo en suelos arcillosos, mal drenados en Florida. Se lograron respuestas de crecimiento en estos sitios cuando se aplicaron aproximadamente 50 libras por acre de fósforo al momento de la siembra (Rauscher y Johnsen 2014).

Gerding *et al.* (1986) realizaron ensayos de fertilización en el establecimiento de *Pinus Radiata* con diferentes mezclas de fertilizantes. En los resultados de crecimiento a los 3 años, obtuvieron mejores valores en altura y diámetro aquellos individuos con fertilizantes compuestos por fósforo y boro (8 g superfosfato y 5 g boronatrocalcita).

Trazzi *et al.* (2019) en un estudio de la respuesta de la fertilización en el crecimiento inicial de *Pinus taeda*, con diferentes tratamientos compuestos por diversas dosis de fertilizantes aplicados al momento de la siembra, la respuesta del crecimiento fue superior estadísticamente en aquellas dosis con presencia de boro dentro de su composición frente a otros que no lo contenían.

Herrera (2003) realizó un ensayo de fertilización en la que la dosis se aplicó por planta en dos hoyos localizados lateralmente siguiendo la curva de nivel y con una distribución equitativa en cada uno de ellos, los cuales tenían una profundidad de 20 a 30 cm. Sus resultados a los 40 meses mostraron una altura promedio superior con una dosis 5 g de bórax en *Pinus radiata*.

Llanos (2006) indica que un estudio de fertilización de *Pinus radiata* al momento de la instalación, a la mitad de los árboles se les aplicó 5 g de bórax y a la otra no. Los resultados mostraron que a los 7 años aquellos individuos a los cuales se les aplicó obtuvieron mejores resultados en altura con una diferencia del 70 por ciento.

Sáenz *et al.* (2011) manifiestan que en un estudio de fertilización en una plantación de *Pinus pseudostrobus* se empleó como fuente de fósforo al superfosfato triple y de acuerdo a los resultados en altura obtenidos a los 36 meses recomienda adicionar una dosis de 100 g de superfosfato triple (equivalente a 45,9 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

León *et al.* (2016) en un estudio realizado a largo plazo (hasta los 41 años) en *Pinus caribaea* indica que una dosis de 300 g/árbol de fertilizante es insuficiente (NPK: 8-10-10, equivalente a 30 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y es perjudicial para el crecimiento y desarrollo de la plantación.

Dickens *et al.* (2003) indican que una fertilización a la siembra o inmediatamente después con 130 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea puede incrementar apreciablemente el crecimiento del pino (equivalente 117 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / planta), pudiendo durar la respuesta de 10 a 15 años o más.

Álvarez *et al.* (1999) en un ensayo de fertilización con diferentes dosis de fósforo y boro en plantaciones de pinos radiata obtuvieron a los 12 y 24 meses índices de biomasa superiores estadísticamente ( $D^2 \times H$ ) con fertilizaciones fosforadas y bóricas de 200 g  $P_2O_5$  y 20 g de boranatrocalcita (14 por ciento de boro).

Davis *et al.* (2010) recomiendan una dosis de 4 g de bórax para el *Pinus radiata* al momento de la siembra.

Sotomayor *et al.* (2002) afirman que en general es conveniente agregar boro en forma preventiva en el *Pinus radiata*, para evitar malformaciones apicales y que se deben tener precauciones ya que un exceso de boro puede ser tóxico para las plantas.

Fox *et al.* (2007) afirman que en suelos arcillosos húmedos de la Llanura Costera inferior y en algunos suelos bien drenados de la Llanura Costera superior al sur de Estados Unidos, existen deficiencias severas de fósforo por lo que una fertilización con 25 a 50 libras de fósforo por acre (equivalente 57,27-114,56 g  $P_2O_5$ /planta) en el momento de la siembra, produce un sostenido crecimiento en las plantaciones, con 50 pies cúbicos por acre por año.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Ubicación

Las plantaciones se encuentran dentro del área perteneciente a La Sociedad Agrícola de Interés Social (SAIS) José Carlos Mariátegui, distrito de Jesús, provincia y departamento de Cajamarca, entre las coordenadas 7° 19' 56'' latitud Sur, 78° 22' 10'' longitud Oeste y 7° 19' 51'' latitud Sur, 78° 22' 3'' longitud Oeste (Figura 1), a una altitud promedio de 3600 msnm (ADEFOR 1992).

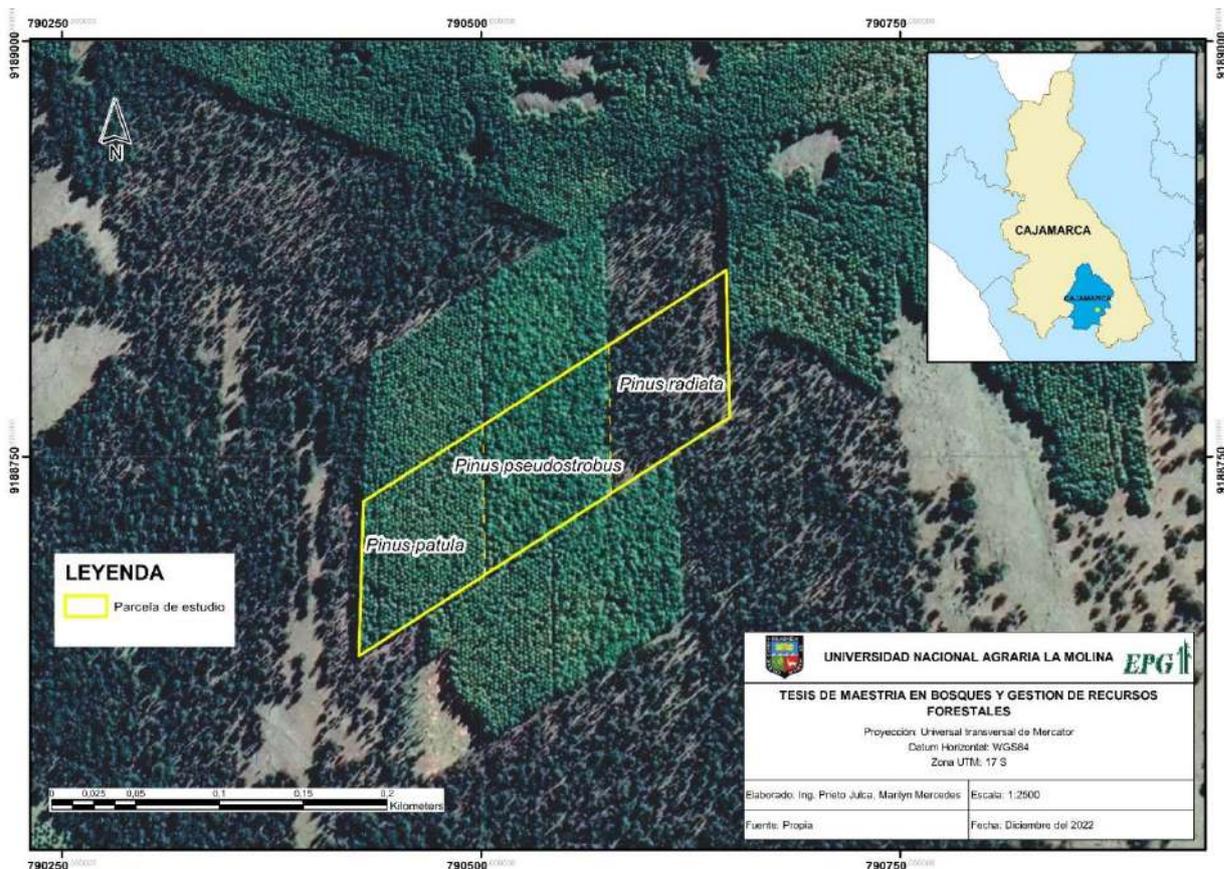


Figura 1. Ubicación del área de estudio

### **3.1.2. Clima y suelo**

Tiene un clima húmedo y frío, con temperaturas que oscilan entre los 7 °C y 13 °C. El suelo tiene una textura franca, muy fuertemente ácido (Ph 4,37) y empinado (30 a 45 por ciento), con una profundidad de 60 a 120 cm (ADEFOR 1992).

Según la clasificación en regiones geodáficas de la FAO y las características del suelo corresponde a un suelo tipo Paramosol siendo la fertilidad natural de estos suelos baja, con niveles medios de nitrógeno total, bajos a medios en fósforo y medios en potasio disponible. Además, tienen buen drenaje, alta capacidad de retención de humedad y presentan una permeabilidad moderada (Poma y Alcántara 2012).

### **3.1.3. Antecedentes de la plantación**

El experimento fue diseñado y establecido en el año 1992 por ADEFOR.

Las plantas de pino empleadas fueron producidas en el vivero de la misma institución, bajo un sistema de producción a raíz desnuda y se extrajeron para llevarlas a campo definitivo cuando habían cumplido 1 año edad y una altura promedio de 30 cm.

Se instalaron las plantaciones con las especies *Pinus patula*, *Pinus radiata* y *Pinus Pseudotrobus*; en un área de 1,89 hectáreas con un sistema de plantación de tresbolillo, a un distanciamiento entre plantas de 2,75 m x 2,75 m. Los hoyos tenían una dimensión de 30 x 30 x 30 cm.

La aplicación del fertilizante se realizó simultáneamente con la plantación, en el fondo del hoyo, cubriéndolo con una capa de 5 cm de espesor. Se fertilizó con fósforo (P) y boro (B); la fuente de P fue roca fosfórica y la fuente de B fue el bórax. El P estuvo expresado como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y no como producto comercial: mientras que el B fue el mismo producto comercial (bórax).

Después de la aplicación de los fertilizantes la plantación no recibió ningún manejo como podas o raleos.

**Tabla 1. Factores del experimento**

Factores	Código	
Fósforo - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (P)	P <sub>1</sub>	40 g
	P <sub>2</sub>	80 g
	P <sub>3</sub>	120 g
Bórax- (B)	B <sub>1</sub>	5 g
	B <sub>2</sub>	10 g
	B <sub>3</sub>	15 g

Fuente: Adaptado de ADEFOR (1992)

## 3.2. MATERIALES Y EQUIPO

### Materiales

- Libreta de campo
- Lápiz
- Borrador
- Tajador
- Cinta métrica

### Equipos

- Relascopeo de Bitterlich
- Receptor GPS marca Garmin 64S
- Cámara fotográfica marca CANON
- Laptop marca Toshiba

## 3.3. METODOLOGÍA

### 3.3.1 Diseño experimental

El diseño planteado se definió de acuerdo a experiencias anteriores en ADEFOR, tal como se muestra en el plano de distribución del experimento (Figura 2). Las plantaciones se establecieron usando un diseño experimental de bloques completos aleatorios con 4

repeticiones; siendo un experimento factorial completo, donde el  $P_2O_5$  s fue el factor A con tres dosis de aplicación (40; 80 y 120 g por planta) y el bórax el factor B con tres dosis de aplicación (5; 10 y 15 g por planta) (Tabla 1) haciendo un total de 9 tratamientos (Tabla 2). La población para cada especie estuvo formada por 864 individuos, 24 por tratamiento y 216 por bloque.

