

PRESENCIA DE CARBONO ORGÁNICO EN TERRENOS DE APTITUD FORESTAL *DE PINUS RADIATA D. DON*



Mario Ruíz Ramos

Presencia de carbono orgánico en terrenos de aptitud forestal de *Pinus Radiata D.*

Don / Mario Ruíz Ramos. La Paz: Editorial Kuntur, 2024

80 pp.

ISBN: 978-9917-639-14-5

1. Carbono orgánico, 2. Aptitud forestal, 3. Pinus Radiata D. Don.

La competitividad y sus determinantes para el desarrollo integral de una región

Depósito legal: 4-1-2897-2024

ISBN: 978-9917-639-14-5

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11033668>

@ Mario Ruíz Ramos

Edición

Editorial Kuntur

Diseño de carátula y composición:

Editorial Kuntur

Edición electrónica:

Editorial Kuntur

© Editorial Kuntur

La Paz, Bolivia

www.editorialkuntur.com

Editado en Bolivia/ *Published in Bolivia*

Primera Edición: abril de 2024

Todas nuestras publicaciones son sometidas a un proceso de arbitraje doble ciego de pares externos (*Peer Review Double Blinded*).

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.



Licencia *Creative Commons* Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License

PRESENCIA DE CARBONO ORGÁNICO EN TERRENOS DE APTITUD FORESTAL DE PINUS RADIATA D. DON

Mario Ruiz Ramos



**EDITORIAL
KUNTUR**

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN	9

CAPÍTULO I

EL CARBONO ORGÁNICO	11
1.1 Carbono orgánico: nociones generales	12
1.2 Carbono almacenado	14
1.3 Fuentes y reservas de carbono orgánico	16
1.4 Captura de carbono.....	18
1.5 Ciclo global del carbono	20
1.5.1 Ciclo biológico.....	21
1.5.2 Ciclo geológico	22

CAPÍTULO II

PINUS RADIATA D. DON	23
----------------------------	----

2.1 Generalidades, clasificación y descripción botánica	23
2.2 Fenología y silvicultura	28
2.3 Distribución y hábitat del Pinus radiata.....	36
2.4 Características de la madera.....	36
2.5 Propiedades físicas y mecánicas7.....	37

CAPÍTULO III

CARBONO Y MEDIO AMBIENTE.....	38
-------------------------------	----

3.1. Efecto invernadero y cambio climático.....	39
3.2. Alternativas frente al cambio climático global.....	42
3.3. Carbono orgánico y su relación con el cambio climático.....	43
3.4 Mercado del carbono y conservación ecológica.....	45

CAPÍTULO IV

RELACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN TERRENOS PARA PINUS RADIATA D. DON EN CHIQUIÁN, ANCASH, 2014.....	47
---	----

CAPÍTULO V

CONSIDERACIONES FINALES EN TORNO A LOS EFECTOS AMBIENTALES POR PRE- SENCIA DE CARBONO ORGÁNICO	69
---	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
---------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Sistema de variables</i>	49
Tabla 2. <i>Determinación del carbono orgánico presente en la biomasa de pastizales y herbáceas</i>	55
Tabla 3. <i>Determinación de contenido de carbono orgánico presente en la biomasa de arbustos</i>	57
Tabla 4. <i>Análisis de varianza (ANVA) para regresión del área de Corona vs Biomasa</i>	59
Tabla 5. <i>Cálculo de biomasa y carbono en Pinus radiata D. Don. A 30 años de proyección</i>	60
Tabla 6. <i>Análisis de variancia (ANVA) para regresión de Carbono vs Biomasa</i>	62
Tabla 7. <i>Análisis de varianza (ANVA) para regresión de años vs. Biomasa</i>	63
Tabla 8. <i>Análisis de varianza (ANVA) para regresión de años vs. Carbono</i>	64
Tabla 9. <i>Comparación de la adicionalidad de carbono de Pinus radiata con el total de carbono almacenado en biomasa aérea de aptitud forestal</i>	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Individuo adulto de P. radiata, hojas, flor y frutos.....</i>	<i>27</i>
Figura 2. <i>Proceso fenológico de una planta</i>	<i>30</i>
Figura 3. <i>Fisiología del P. radiata.....</i>	<i>30</i>
Figura 4. <i>Ciclo de la silvicultura</i>	<i>32</i>
Figura 5. <i>Efecto invernadero.....</i>	<i>39</i>
Figura 6. <i>El carbono orgánico en el ciclo global del carbono.....</i>	<i>44</i>
Figura 7. <i>Contenido de biomasa y carbono orgánico de pastizales (t/ha)</i>	<i>56</i>
Figura 8. <i>Contenido de biomasa y carbono (t/ha) por parcela</i>	<i>58</i>
Figura 9. <i>Recta de regresión área de corona de arbustos (X) vs biomasa (Y)</i>	<i>59</i>
Figura 10. <i>Proyección de biomasa y carbono (t/ha) a 30 años en las áreas de aptitud forestal en el distrito de Chiquian-Ancash.....</i>	<i>61</i>
Figura 11. <i>Recta de regresión carbono (X) se debe al carbono (Y).....</i>	<i>63</i>
Figura 12. <i>Recta de regresión para predecir el número de años (X) vs. Biomasa (Y)</i>	<i>64</i>