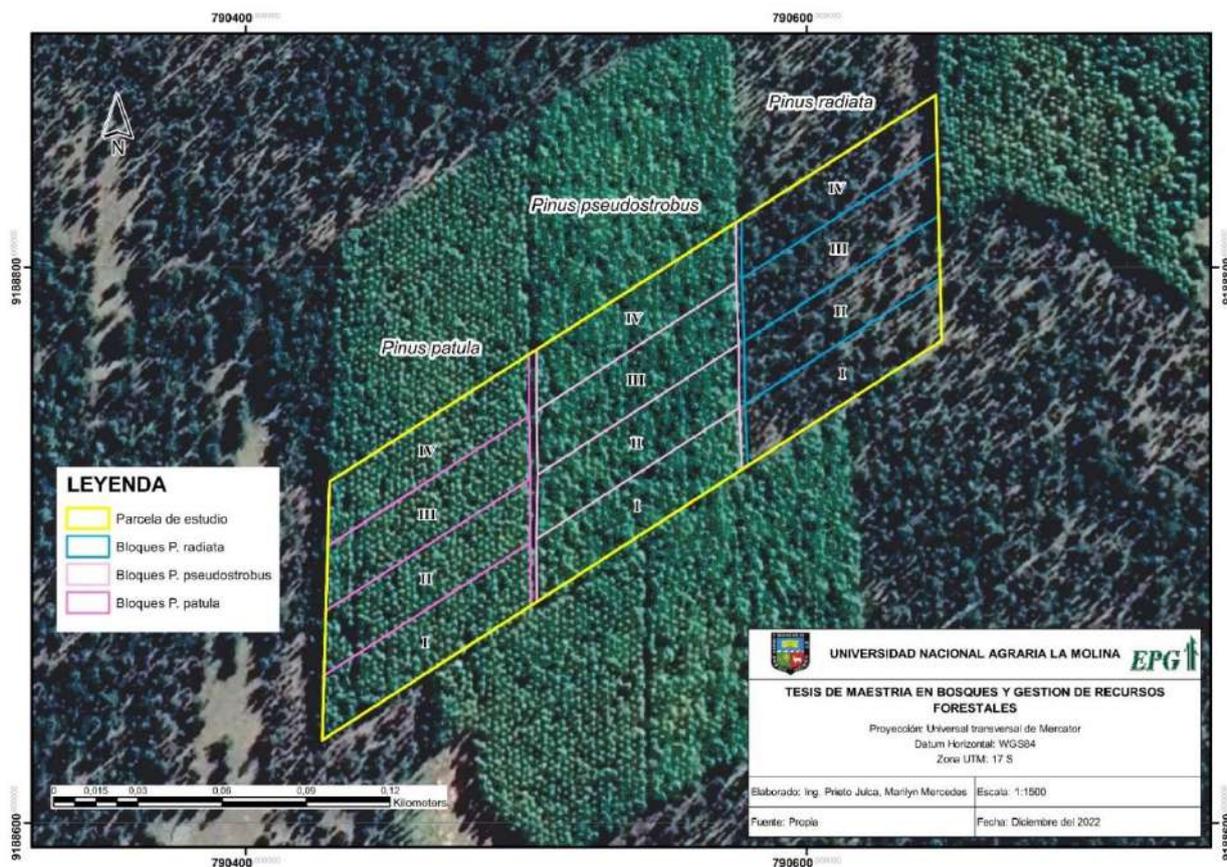


Figura 2. Plano de distribución del experimento

**Tabla 2. Dosis aplicadas por tratamiento**

Tratamiento	Código	Dosis (g/ planta)
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / Bórax
T1	P <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	40/5
T2	P <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	80/5
T3	P <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	120/5
T4	P <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	40/10
T5	P <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	80/10
T6	P <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	120/10
T7	P <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	40/15
T8	P <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	80/15
T9	P <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	120/15

Fuente: Adaptado de ADEFOR (1992)

T10: Tratamiento testigo

El modelo aditivo lineal para del diseño es:

$$Y = \mu + \alpha i + \beta j + (\alpha\beta)ij + \gamma k + \varepsilon ij$$

Dónde:

**Y**: es el valor o rendimiento observado.

**μ**: es el efecto de la media general.

**αi**: es el efecto del i-ésimo nivel del factor P (Fósforo).

**βj**: es el efecto del j-ésimo nivel del factor B (Boro).

**(αβ)ij**: es el efecto de la interacción (Factor P x Factor B).

**εij**: es el error experimental

### 3.3.2. Descripción de la investigación

#### a. Fase de campo

##### - Identificación de los bloques y tratamientos

La evaluación se realizó en la época de estiaje. En el área de las plantaciones, se ubicaron los ensayos mediante el uso del receptor GPS, para cada especie en estudio. Una vez ubicada

las plantaciones por especie se identificó los tratamientos por bloque según el croquis de distribución (Figura 2).

- **Identificación de las especies**

Las especies previamente identificadas e instaladas por ADEFOR fueron encontradas en campo, pudiendo corroborar mediante las siguientes características: forma del fuste, color, copa, hojas, entre otras, según las descripciones morfológicas de cada una de las especies (Rodríguez y Rodríguez 1981; Del Castillo *et al.* 2004; Sáenz *et al.* 2011).

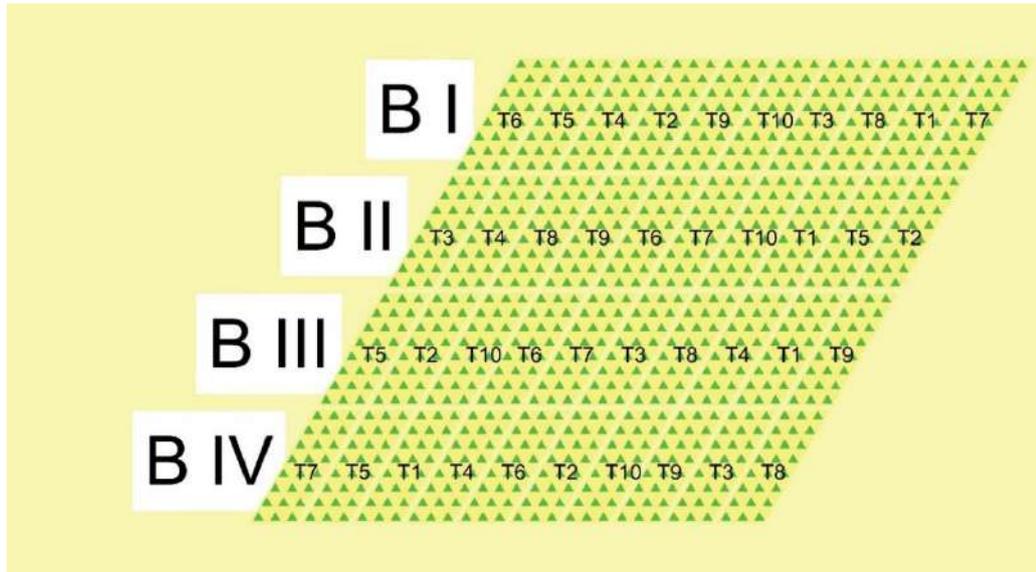
- **Identificación de los individuos**

Para evitar el doble conteo se procedió a desprender una parte de la corteza del fuste y se colocó una marca con el número de tratamiento correspondiente. Al término de las mediciones se realizó una verificación en toda el área del ensayo para comprobar que ningún árbol fuera omitido.

- **Toma de datos dasométricos**

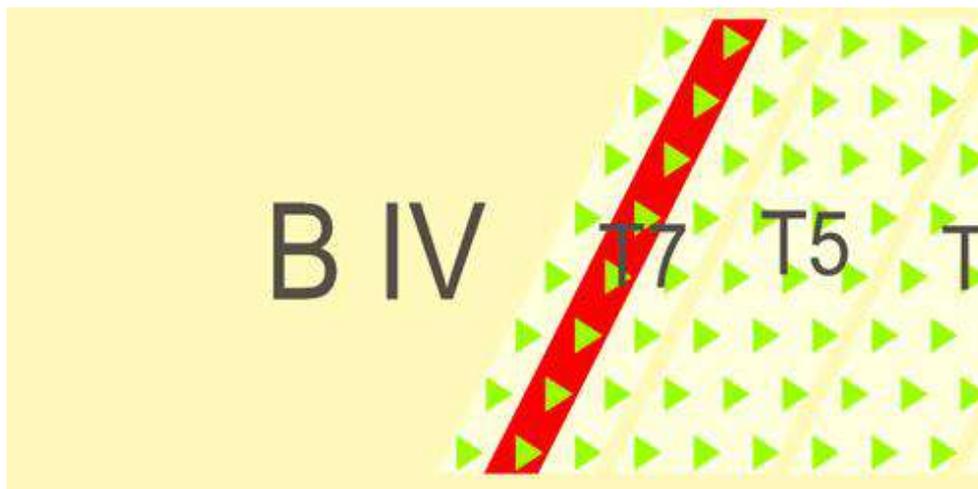
En cada tratamiento se instaló en 3 hileras de 8 individuos (24 plantas) y se evaluó la parte central (Figura 3) para evitar el efecto de borde. Se midieron los siguientes parámetros en las unidades muestrales:

- Altura total se midió usando un relascopeo de Bitterlich, desde la superficie hasta el ápice, a una distancia de 10 m.
- Circunferencia a 1,30 m del suelo (CAP) en centímetros con una cinta métrica.



**Figura 3. Croquis de la distribución de los tratamientos**

Fuente: Adaptado de ADEFOR (1992)



**Figura 4. Evaluación en campo**

Fuente: Adaptado de ADEFOR (1992)

**b. Fase de gabinete**

Con los datos obtenidos en campo se generó una tabla de Excel con las variables altura total, y diámetro a la altura del pecho. Se calculó el diámetro a la altura del pecho de los árboles (DAP) a partir del CAP. Luego se procedió a hacer el análisis estadístico para ver la relación entre las variables.

### **c. Análisis estadístico**

Los datos procesados fueron evaluados con el *Software* estadístico RSTUDIO y se analizó como factorial de 3 x 3 con diseño de bloques completos al azar (DBCA). Donde la fuente con  $P_2O_5$  fue el factor P (40 g, 80 g y 120 g) y el bórax fue el factor B (5 g, 10 g y 15 g). Sometidos a un análisis de varianza (ANVA) y de encontrarse diferencias significativas (95 por ciento) se realizó una prueba de Tukey.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. EVALUACIÓN DEL DIÁMETRO POR ESPECIE

#### 4.1.1. *Pinus patula*

El análisis de variancia (ANVA) para el parámetro diámetro de la altura del pecho (DAP) de la especie *Pinus patula* nos muestra que no existe significación estadística para los tratamientos en estudio, en la que no se observa una interacción entre las diferentes dosis de boro y fósforo ni con cada uno de ellos; puesto que la F calculada no supera a la F tabular al nivel 0,05 de probabilidad, lo cual nos indica que los promedios de los tratamientos compuestos por boro y fósforo no difieren uno del otro. Además, al comparar todos los tratamientos con dosis de fósforo y boro con el testigo tampoco se mostró diferencias significativas.

A pesar de no encontrarse diferencia significativa entre los diferentes tratamientos, es visible que el tratamiento T5 (80 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10 g bórax) logró en promedio un mayor valor de DAP con 23,26 cm (Figura 5).

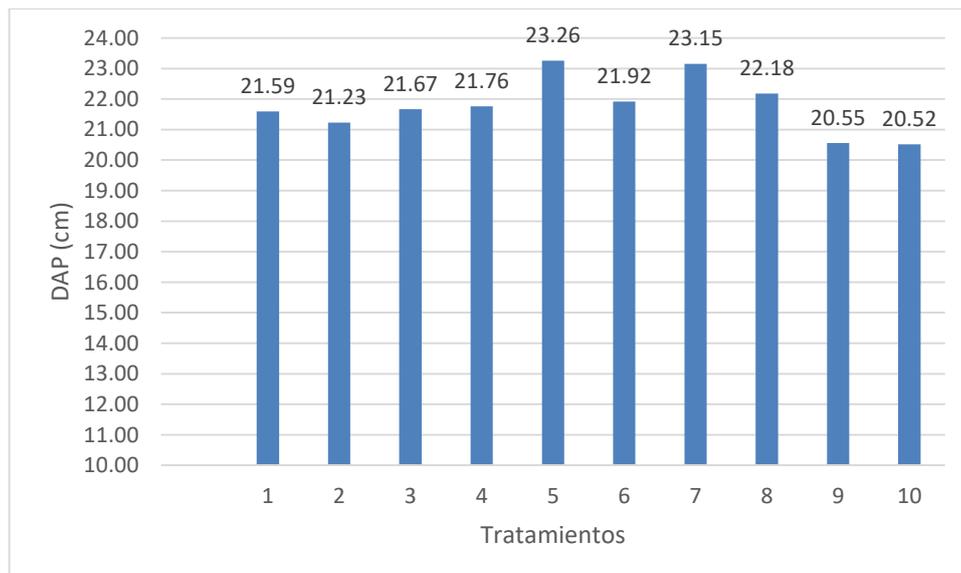
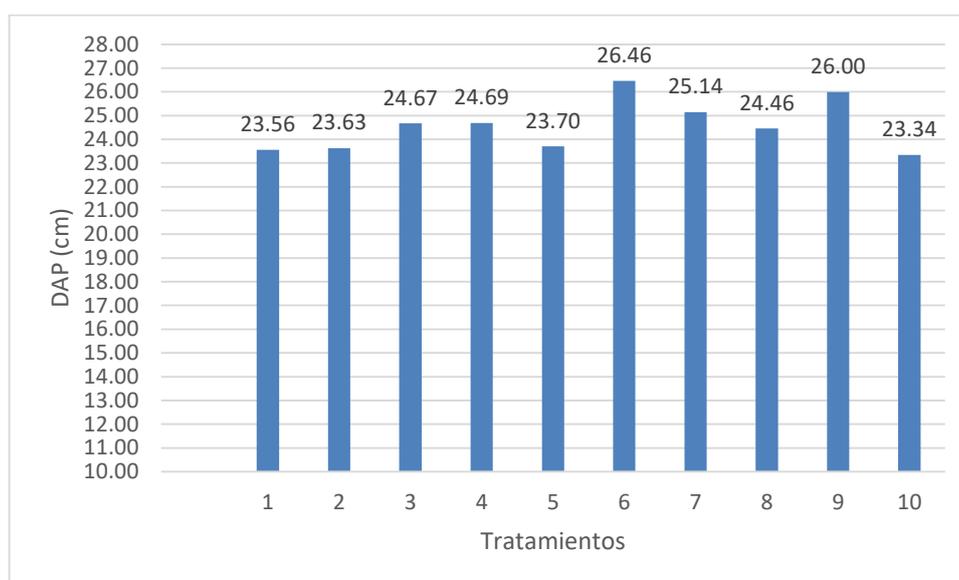


Figura 5. DAP promedio de los tratamientos (T1-T10) en *Pinus patula*

#### 4.1.2. *Pinus pseudostrobus*

En el caso de la especie *Pinus pseudostrobus* al realizar el análisis de variancia (ANVA) se encontró que no existe significación estadística para los tratamientos en estudio, en la que no se muestra una interacción entre las diferentes dosis de boro y fósforo ni con cada uno de ellos; puesto que la F calculada no supera a la F tabular al nivel 0,05 de probabilidad, lo cual nos indica que los promedios de los tratamientos compuestos por boro y fósforo no difieren uno del otro. Al comparar todos los tratamientos con dosis de fósforo y boro con el testigo tampoco se mostró diferencias significativas.

A pesar de no encontrarse diferencia significativa entre los diferentes tratamientos, es visible que el tratamiento T6 (120 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10 g bórax) obtuvo en promedio el mayor valor de DAP con 26,46 cm (Figura 5).

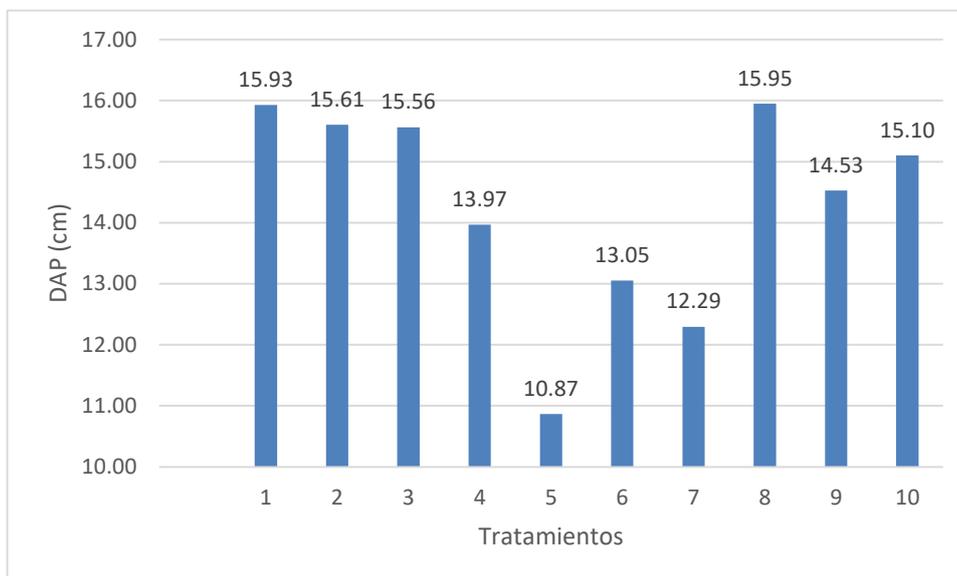


**Figura 6. DAP promedio de los tratamientos (T1-T10) en *Pinus pseudostrobus***

#### 4.1.3. *Pinus radiata*

En el caso de la especie *Pinus radiata* al realizar el análisis de varianza (ANVA) se encontró que no existe significación estadística para los tratamientos en estudio, por lo que no se muestra una interacción entre las diferentes dosis de boro y fósforo; sin embargo si hay significancia para uno de los factores que es el boro, puesto que la F calculada supera a la F tabular al nivel 0,05 de probabilidad, lo cual nos indica que los promedios de los tratamientos compuestos por

boro difieren uno del otro. Además, al comparar todos los tratamientos con dosis de fósforo y boro con el testigo tampoco se mostró diferencias significativas; sin embargo, numéricamente el T8 (80 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/15 g bórax) alcanzó el mayor valor de altura total con 15,95 cm (Figura 6).



**Figura 7. DAP promedio de los tratamientos (T1-T10) en *Pinus radiata***

Al encontrar diferencias significativas en las dosis de boro en los diferentes tratamientos se realizó la prueba de tukey al 5 por ciento de probabilidades, en la que se observa (Tabla 3) que los resultados de DAP con los tratamientos con las dosis de 5 g de bórax son superiores estadísticamente seguido por la dosis de 10 g y la dosis de 15 g es estadísticamente igual a la de 5 g y 10 g.

**Tabla 3. Prueba de Tukey al 5 por ciento para los promedios de DAP con dosis de boro en *Pinus radiata***

Dosis de Boro (g)	DAP (cm)	Grupos
5	14,43037	a
15	12,96040	ab
10	11,42021	b

Con respecto al crecimiento diametral, las especies de *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus* respondieron mejor a las dosis de 10 g de bórax y en el caso del *Pinus radiata* a la de 5 g (existiendo diferencia significativa), muy cercano a lo indicado por Davis *et al.* (2010) que recomienda una dosis de 4 g de bórax en la instalación. Por otro lado, *Pinus patula* y *Pinus radiata* obtuvieron diámetros promedios superiores con la dosis de 80 g de fósforo ( $P_2O_5$ ), mientras que *Pinus pseudostrobus* con 120 g, esto en relación a lo indicado por Fox *et al.* (2007) que afirman que en suelos arcillosos húmedos de la Llanura Costera inferior y en algunos suelos bien drenados de la Llanura Costera superior al sur de Estados Unidos, donde existen deficiencias severas de fósforo, una fertilización con 25 a 50 libras de fósforo por acre (equivalente 57,27-114,56 g  $P_2O_5$ /planta) en el momento de la siembra, produce un sostenido crecimiento.