Figura 13.
Recta de regresión número de años (X) vs carbono (Y)65

Figura 14.
Diferencia de carbono almacenado entre biomasa aérea natural y carbono de plantaciones forestales de Pinus radiata 66

INTRODUCCIÓN

Parte de los problemas que arrastra el planeta ha sido consecuencia de los diversos desastres que ha dejado su paso el hombre y su acelerado progreso lo que ha traído no solo enormes daños a la tierra, sino que ha propiciado una cultura de la destrucción, razón por la cual el planeta no solo se ha visto afectado de forma directa, sino que los efectos contaminantes han aumentado provocando problemas ambientales, así como cambios climáticos. De acuerdo a numerosos estudios, desde finales del siglo XIX, la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado en un 25%, producto no solo de la combustión de restos fósiles que se emplean en la actualidad para la industria y sus derivados, sino también para la deforestación que es otra de las formas más abruptas de contaminar.

Según los estudios, no solo el calentamiento global es ya el responsable de los efectos negativos, sino que ya se habla de una concentración de otros metales en la biomasa, lo que ha generado mayores desequilibrios en el ambiente. Además de retención de otros contaminantes, lo que hace que el planeta no solo cambie el ritmo al cual se tenía hace unos cuantos años atrás, sino que este efecto genera, en su conjunto, situaciones adversas, así como eventos inesperados como los que en la actualidad se están viviendo.

Una de las causas de este desequilibrio manifiesto es lo que se conoce como concentración de CO₂ que es liberada en la atmósfera en el proceso de fotosíntesis, no obstante, para revertir este proceso, es importante, de alguna manera, retomar los procedimientos que habitualmente se llevan a cabo como por ejemplo, el uso que en la actualidad se le están dando a los suelos en los procesos de cultivos y plantación, con lo cual estaría no solo contribuyendo al saneamiento de la atmósfera, sino que también estaría desacelerando el efecto invernadero, causante del calentamiento global, entre otros disturbios ecológicos.

En las últimas décadas, la preocupación no solo ha sido de parte de algunas naciones, sino que se ha convertido en una de las preocupaciones a escala global,

lo que hace que el problema no sea solo abordado por un pequeño sector de la población, sino que se ha extendido a otros escenarios. Frente a este drástico panorama, el presente libro de investigación se ha enmarcado no sólo dentro de los pactos internacionales, así como convenios, con el propósito y el objetivo de contribuir con el planeta, en la reducción de gases de efecto invernadero, causantes, como ya se ha dicho, del cambio climático, entre otros fenómenos que han causado desastres y destrucción.

Buena parte de los mecanismos que se pretenden desarrollar se encuentra, precisamente, la captura de estos gases en la biomasa vegetal para que de este modo se logre una mayor concentración de carbono proveniente de las plantas y desechos forestales, y de este modo, desacelerar el proceso contaminante que logra alojarse en la atmósfera. Esta acción, que forma parte de los objetivos planteados no solo logrará que el efecto invernadero no logre manifestarse del todo, sino que contribuye al saneamiento ambiental, además de otros beneficios para el planeta.

Es por ello que se hace imperativa la necesidad de conocer, como parte de los mecanismos de trabajo las estrategias que se necesitan saber, asimismo, cómo y de qué manera, funciona el carbono en el suelo, entre otros aspectos, con el fin de lograr mitigar los efectos contrarios que den resultados inesperados e incluso adversos.