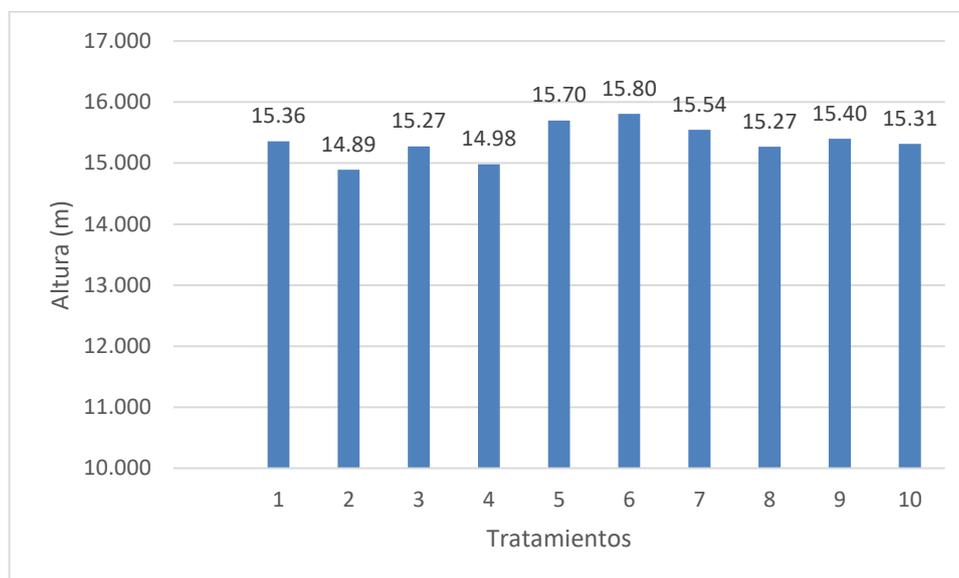
De las tres especies de pino evaluadas tuvo mayor crecimiento en diámetro el *Pinus pseudostrobus*; sin embargo, el crecimiento de *Pinus radiata* fue menor en comparación a demás especies, el cual pudo estar limitado por el pH del suelo (fuertemente ácido) en correspondencia a lo indicado por Schlatter (1974); además, Carton y Chavéz (2018) indican que los bajos volúmenes de esta especie en Cajamarca se deben a la mala calidad de semilla, sin embargo en bosques instalados en mejores condiciones ambientales y debidamente raleados a temprana edad obtienen una mayor producción, esto debido a que es una especie exigente en nutrientes.

## **4.2. EVALUACIÓN DE LA ALTURA TOTAL POR ESPECIE**

### **4.2.1. *Pinus patula***

El análisis de variancia (ANVA) para el parámetro altura total de la especie *Pinus patula* se encontró que no existe significación estadística para los tratamientos en estudio, en la que no se muestra una interacción entre las diferentes dosis de boro y fósforo ni con cada uno de ellos; puesto que la F calculada no supera a la F tabular al nivel 0,05 de probabilidad, lo cual nos indica que los promedios de los tratamientos compuestos por boro y fósforo no difieren uno del otro. Además, al comparar todos los tratamientos con dosis de fósforo y boro con testigo tampoco se mostró diferencias significativas.

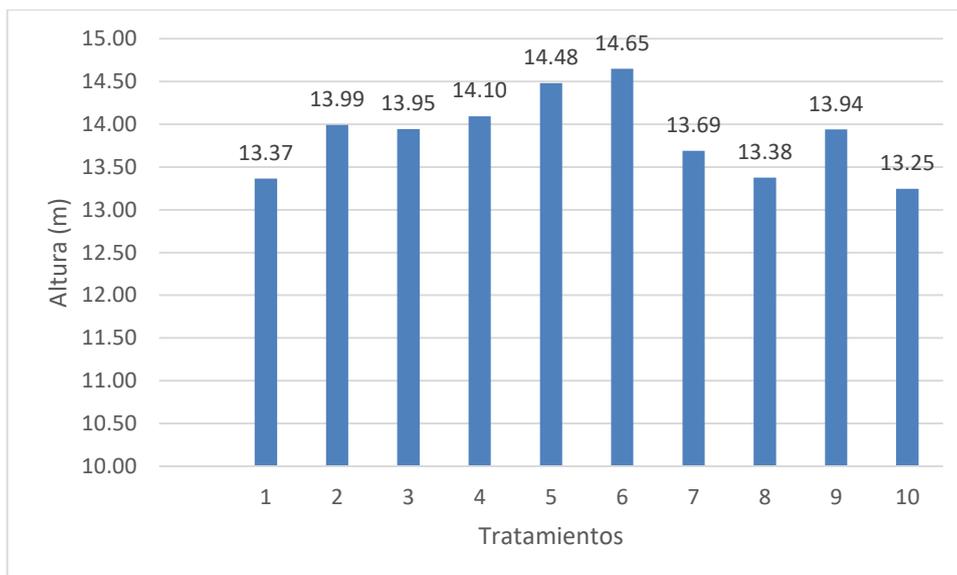
A pesar de no encontrarse diferencia significativa entre los diferentes tratamientos numéricamente el tratamiento T6 (120 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10 g bórax) obtuvo el mayor promedio en altura con 15,80 m (Figura 7).



**Figura 8. Altura total promedio en los diferentes tratamientos (T1-T10) en *Pinus patula***

#### **4.2.2. *Pinus pseudostrobus***

En el caso de la especie *Pinus pseudostrobus* al realizar el análisis de varianza (ANVA) se observó que no existe significación estadística para los tratamientos en estudio; sin embargo, si presentó una significancia para uno de los factores que es el boro, puesto que la F calculada supera a la F tabular al nivel 0,05 de probabilidad, lo cual nos indica que los promedios de los tratamientos compuestos por boro difieren uno del otro. Además, al comparar todos los tratamientos con dosis de fósforo y boro con el testigo tampoco se mostraron diferencias significativas; sin embargo, numéricamente el tratamiento T6 (120 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10 g) alcanzó el mayor valor de altura total con 14,65 m (Figura 8).



**Figura 9. Altura total promedio en los diferentes tratamientos (T1-T10) en *Pinus pseudostrobus***

Al encontrar diferencias significativas en las dosis de boro en los diferentes tratamientos se realizó la prueba de tukey al 5 por ciento de probabilidades, en la que se observa (Tabla 4) que los resultados en la altura total con los tratamientos con la dosis de 10 g de bórax son superiores estadísticamente a los que poseen la dosis de 5 g y 15 g.

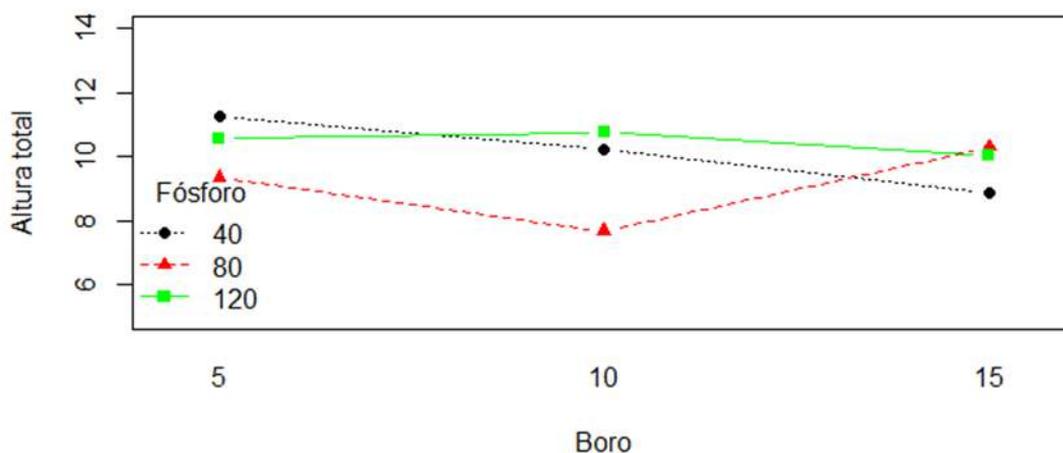
**Tabla 4. Prueba de Tukey al 5 por ciento para los promedios de altura total con dosis de boro en *Pinus pseudostrobus***

Dosis de Boro (g)	Altura total (m)	Grupos
10	14,41005	a
5	13,76827	b
15	13,66983	b

#### 4.2.3. *Pinus radiata*

Al realizar el análisis de varianza (ANVA) para la especie *Pinus radiata* se encontró que existe significación estadística para los tratamientos en estudio, en la que se muestra una interacción entre las diferentes dosis de boro y fósforo; además de ser significativo para el boro, puesto que la F calculada supera a la F tabular al nivel 0,05 de probabilidad, lo cual nos indica que

los promedios de los tratamientos difieren uno del otro. Sin embargo, al comparar todos los tratamientos con dosis de fósforo y boro incluyendo el testigo no mostró diferencias significativas.

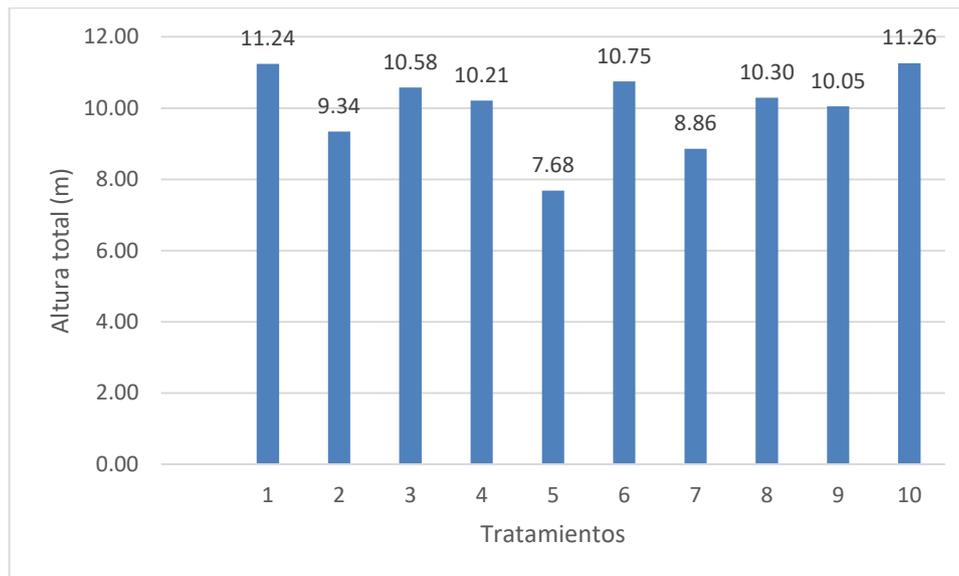


**Figura 10. Gráfica de interacción en *Pinus radiata***

Al encontrar diferencias significativas en la interacción entre las diferentes dosis de boro y fósforo se realizó la prueba de tukey al 5 por ciento de probabilidades, en la que se observa (Tabla 5) que los el tratamiento T1 (40 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/5 g bórax) es superior estadísticamente a los demás tratamientos.

**Tabla 5. Prueba de Tukey al 5 por ciento para los promedios de altura total en los tratamientos en *Pinus radiata***

Tratamiento	Dosis (g/ planta)	Altura total (m)	Grupo
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / Bórax		
T1	40/5	11,24	a
T6	120/10	10,75	ab
T3	120/5	10,58	ab
T8	80/15	10,30	ab
T4	40/10	10,21	ab
T9	120/15	10,05	ab
T2	80/5	9,34	abc
T7	40/15	8,86	bc
T5	80/10	7,68	c



**Figura 11. Altura total promedio en los diferentes tratamientos (T1-T10) en *Pinus radiata***

Los resultados corresponden a lo encontrado por Gerding *et al.* (1986) quien al realizar pruebas con diferentes mezclas de fertilizantes en el establecimiento de *Pinus radiata*, en suelos profundos, ácidos, de textura media a fina, pero con deficiencia en nutrientes como fósforo, obtuvieron mejores resultados en altura aquellos individuos con fertilizantes compuestos por fósforo y boro. Así mismo, en otro estudio sobre fertilización de *Pinus taeda* al momento de la siembra en suelos ácidos con deficiencias de nutrientes, se logró un crecimiento inicial (diámetro y altura) superior frente a otros que no presentaban boro en su composición (Trazzi *et al.* 2019).

Con respecto al crecimiento en altura de las diferentes especies, el *Pinus patula* y *Pinus pseudostrabus* respondieron mejor a las dosis de 10 g de bórax, siendo estadísticamente significativo para el caso del segundo. Dicha dosis es inferior a la recomendada por Sáenz *et al.* (2011) en suelos con déficit de boro para la especie de *Pinus patula* (15 g/ planta). En cuanto al *Pinus radiata* logró mejores resultados con menores dosis de 5 g de bórax, esto último se reafirma con los resultados obtenidos por Herrera (2003) quien obtuvo un promedio en altura superior con dicha dosis en suelos arenosos derivados de material volcánico, ligeramente ácidos, deficientes en nutrientes; Además, Llanos (2006) quien indica que en un arboretum de *Pinus radiata*, los individuos que se les aplico esta dosis de bórax obtuvieron mejores resultados en altura.

Además, *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus* obtuvieron alturas superiores con la dosis más alta de 120 g de fósforo ( $P_2O_5$ ), mientras que el *Pinus radiata* con la dosis más baja con 40 g. Sin embargo, al comparar los resultados del *Pinus radiata* con el testigo este último alcanzó un promedio superior al de los tratamientos con fertilizantes. La dosis de fósforo es superior a lo reportado por Sáenz *et al.* (2011) en un estudio de fertilización con *Pinus pseudostrobus* a los 36 meses, donde los mejores resultados en altura se obtuvieron con una dosis de 100 g de superfosfato triple (equivalente a 45,9 g  $P_2O_5$ ); sin embargo se asemeja mucho a lo recomendado por Dickens *et al.* (2003) quienes indican que un fertilización a la siembra o inmediatamente después con 130 kg de  $P_2O_5$  por hectárea puede incrementar apreciablemente el crecimiento del pino ( equivalente 117 g  $P_2O_5$  / planta), en suelos de drenaje deficiente y bajo contenido de fósforo.

Por lo contrario, en plantaciones de pinos radiata en suelos tipo Andisol se obtuvieron índices de biomasa superiores estadísticamente ( $D^2 \times H$ ) con fertilizaciones fosforadas y bóricas de 200 g  $P_2O_5$  y 20 g de boranatrocalcita (14 por ciento de boro) (Álvarez *et al.* 1999); además, León *et al.*(2016) en un estudio realizado en suelos franco arenoso, ácidos, con concentraciones bajas de fósforo y potasio con *Pinus caribaea*, indica que una dosis de 300 g/árbol (NPK: 8-10-10, equivalente a 30 g  $P_2O_5$ ) es insuficiente y es perjudicial para el crecimiento y desarrollo de la plantación.

**Tabla 6. Resumen de estudios de fertilización en plantaciones de pino**

Estudios		Especie	Fertilizante/dosis	Resultado
Autor	Lugar			
Gerding <i>et al.</i> (1986)	Chile	<i>Pinus Radiata</i>	8 g superfosfato y 5 g boranatrocalcita	En los resultados de crecimiento a los 3 años, obtuvieron mejores valores en altura y diámetro aquellos individuos con fertilizantes compuestos por fósforo y boro
Álvarez <i>et al.</i> (1999)	Chile	<i>Pinus radiata</i>	Fertilizaciones fosforadas y bóricas de 200 g $P_2O_5$ y 20 g de boranatrocalcita	En un ensayo de fertilización con diferentes dosis de fósforo y boro en plantaciones de pinos radiata se obtuvieron a los 12 y 24 meses índices de biomasa superiores estadísticamente ( $D^2 \times H$ )

<<Continuación>>

				con fertilizaciones fosforadas y bórica
Dickens <i>et al.</i> (2003)	Estados Unidos	<i>Pinus sp.</i>	130 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> por hectárea	Una fertilización a la siembra o inmediatamente después con 130 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> por hectárea puede incrementar apreciablemente el crecimiento del pino, pudiendo durar la respuesta de 10 a 15 años o más.
Herrera (2003)	Ecuador	<i>Pinus radiata</i>	5 g de bórax	Sus resultados a los 40 meses mostraron una altura promedio superior con una dosis 5 g de bórax
Fox <i>et al.</i> (2007)	Estados Unidos	<i>Pinus sp.</i>	25 a 50 libras de fósforo por acre	Afirma que una fertilización con 25 a 50 libras de fósforo por acre en el momento de la siembra, produce un sostenido crecimiento en las plantaciones, con 50 pies cúbicos por acre por año.
Davis <i>et al.</i> (2010)	Nueva Zelanda	<i>Pinus radiata</i>	4 g de bórax	Recomienda una dosis de 4 g de bórax para el <i>Pinus radiata</i> al momento de la siembra.
Sáenz <i>et al.</i> (2011)	México	<i>Pinus pseudostrabus</i>	Superfosfato triple	Según los resultados en altura obtenidos a los 36 meses se recomienda adicionar una dosis de 100 g de superfosfato triple
Rauscher y Johnsen (2014)	Estados Unidos	<i>Pinus elliottii</i>	50 libras por acre de fósforo	Un gran avance ocurrió con el descubrimiento de respuestas de crecimiento en <i>Pinus elliottii</i> después de adiciones de fósforo en suelos arcillosos, mal drenados en Florida. Se lograron respuestas de crecimiento en estos sitios cuando se aplicaron aproximadamente 50 libras por acre de fósforo al momento de la siembra
León <i>et al.</i> (2016)	Cuba	<i>Pinus caribaea</i>	300 g/árbol (NPK: 8-10-10)	En un estudio realizado a largo plazo (hasta los 41 años) indica que una dosis de 300 g/árbol de

<<Continuación>>

				fertilizante es insuficiente y es perjudicial para el crecimiento y desarrollo de la plantación.
Trazzi <i>et al.</i> (2019)	Brasil	<i>Pinus taeda</i>	Boro	La respuesta del crecimiento fue superior estadísticamente en aquellas dosis con presencia de boro dentro de su composición frente a otros que no lo contenían.

Al calcular el volumen total promedio por individuo observamos que la especie *Pinus pseudostrobus* con el tratamiento seis logró un mayor valor con 0,48 m<sup>3</sup> (120 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10 g bórax), seguido por el *Pinus patula* con el tratamiento cinco con 0,40 m<sup>3</sup> (80 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10 g bórax) y finalmente el *Pinus radiata* con el tratamiento uno con 0,13 m<sup>3</sup> (40 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/5 g bórax). Si con dichos resultados calculamos el incremento medio anual (IMA) obtenemos un valor de 25,63 m<sup>3</sup>/ha/año para el *Pinus pseudostrobus*, 21,93 m<sup>3</sup>/ha/año en *Pinus patula* y 7.13 m<sup>3</sup>/ha/año en *Pinus radiata*.

Al comparar el incremento medio anual de especies evaluadas con otros estudios en Cajamarca, se estos son superiores a lo reportado por Carton y Chávez (2018). Estos últimos indican un IMA promedio de 14 m<sup>3</sup>/ha/año para las especies *Pinus pseudostrobus* y *Pinus patula*, mientras que para *Pinus radiata* fue de 7,27 m<sup>3</sup>/ha/año. Por otro lado, los datos de Mendo (2008), en suelos derivados en su mayoría de rocas volcánicas y con topografía accidentada, mostraron un IMA de 20,38 m<sup>3</sup>/ha/año para el *Pinus pseudostrobus*, 18,73 m<sup>3</sup>/ha/año en el *Pinus patula* y 17,76 m<sup>3</sup>/ha/año para el *Pinus radiata*. Sin embargo, los resultados obtenidos se asemejan a los reportados por Bermúdez (2018) en la Granja Porcón, donde se encontraron un IMA de 21,76 y 28,89 m<sup>3</sup>/ha/año para plantaciones de *Pinus patula* en pendientes del 10 a 25 por ciento. Así mismo, Villar *et al* (2014) obtuvieron un IMA de 23,95 m<sup>3</sup>/ha/año en suelos ácidos, derivados de materiales volcánicos, con alto contenido nitrógeno y bajo contenido de fósforo.

De lo antes expuesto se puede inferir que la aplicación de fertilizantes compuestos de fósforo y boro mejoran sustancialmente el rendimiento de las plantaciones y que al hacer un análisis de los costos de instalación versus el incremento medio anual observamos que los incrementos se duplican para caso del *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*; a la vez, los costos de instalación con las dosis de fertilizantes que presentaron los mejores resultados en las tres

especies originan solo un incrementan del 11 a 21 por ciento en comparación con una plantación tradicional.

Realizando un análisis de los resultados obtenidos en diámetro y altura, la dosis más adecuada para el *Pinus radiata* y que es significativa estadísticamente es el tratamiento uno con 40/5 (g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ g bórax). En el caso del *Pinus pseudostrobus* la dosis con la que se logró los mejores resultados en promedio fue el tratamiento seis 120/10 (g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ g bórax), siendo estadísticamente significativo para la dosis de 10 g de bórax.