CAPÍTULO I

EL CARBONO ORGÁNICO

El carbono es uno de los elementos más importantes para la existencia de todo ser vivo, éste a su vez se encuentra en el medio ambiente en diversas formas, siendo el dióxido de carbono el más conocido, el cual puede hallarse en la atmósfera, océanos o como combustibles fósiles; en este sentido, el carbono como dióxido se absorbe en la atmósfera a través de las plantas, las cuales lo convertirán en carbohidratos y tejidos a partir de los procesos de fotosíntesis.

De esta manera, se reconoce que el carbono ha sido de gran importancia para la tierra, el carbono será aprovechado considerablemente para la funcionalidad adecuada de los suelos, dado que este tendrá una incidencia positiva en el territorio sobre su fertilidad y productividad; este elemento en su forma orgánica va a proceder del carbono atmosférico que se ha fijado por las plantas procediendo a incorporarse al suelo con los residuos de otras plantas y otros organismos.

Por tanto, el carbono en su estado orgánico va a ser de gran importancia para el desarrollo del suelo y con ello para llevar a cabo un adecuado funcionamiento del ecosistema, considerando que este desempeña un rol esencial también para diversos procesos del medio natural como sucede con la regulación del clima, el suministro de agua y biodiversidad, además de que será el encargado de



proporcionar servicios fundamentales para establecer el nivel de bienestar del medio ambiente y todo ser vivo que cohabita dentro de un mismo territorio.

1.1 Carbono orgánico: nociones generales

El carbono orgánico se relaciona íntimamente con el suelo, sobre la cual se atribuye la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, vinculando además con la cantidad y disponibilidad de nutrientes que el suelo tenga, además este incrementará la solubilidad de diversos nutrientes gracias a su capacidad de modificación de acidez y alcalinidad de los suelos hacia valores neutrales.

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017) el carbono orgánico se asocia directamente al suelo, siendo este una pequeña parte de lo que corresponde el ciclo global del carbono, el cual corresponde al ciclo del carbono que se produce a través del suelo, y otros espacios.

En este sentido, se estima que la reserva de carbono orgánico almacena aproximadamente 1500 PgC en el primer metro de suelo, lo que supone entonces que corresponde a más carbono que el que se tiene en la atmósfera, siendo de 800 PgC aproximadamente y que el de la vegetación (500 PgC) combinados.

Por su parte Burbano (2019) sostiene que el carbono puede circular mediante diferentes vías, teniendo efectos básicos en los procesos de respiración de los seres vivos, así como en la fotosíntesis, además se añade también los procesos de descomposición, dando lugar a un incremento en la producción y almacenamiento de este compuesto; sin embargo, este incremento puede verse afectado considerablemente en las épocas de inundaciones, o en su debido caso, cuando la materia orgánica se consume por acción del fuego.

Cabe mencionar que el carbono puede desplazarse a otros espacios a través del suelo o atmósfera, dado que todos los productos orgánicos tienden a moverse como sucede con las maderas, semillas, tubérculos y demás, estos al moverse fuera de su zona es que se logrará una pequeña filtración a fin de que pueda integrarse al medio natural.

Además, se considera que el carbono orgánico del suelo se relaciona estrechamente a la descomposición de biomasa a partir de la acción microbiana, por tanto, una parte del carbono del suelo volverá a la atmósfera a través de una



mineralización del carbono orgánico; mientras tanto, otra parte será conducida a través de las corrientes de los ríos hasta que llegue al mar, donde se depositará en forma de carbonatos y se llevará un proceso que será incentivado por la intervención del hombre.

Siguiendo con la premisa, el autor añade que el principal tipo de carbono orgánico que pueda hallarse en el suelo, se encuentra en diferentes etapas de humificación, los cuales tendrán plazos de recambio que alcanzarían varios años, asimismo, la dinámica del carbono orgánico en el suelo, va a depender básicamente de la actividad biológica que se produzca, por lo que la mayor parte al ser microorganismos heterotróficos, se demandará compuestos orgánicos preformados, a ello se añadirá un sentido de estabilización de diferentes grados que sufrirán aquellos compuestos orgánicos a partir de la interacción con fracciones minerales del suelo.