**Tabla 7. Incremento medio anual- IMA (m<sup>3</sup>/ha/año) en plantaciones de pino en Cajamarca**

IMA (m <sup>3</sup> /ha/año)				
Estudios		<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus radiata</i>
Autores	Lugar			
Mendo (2008)	San Pablo-Granja Porcón	20.38	18.73	17.76
Villar <i>et al</i> (2014)	San Pablo-Granja Porcón	-	23.95	-
Bermúdez (2018)	San Pablo-Granja Porcón	-	21.76 -28.89	-
Carton y Chávez (2018)	Cajamarca	14		7.27

## V. CONCLUSIONES

- Con respecto al crecimiento diamétrico (DAP), las especies *Pinus patula* con el T5: 80 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10 g bórax (23,6 cm) y el *Pinus pseudostrobus* con el T6 :120 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10 g (26,46 cm) lograron un promedio superior a los demás tratamientos, a pesar que ambas no presentaron diferencia estadística. Sin embargo, se obtuvo significancia estadística entre las dosis de boro para el *Pinus radiata*, siendo superior la dosis de 5 g de bórax.
- Con respecto al crecimiento en altura, la especie *Pinus patula* obtuvo una mayor altura promedio (15,80 m) con el T6 :120 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10g bórax a pesar de no presentar significancia estadística. Por otro lado, el *Pinus pseudostrobus* mostró diferencias significativas entre las dosis de boro, siendo superior estadísticamente la dosis de 10 g de bórax. También, la altura promedio del *Pinus radiata* con el tratamiento T1: 40 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/5 g bórax fue estadísticamente superior que los demás tratamientos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar nuevas pruebas con los tratamientos que, a pesar de no ser estadísticamente superiores, mostraron numéricamente mejores valores en los parámetros evaluados.
- Promover más investigaciones de fertilización a largo plazo debido a que es escasa la información a nivel nacional y local.
- Evaluar la combinación de fertilizaciones con otras prácticas de manejo forestal como lo son el control de malezas en los primeros estadios de crecimiento de las plantas a fin de mejorar los rendimientos en las especies.
- Realizar pruebas de nutrición forestal con el propósito de determinar la época de mayor requerimiento de nutrientes en las diferentes especies de pino.
- Realizar pruebas de fertilización de manera escalonada visualizando los resultados del crecimiento con la dendrocronología.
- Promover el uso de fertilizantes en la instalación de plantaciones comerciales en Sierra con aquellas dosis que presentaron mejores resultados, ya que ha demostrado mejoras significativas en el rendimiento lo cual se traduce en mayores ingresos en el aprovechamiento forestal maderable.
- En los estudios sobre fertilizantes, es necesario evaluar las características de toxicidad en los individuos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEFOR (Asociación Civil para la Investigación y el Desarrollo Forestal, Perú). 1992. Ficha de registro del ensayo de realización en campo. Cajamarca, Cajamarca, Perú. 11 p.
- ADEFOR (Asociación civil para la investigación y desarrollo forestal, Perú). 2011. Zonificación y plantaciones forestales. Cajamarca, Perú. 12 p.
- Alarcón, A. 2001. El boro como elemento esencial. *Horticultura* (155): 36-46
- Aldana, E. 2008. *Medición forestal*. Universidad Pinar del Rio. Pinar del Rio, Cuba. 340 p.
- Alvarado, A; Raigosa, J. 2007. *Nutrición y fertilización forestal de regiones tropicales*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 404 p.
- Alvarado, A; Raigosa, J. 2012. *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. San José, Costa Rica. 416 p.
- Álvarez, J; Rodríguez, J; Suarez, F. 1999. Mejoramiento de la productividad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, a través de un método racional de fertilización. *Bosque* 20(1): 23-36.
- Andreu J; Betrán J; Delgado I; Espada J; Gil M; Gutiérrez M; Iguácel F; Isla R; Muñoz F; Orús F; Pérez M; Quílez D; Sin E, Yagüe M. 2006. *Fertilización nitrogenada*. Aragón, España. 196 p.
- Arévalo, G; Castellano, M. 2009. *Manual de fertilizantes y enmiendas*. Zamorano, Honduras, Cooperación suiza de América Central. 57 p.

- Arkema. 2021. Fertilizantes de micronutrientes (en línea, sitio web). Consultado 20 may. 2021. Disponible en <https://armaz.com/es/industrias/fertilizante/fertilizantes-micronutrientes/>.
- Barbier, M. 2018. Disponibilidad de boro a partir de diferentes fuentes minerales y su interacción con otros nutrientes. Guatemala. 69 p.
- Beltrán, M; Romaniuk, R; Herrmann, C; Fernandez, A; Mousegne, F; Jecke, F. 2019. Roca fosfórica y yeso agrícola: complemento a la fertilización. *Ciencia del Suelo* 37 (1): 180-185.
- Bermúdez, S. 2018. Análisis de costos de aprovechamiento en primer raleo de una plantación de pinos en la granja Porcón, Cajamarca – Perú. Tesis Ing. Forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria - La Molina. 67 p.
- Caldas, B. 2019. Caracterización de plantaciones experimentales de *Mauritia flexuosa* “aguaje” en Tingo María, Perú. Tesis de Ms. Bosques y Gestión de Recursos Forestales. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 62 p.
- Cancino, J. 2006. Dendrometría básica. Concepción, Chile, Universidad de Concepción. 171 p.
- Carton, Ch; Chávez, A. 2018. Porcón- Medio siglo de forestación en los Andes de Cajamarca. Primera edición. Cajamarca, Perú. 303 p.
- Castro, L; Melgar, R. 2018. Rocas fosfóricas, Capítulo Introductorio. Buenos Aires, Argentina. 28 p.
- Chien, S; Prochnow, L; Mikkelsen, R. 2011. Uso Agronómico de la roca fosfórica para aplicación directa. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* (1): 13-16.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, México). 2001. *Pinus pseudostrabus*. México DF, México. 8 p.

- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, México). 2001. *Pinus radiata*. México DF, México. 8 p.
- Dalprá, LA. 2007. Respuesta en crecimiento de *Pinus taeda* L. a la fertilización inicial en suelos arenosos del centro- oeste de corrientes, Argentina. Tesis Msc. Misiones, Argentina, Universidad Nacional de Misiones. 75 p.
- Davis, M; Xue, J; Clinton, P. 2010. Plantation forest nutrition. Rotorua, New Zealand, Future Forests Research. 140 p.
- Del Castillo, F; Pérez de la Rosa, JA; Vargas, G; Rivera, R. 2004. Coníferas. México DF, México. 19 p.
- Dickens, ED; Moorhead, D; McElvany, B. 2003. Pine plantation fertilization. Better Crops 87(1):12 -15.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Francia). 2002. Los fertilizantes y su uso. Cuarta edición. Paris, Francia. 83 p.
- Fernández, A; Sarmiento, A. 2004. El pino radiata (*Pinus radiata*): manual de gestión forestal sostenible. Madrid, España, Junta de Castilla y León. 62 p.
- Ferrando, M; Zamalvide, J. 2012. Aplicación de boro en eucalipto: comparación de fuentes. *Árvore* 36 (6): 1191-1197.
- Ferrere, P; Lupi, AM; Boca, T. 2015. Crecimiento del *Pinus radiata* sometido a diferentes tratamientos de raleo y poda en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Bosque* 36(3): 423-434.
- FONAM (Fondo Nacional del Ambiente, Perú). 2007. Guía práctica para la instalación y manejo de plantaciones forestales. Lima, Perú. 47 p.

- Fox, T; Allen, H; Albaugh, T; Rubilar, R; Carlson, C. 2007. Tree nutrition and forest fertilization of pine plantations in the Southern United States. *Southern journal of applied forestry* 31(1): 5-11.
- Gerding, V; Schlatter, J; Barriga, L. 1986. Fertilización para establecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Valdivia, Chile. *Bosque* 7(2): 121-128.
- Guariguata, MR; Arce, J; Ammour, T; Capella JL. 2017. Plantaciones forestales en el Perú: reflexiones, estatus y perspectivas a futuro. Bogor, Indonesia. 40 p.
- Herrera, JB. 2003. Efecto de la fertilización en las plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don) en Lasso- Cotopaxi. Tesis Ing. Forestal. Ibarra, Ecuador, Universidad Técnica del Norte. 108 p.
- Imaña, E; Encinas, O. 2008. Epidometria forestal. Primera edición. Brasilia, Brasil, Universidad de los Andes. 66 p.
- León, M; Reyes, JL; Herrero, G; Pérez, V. 2016. Efecto de la fertilización sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba. *Madera y Bosques* 22(3): 87-101.
- Llanos, U. 2006. Efecto de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos y enraizadores en el establecimiento de *Pinus tecunumanii* (Schw) en Oxapampa. Tesis Ing. Forestal. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria - La Molina. 95 p.
- Martínez, I. 2001. Estado nutritivo y recomendaciones de fertilización para pino radiata. *Revista Euskadi Forestal* (61):47-61.
- Mead, D. 2013. Sustainable management of *Pinus radiata* plantations. Rome, Italy, FAO. 265 p.
- Mengel, K; Kirkby EA. 2000. Principios de nutrición vegetal. Basilea, Suiza. 608 p.

- Meléndez, G; Molina, E. 2003. Fertilizantes: características y manejo. Costa Rica. 139 p.
- Mendo, M. 2008. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales del bosque granja Porcón, Cajamarca, Perú 2007- 2008. Tesis Doc. Ciencias Ambientales. Trujillo, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. 86 p.
- Moorhead, D; Dickens, ED. 2002. Fertilización de plantaciones de pino, guía de agentes del condado para hacer recomendaciones de fertilización. Georgia, USA, Universidad de Georgia. 5 p
- Ospina, C; Hernández, R; Rincón, E; Sánchez, F; Urrego, J; Rodas, C; Ramírez, C; Riaño, N. 2011. El pino patula. Caldas, Colombia, FNC-Cenicafé.105 p.
- Pacheco, T. 2011. Estandarización de un método de obtención de fósforo disponible en roca fosfórica y boro disponible en ulexita, mediante tratamiento en medio alcalino (KOH), para su posterior uso en cultivos de quinua orgánica a gran escala. Tesis Lic. Ciencias Químicas. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. 78 p.
- Poma, W; Alcántara, G. 2012. Estudio de suelos y capacidad de uso mayor de las tierras, departamento de Cajamarca. Cajamarca, Perú. 82 p.
- POSAF (Programa de desarrollo socio ambiental, Nicaragua). 2005. Establecimiento y manejo de plantaciones forestales. Primera edición. Managua, Nicaragua. 76 p.
- Rauscher, H; Johnsen, K. 2014. Southern forest science: Past, present and future. Washington, United states. 407 p.
- Rodríguez, G; Rodríguez, R. 1981. Las especies de Pinaceae cultivadas en Chile. Bosque 4 (1): 25-43.
- Rojas, C. 2004. Nutrición boratada de los cultivos. Tierra Adentro (56): 40-46.

- Sáenz, JT; Muñoz, HJ; Rueda, SA. 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Michoacán, México. 213 p.
- Salazar, R; Soihet, C; Méndez, JM. 2000. Manejo de 100 especies forestales de América Latina. Turrialba, Costa Rica, FAO. 220 p.
- Schlatter, J. 1974. *Pinus radiata* und ihre Anbaumöglichkeiten in Chile. Literaturübersicht. Gött. Bkdl. Berichte, (31): 1 - 90.
- Schlatter, J; Gerding, V. 1984. Deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile II. Principales causas y corrección. Bosque 6(1): 32-43.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Perú). 2019. Anuario forestal y de fauna silvestre 2017. Lima, Perú. 124 p.
- Sotomayor, G; Helmke, E; García, E. 2002. Manejo y mantención de plantaciones forestales: *Pinus radiata* y *Eucalyptus* sp. Santiago, Chile, INFOR (Instituto Forestal). 56 p.
- Stahring, N; Neves, J; Paulucio, R; Teixeira, J; Sussin, P; Argüelles, T; Chamorro, L. 2017. Recomendación de fertilizantes para *Pinus* y *Eucalyptus* en Corrientes, Argentina utilizando balance nutricional. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, (30): 14-22.
- Trazzi, P; Santos, J; Caldeira, M; Roters, D; Carvalho, D; Dobner, Mário. 2019. Initial Growth of *Pinus taeda* by Fertilization Response at Planting. Floresta e Ambiente. Floresta e Ambiente 26 (1): 1-9.
- Vásquez, A. 2001. Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia. Tolima, Colombia, Universidad de Tolima. 304 p.
- Villablanca, A; Villavicencio. 2010. Los fertilizantes en la agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Arica y Parinacota, Chile. 2 p.

Villar, M; Marcelo, F; Baselly, J; Villena, J. Estimación de volúmenes maderables en plantaciones de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. en la Cooperativa Atahualpa Jerusalén Granja Porcón en la región Cajamarca. Cajamarca, Perú, INIA. 8 p.

Vozzo, JA. 2010. Manual de semillas de árboles tropicales. Washington, Estados Unidos. 887 p.

Zapata, E; Roy, R. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. FAO. Italia, Roma. 177p.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Resumen de parámetros evaluados

Tratamientos	Dosis (g/ planta)	DAP (cm)			CV (%)		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / Bórax	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Pinus radiata</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Pinus radiata</i>
1	40/5	21.59	23.56	15.93	19.38	22.94	48.17
2	80/5	21.23	23.63	15.61	14.55	24.96	42.40
3	120/5	21.67	24.67	15.56	14.51	24.86	38.08
4	40/10	21.76	24.69	13.97	15.96	22.57	36.85
5	80/10	23.26	23.70	10.87	10.06	27.88	43.73
6	120/10	21.92	26.46	13.05	23.13	25.76	34.50
7	40/15	23.15	25.14	12.29	16.34	18.73	38.55
8	80/15	22.18	24.46	15.95	20.15	29.68	52.11
9	120/15	20.55	26.00	14.53	24.37	26.70	42.07
Testigo		20.52	23.34	15.10	14.61	29.31	42.77

<<Continuación>>

Tratamientos	Dosis (g/planta)	Altura (cm)			CV (%)		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / Bórax	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Pinus radiata</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus pseudostrobus</i>	<i>Pinus radiata</i>
1	40/5	15.36	13.37	11.24	8.16	10.62	21.43
2	80/5	14.89	13.99	9.34	7.90	10.50	27.32
3	120/5	15.27	13.95	10.58	9.97	10.27	19.30
4	40/10	14.98	14.10	10.21	8.27	9.19	20.52
5	80/10	15.70	14.48	7.68	6.71	10.94	27.79
6	120/10	15.80	14.65	10.75	5.76	7.51	17.32
7	40/15	15.54	13.69	8.86	6.03	5.74	34.20
8	80/15	15.27	13.38	10.30	8.78	9.44	28.66
9	120/15	15.40	13.94	10.05	8.25	12.57	23.97
Testigo		15.31	13.25	11.26	5.52	17.92	18.30

**Anexo 2. Plantaciones de *Pinus patula* de 27 años de edad, parte del ensayo de fertilización con roca fosfórica y bórax**

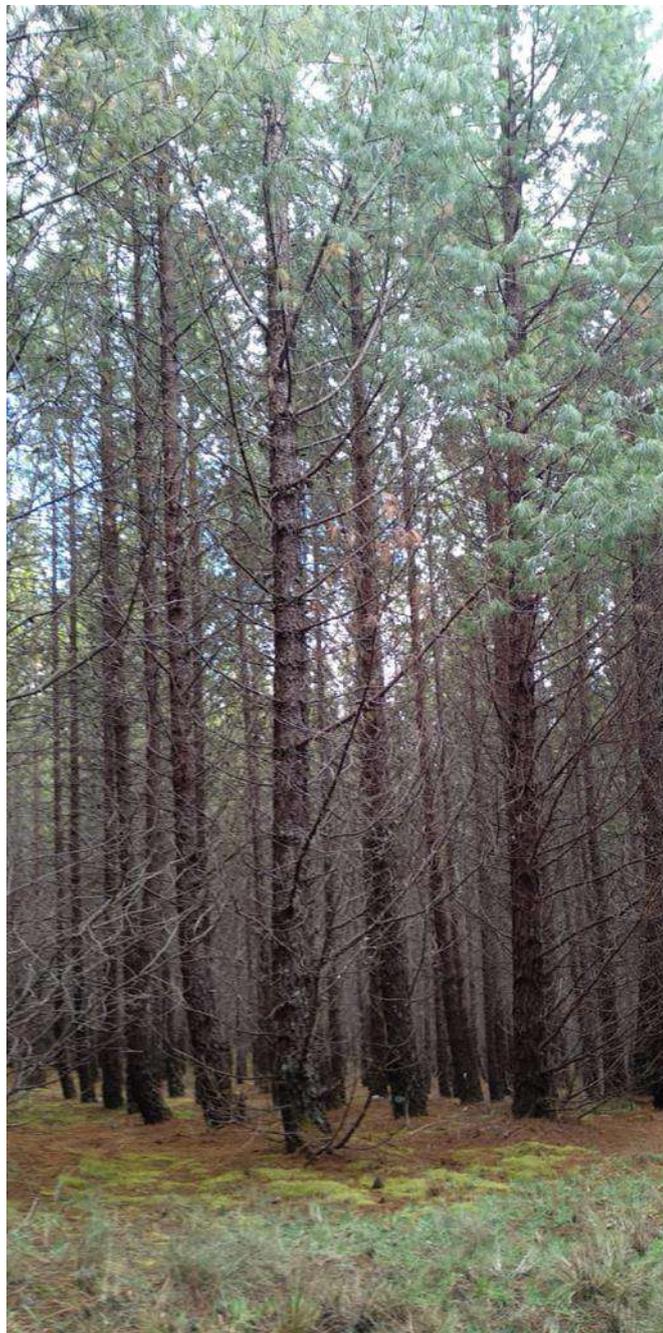


Foto por Marilyn Prieto.

**Anexo 3. Plantaciones de *Pinus pseudostrobus* de 27 años de edad, parte del ensayo de fertilización con roca fosfórica y bórax**

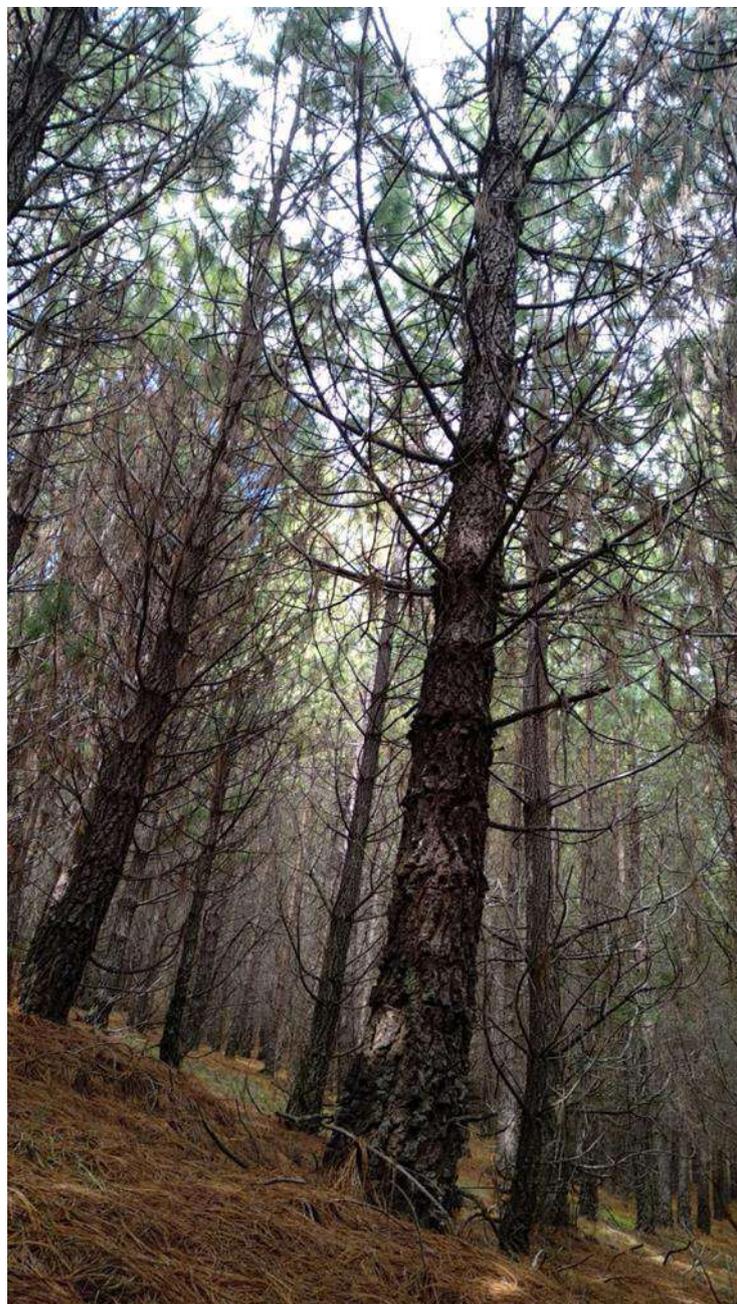


Foto por Marilyn Prieto.