La presencia de carbono en el suelo se considera respecto al carbono orgánico del suelo o de materia orgánica del suelo, o debido a la materia orgánica del suelo que advierta que el carbono tiene funciones nutricionales particulares y con ello el catabolismo de microorganismos que se realice en los compuestos orgánicos.

A su vez, se advierte que el carbono del suelo no tiende a acumularse siempre, sino que este se libera a través de su descomposición de materia orgánica, por lo que, a nivel global, la respiración de suelos representa una fuente esencial de CO₂ atmosférico, este contribuye al ciclo global del carbono.

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017) expresan en otra de sus publicaciones que el carbono orgánico será aquel que permanezca después de la descomposición parcial de cualquier material que haya sido producido por algún organismo vivo, este entonces constituye como se reconoce, del ciclo global del carbono a través de la atmósfera, suelos y demás.

A su vez, el carbono orgánico del suelo representa el componente principal de la materia orgánica del mismo, por tanto, constituirá el combustible de cualquier suelo, factor que determinará su importancia, es por ello que ambos contribuirán a un funcionamiento adecuado del suelo, siendo esencial para que se produzca la estabilización de la estructura del suelo, así como de la retención y liberación de nutrientes vegetales que permita la infiltración y almacenamiento de agua en la tierra.



Por tanto, es relevante para que pueda garantizarse la salud de la tierra, así como su nivel de fertilidad y producción de alimentos; en tal sentido, la pérdida de carbono orgánico sería un indicador de la degradación que mantiene un suelo.

En tal sentido, se determina que el carbono representa un elemento fundamental para los compuestos orgánicos, los cuales al ser combinados con otros compuestos van a constituir moléculas de gran importancia para la vida del hombre y otros organismos, sin embargo, es relevante considerar que su disponibilidad es finita, por lo que se resalta que se mantenga un adecuado ciclo de carbono a fin de que pueda distribuirse de manera ideal a diferentes escalas de espacio tiempo para que pueda ser aprovechado correctamente.

1.2 Carbono almacenado

El carbono almacenado representa la capacidad que tiene un bosque o cualquier sistema que lleve a cabo el uso de suelo, para que pueda darse el mantenimiento de una cantidad de biomasa por hectárea, esta estará en función de su heterogeneidad, siendo influenciada por las condiciones del suelo y las del clima.

De acuerdo a Cuellar y Salazar (2016) el almacenamiento del carbono que se da en los depósitos fósiles supone que se lleve a cabo una reducción en los niveles atmosféricos de CO₂, claro está, si estos se liberan, como se da con el petróleo y gas natural; en este sentido, el ciclo se desplazaría a un nuevo desequilibrio donde la cantidad de CO₂ atmosférico incrementa, aún más cuando las posibilidades de reciclado del mismo se reduzcan al reducirse la masa boscosa. Es con este proceso que las plantas fijan el carbono en la biomasa de vegetación, y como consecuencia, junto a otros residuos como la hojarasca y madera muerta se formará un nuevo stock natural del elemento.

Caso contrario con el almacenamiento que se forma a partir de la emisión de carbono por proceso de respiración de las plantas, animales y la descomposición orgánica, procesos a los que se añade la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que se da producto de la deforestación en ciertos territorios, así como incendios, quema de combustible o gases provenientes de la industria, contribuyendo con el desequilibrio global en el ciclo natural del carbono.

De esta manera, el intercambio de carbono entre el reservorio terrestre y atmosférico va a producirse como consecuencia de un proceso natural; siendo así, la fotosíntesis, respiración y emisión de gases causada básicamente por acción del



hombre; cabe mencionar que la captura de carbono a través de la fotosíntesis se dará cuando las plantas absorban energía solar y dióxido de carbono del medio, las cuales van a transformarlo en oxígeno e hidratos de carbono para ser liberado, sirviendo así de base para el crecimiento.

A esta premisa los autores añaden la biomasa vegetal, la cual corresponde a un parámetro que comprende la capacidad que tienen los ecosistemas para acumular materia orgánica a través del tiempo, esta se compone por el peso que tiene la materia orgánica del aire y la materia orgánica subterránea que se produce en el ecosistema.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la biomasa será esencial para la cuantificación de los nutrientes que existirán en diversas partes de las plantas y de los estratos de la vegetación, ello permitirá que pueda darse la comparación de diferentes tipos de especies, así como de asociaciones que existan en distintos lugares, además de que se de una estimación de la fijación del carbono.