**Anexo 4. Plantaciones de *Pinus radiata* de 27 años de edad, parte del ensayo de fertilización con roca fosfórica y bórax.**



Foto por Marilyn Prieto.

## Anexo 5. Costos de instalación de una plantación sin fertilización

Sistema de plantación: tresbolillo

Distanciamiento: 3x3

Área: 1 ha

Conceptos	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Subtotal (S/)	Total (S/)
<b>I. Personal técnico</b>					<b>480.00</b>
Técnico de campo (Georeferenciación y supervisión)	Jornales	6	80	480	
<b>II. Mano de obra</b>					<b>1,209.00</b>
Trazo y Marcación	Jornales	4	31	124.00	
Hoyación	Jornales	22	31	682.00	
Acarreo y distribución de plantas	Jornales	5	31	155.00	
Plantación	Jornales	8	31	248.00	
<b>III. Insumos</b>					<b>769.80</b>
Plantas	Unidad	1283	0.6	769.80	
<b>IV. Herramientas</b>					<b>1,920.00</b>
Barretas	Unidad	5	60	300.00	
Driza	m	100	1	100.00	
Jalones	Unidad	3	30	90.00	
Palas	Unidad	11	90	990.00	
Zapapico	Unidad	11	40	440.00	
<b>Total (S/)</b>					<b>4,378.80</b>

**Anexo 6. Costos de instalación de una plantación con fertilización (T1: 40 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/5 g bórax)**

Sistema de plantación: tresbolillo

Área: 1 ha

Distanciamiento: 3x3

Conceptos	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Subtotal (S/)	Total (S/)
<b>I. Personal técnico</b>					<b>480.00</b>
Técnico de campo (Georeferenciación y supervisión)	Jornales	6	80	480	
<b>II. Mano de obra</b>					<b>1,426.00</b>
Trazo y Marcación	Jornales	4	31	124.00	
Hoyación	Jornales	22	31	682.00	
Acarreo y distribución de plantas	Jornales	5	31	155.00	
Plantación	Jornales	8	31	248.00	
Fertilización	Jornales	7	31	217.00	
<b>II. Insumos</b>					<b>1,060.45</b>
Plantas	Unidad	1283	0.6	769.80	
Roca fosfórica	kg	170.90	0.95	162.35	
Bórax	kg	6.42	20	128.30	
<b>IV. Herramientas</b>					<b>1,920.00</b>
Barretas	Unidad	5	60	300.00	
Driza	m	100	1	100.00	
Jalones	Unidad	3	30	90.00	
Palas	Unidad	11	90	990.00	
Zapapico	Unidad	11	40	440.00	
<b>Total (S/)</b>					<b>4,886.45</b>

**Anexo 7. Costos de instalación de una plantación con fertilización (T5: 80 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ 10 g bórax)**

Sistema de plantación: tresbolillo

Área: 1 ha

Distanciamiento: 3x3

Conceptos	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Subtotal (S/)	Total (S/)
<b>I. Personal técnico</b>					<b>480.00</b>
Técnico de campo (Georeferenciación y supervisión)	Jornales	6	80	480	
<b>II. Mano de obra</b>					<b>1,426.00</b>
Trazo y Marcación	Jornales	4	31	124.00	
Hoyación	Jornales	22	31	682.00	
Acarreo y distribución de plantas	Jornales	5	31	155.00	
Plantación	Jornales	8	31	248.00	
Fertilización	Jornales	7	31	217.00	
<b>III. Insumos</b>					<b>1,351.10</b>
Plantas	Unidad	1283	0.6	769.80	
Roca fosfórica	kg	341.79	0.95	324.70	
Bórax	kg	12.83	20	256.60	
<b>IV. Herramientas</b>					<b>1,920.00</b>
Barretas	Unidad	5	60	300.00	
Driza	m	100	1	100.00	
Jalones	Unidad	3	30	90.00	
Palas	Unidad	11	90	990.00	
Zapapico	Unidad	11	40	440.00	
<b>Total (S/)</b>					<b>5,177.10</b>

**Anexo 8. Costos de instalación de una plantación con fertilización (T6: 120 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ 10 g bórax)**

Sistema de plantación: tresbolillo

Área: 1 ha

Distanciamiento: 3x3

Conceptos	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Subtotal (S/)	Total (S/)
<b>I. Personal técnico</b>					<b>480.00</b>
Técnico de campo (Georeferenciación y supervisión)	Jornales	6	80	480	
<b>II. Mano de obra</b>					<b>1,426.00</b>
Trazo y Marcación	Jornales	4	31	124.00	
Hoyación	Jornales	22	31	682.00	
Acarreo y distribución de plantas	Jornales	5	31	155.00	
Plantación	Jornales	8	31	248.00	
Fertilización	Jornales	7	31	217.00	
<b>III. Insumos</b>					<b>1,513.45</b>
Plantas	Unidad	1283	0.6	769.80	
Roca fosfórica	kg	512.69	0.95	487.05	
Bórax	kg	12.83	20	256.60	
<b>IV. Herramientas</b>					<b>1,920.00</b>
Barretas	Unidad	5	60	300.00	
Driza	m	100	1	100.00	
Jalones	Unidad	3	30	90.00	
Palas	Unidad	11	90	990.00	
Zapapico	Unidad	11	40	440.00	
<b>Total (S/)</b>					<b>5,339.45</b>

## Anexo 9. Análisis de varianza para el parámetro DAP

Análisis de varianza, diseño factorial para el DAP en *Pinus patula* (T1-T9)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Fósforo	2	1560	779.77	0.9315	0.3952
Boro	2	1671	835.55	0.9982	0.3699
Bloque	3	4211	1403.78	1.677	0.1722
Fósforo: Boro	4	5031	1257.85	1.5027	0.2016
Residuales	276	231034	837.08		

Para el cumplimiento de los supuestos se realizó una transformación de los datos elevando el DAP a la potencia 1.5 tal como se muestra en la tabla (T1-T9)

Análisis de varianza para el DAP en *Pinus patula* (T1-T10)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Tratamiento	1	7.9	7.8502	0.4523	0.4523
Residuales	318	5518.7	17.3544		

Análisis de varianza para el DAP en *Pinus pseudostrobus* (T1-T9)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Fósforo	2	160.6	80.277	1.8225	0.16357
Boro	2	83.2	41.591	0.9442	0.39024
Bloque	3	425	141.674	3.2163	0.02332
Fósforo: Boro	4	27.7	6.931	0.1574	0.95956
Residuales	276	12157.3	44.048		

Análisis de varianza para el DAP en *Pinus pseudostrobus* (T1-T10)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Tratamiento	1	30.1	30.116	0.6626	0.4162
Residuales	318	14453.3	45.451		

Análisis de varianza para el DAP en *Pinus radiata* (T1-T9)

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
Fósforo	2	0.0221	0.011047	0.4294	0.651305
Boro	2	0.3101	0.155073	6.0284	0.002738*
Bloque	3	0.0819	0.027295	1.0611	0.366039
Fósforo: Boro	4	0.1858	0.046447	1.8056	0.127911
Residuales	276	7.0998	0.025724		

Para el cumplimiento de los supuestos se realizó una transformación de los datos elevando el DAP a la potencia 0.2 para todos los análisis.

Análisis de varianza para el DAP en *Pinus radiata* (T1-T10)

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
Tratamiento	1	0.0072	0.0072216	0.2755	0.6
Residuales	318	8.3342	0.0262082		

Para el cumplimiento de los supuestos se realizó una transformación de los datos elevando el DAP a la potencia 0.2 para todos los análisis.

## Anexo 10. Análisis de varianza para el parámetro altura total

Análisis de varianza para la altura total en *Pinus patula* (T1-T9)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Fósforo	2	1525782	762891	0.8931	0.41056
Boro	2	2210954	1105477	1.2942	0.27578
Bloque	3	6598803	2199601	2.575	0.05424
Fósforo: Boro	4	7191536	1797884	2.1048	0.08043
Residuales	276	235759005	854199	2199601	

Para el cumplimiento de los supuestos se realizó una transformación de los datos

elevando el DAP a la potencia 3 los tal como se muestra en la tabla(T1-T9)

Análisis de varianza para la altura total en *Pinus patula* (T1-T10)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Tratamiento	1	40562	40562	1.0694	0.3019
Residuales	318	12061392	37929		

Para el cumplimiento de los supuestos se realizó una transformación de los datos elevando

el DAP a la potencia 2.5 (T1-T10)

Análisis de varianza para la altura total en *Pinus pseudostrobus* (T1-T9)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Fósforo	2	10.17	5.0866	1.8744	0.155395
Boro	2	31.02	15.512	5.7162	0.003694*
Bloque	3	26.31	8.7706	3.232	0.02284
Fósforo: Boro	4	7.87	1.9673	0.725	0.575528
Residuales	276	748.98	2.7137		

Análisis de varianza para la altura total en *Pinus pseudostrobus* (T1-T10)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P-valor
Tratamiento	1	10.5	10.529	0.7889	0.3751
Residuales	318	4244.4	13.347		

Para el cumplimiento de los supuestos se realizó una transformación de los datos elevando

la altura a la potencia 1.2 (T1-T10).

Análisis de varianza para la altura total en *Pinus radiata* (T1-T9)

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
Fósforo	2	94.29	47.146	5.4449	0.0047948*
Boro	2	37.6	18.802	2.1714	0.1159571
Bloque	3	147.16	49.055	5.6654	0.0008857
Fósforo: Boro	4	174.97	43.742	5.0518	0.0008857 *
Residuales	276	2389.8	8.659		

Análisis de varianza para la altura total en *Pinus radiata*(T1-T10)

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
Tratamiento	1	0.33	0.3282	0.0614	0.8044
Residuales	318	1699.58	5.3446		

Para el cumplimiento de los supuestos se realizó una transformación de los datos elevando el DAP a la potencia 0.9 (T1-T10)

## Anexo 11. Análisis de suelo



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : MARILYN PRIETO JULCA

Departamento : CAJAMARCA  
 Distrito : SAN JUAN

Provincia : CAJAMARCA  
 Predio : SAIS JOSE CARLOS  
 MARIATEGUI

Referencia : H.R. 69715-102C-19

Bolt.: 3426

Fecha : 04/09/19

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
7089	-	4.37	0.08	0.00	13.48	2.6	106	35	42	23	Fr.	22.88	0.80	0.39	0.33	0.15	4.30	5.96	1.66	7

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		B ppm
Lab	Claves	
7089	-	0.14

**Ing. Brailio La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio

**Anexo 12. Medición de parámetros dasométricos en las plantaciones pino evaluadas**



Foto por Marilyn Prieto.