En este sentido, se reconoce que los bosque representan los espacios naturales que almacenan grandes cantidades de carbono en su biomasa, esta corresponde a sus ramas, tronco, hojas, corteza y raíces, además del suelo donde se encuentra contabilizando el aporte orgánico, principalmente aquel que proviene de sus raíces muertas; en territorio amazónico sudamericano, las raíces constituyen más de la mitad del carbono total que se encuentra en los primeros 10cm del suelo; sin embargo, las raíces que están concentradas en la superficie se hallan hasta de 15 cm en aquellos bosques que pertenecen a la Amazonía de Brasil.

En tal punto se considera que cualquier actividad que se encuentre relacionada con el uso del suelo y por ende que pueda generar la modificación de la biomasa vegetal de un ecosistema, producirá que se altere la cantidad de carbono que este almacena, ello dará lugar a que se reduzca la existencia del bosque original.

Respecto a la proporción de las raíces finas será ligeramente mayor en aquellas zonas de mayor pobreza o que tenga presencia de restricciones para el crecimiento y penetración de raíces; asimismo, las secciones aéreas y subterráneas van a depender una de otra para la producción de biomasa, en tanto, es considerable que las raíces requieran de los carbohidratos que se produce en la sección aérea por fotosíntesis, mientras que esta requiera los nutrientes y agua que son adquiridos por las raíces, es por ello que la producción de raíces tiende a darse en aquellos árboles que siguen un patrón de crecimiento aéreo, alcanzando el



máximo de su incremento antes de la ocupación del lugar que suele darse con el cierre de las copas.

Por su parte Garrido (2016) añaden que la biomasa al considerarse como la cantidad de materia orgánica e inorgánica que mantiene un ecosistema, su valor se expresa en unidades de volumen o peso seco, de tal modo también que, cuanto mayor tiempo de existencia tenga el medio o ecosistema, mayor será la acumulación de biomasa; esto implica también que la acumulación de carbono será mayor.

El almacenamiento de carbono se compone principalmente por la biomasa, la materia orgánica y el suelo, por tanto, va a depender en gran parte de la biomasa que se produzca debajo del suelo, como es el caso de raíces, así como de la biomasa aérea, que corresponde a las ramas, follaje y demás, a este elemento se añade la materia orgánica del suelo y aquella que se obtiene de la hojarasca, hojas y ramas.

El carbono que se contiene en las capas de los suelos forestales se origina básicamente por fragmentación de rocas madre expuestas, donde se forman organismos vegetales, las cuales a través del tiempo van a formar capas de depósito de materiales, y estas al acumularse y compactarse almacenarán cierta cantidad de carbono, la cual al incrementarse por la continuidad del proceso con el que se formará el suelo.

Cabe destacar que no solo la antigüedad de un ecosistema será el factor que determine la cantidad acumulada de este compuesto, es relevante tener en cuenta las diferentes variables ambientales que se producen en el medio, así como en la comunidad, entre otros factores externos a la biomasa.

1.3 Fuentes y reservas de carbono orgánico

Las fuentes y reservas de carbono hacen referencia a los sistemas que tienen la capacidad de acumular y emitir este compuesto; cabe mencionar que las reservas son medidas en función a su masa, de esta manera se tendrá la presencia de una variedad de reservorios de carbono, estos se encontrarán asociados al uso del suelo, a la silvicultura, proyectos agrícolas, entre otras actividades.

Para Cuellar y Salazar (2016) se definen cinco reservorios en C en el ecosistema, biomasa arbórea, hojarasca y madera muerta, arbustiva y herbácea, raíces



y carbono orgánico del suelo; siendo el método más usado para la medición de biomasa sobre el suelo, aun cuando existan diversos vacíos.

El autor sostiene que el bosque tropical amazónico es a la actualidad el ecosistema que contiene la mayor cantidad de carbono (305 tC/ha) toneladas de las cuales el 28% se encuentra en su suelo, siendo así, en los bosques maduros el incremento de la biomasa será equivalente a una captación neta de carbono de $0,62 \pm 0,37$ t/ha/año; en este sentido, en territorio peruano, en Nanay se evaluaron bosques que no han sido intervenidos reportándose valores de 208,32 t/ha en varillales y 452,38 t/ha en aguajales, esto se da para la biomasa hallada sobre la superficie.

Es así que el carbono almacenado como parte de la materia orgánica representa más de 1400 Gt, considerando que 1Gt es 1015g, lo que representa básicamente el doble de lo que existe en la atmósfera.

Respecto a los cinco depósitos de carbono que se atribuye a un ecosistema se considera que los depósitos arbóreos, arbustivos/herbáceos y los de hojarasca y madera muerta pertenecen al denominado depósito aéreo; mientras tanto, los depósitos de raíces final y el de suelo pertenece al depósito subterráneo.

Mientras tanto Laban, Metternicht y Davies (2018) distinguen que el carbono orgánico forma parte del proceso global del mismo, por lo que sus reservas no serán estáticas, encontrándose en un constante ciclo entre los diferentes sumideros de carbono que existe, ya sea en el suelo, en la vegetación, atmósfera y océanos.

Sin embargo, serán los suelos aquellos que tengan la segunda mayor reserva de carbono, después de los océanos, además de que estos van a contener la tercera parte de las reservas a nivel mundial; asimismo, independientemente de las variaciones que se tienen en los cálculos, se estima que aquellas reservas mundiales de carbono orgánico oscilan entre los 1500 GtC en su primer metro de suelo, confirmando nuevamente que contienen más de lo que presenta la atmósfera y la vegetación terrestre juntas.

A este hecho se considera que las dimensiones espaciales y temporales que tienen las reservas van a ser variables, dependiendo de factores biótico y abióticos, los cuales incluirá el tipo de suelo, el uso de la tierra, las condiciones climáticas y otros factores, cabe mencionar también que las mayores reservas de carbono



que se encuentran en el mundo se asocian directamente a territorios como humedales y turberas, estas se encuentran principalmente en regiones donde los suelos están constantemente congelados, además de los trópicos con los bosques.

1.4 Captura de carbono

La captura, así como el almacenamiento representa un proceso que constituye la separación de CO₂ que emite la industria y fuentes afines con la generación de energía y procesos de combustión, a fin de que estos puedan ser transportados y almacenados de manera geológica para ser aislados de la atmósfera a largo plazo.

Para Cuellar y Salazar (2016) la captura de carbono se da de diversas formas, siendo esta en la biomasa aérea, en las raíces, en el depósito arbustivo herbáceo, en el depósito de madera muerta, en el suelo y en la biomasa arbórea.

- Captura de carbono en biomasa aérea

Tomando en cuenta que la biomasa aérea comprende a las ramas, tronco, hojas y follaje, se representa a partir de tres depósitos, siendo la biomasa arbórea, arbustiva herbácea y la biomasa muerta y/o hojarasca, esta captura por ende será expresada en toneladas por hectáreas.

- Captura de carbono en raíces

Es de conocimiento que las raíces son una parte esencial para el ciclo del carbono, dado que estas serán las encargadas de la transferencia de grandes cantidades de carbono al suelo, donde este a su vez se almacenará a largo plazo, siempre y cuando no se lleve a cabo una alteración del mismo, es así que parte del carbono utilizado será para la incrementación de la biomasa, sin embargo, es relevante considerar que este carbono se perderá también a través de la respiración, exudación y descomposición de la materia.

En este sentido, las pasturas que tengan bases gramíneas mejoradas van a secuestrar mejor el carbono en las partes más profundas del perfil del suelo, generalmente aquellas que están debajo de la capa arable, que oscila entre los 10 a 15 cm, dicha característica hará que el carbono quede menos expuesto a procesos de oxidación y así el de su pérdida como gas invernadero.

- Captura de carbono en depósito arbustivo herbáceo



La biomasa arbustiva y herbácea se compone de biomasa epígea fresca que contiene arbustos menores a 2,5 cm de diámetro, gramínea y otras hierbas conociéndose como sotobosques.

- Captura de carbono en depósito de madera muerta y hojarasca

La captura de carbono en estos depósitos se da a través de la materia orgánica que se encuentra en proceso de descomposición, esta se origina cuando las estructuras vegetales como las hojas, ramas y troncos que serán depositados en el suelo; asimismo, la capa de la hojarasca y diversos microorganismos tendrán la función de mantener la productividad del ecosistema, así como la cantidad y composición de la materia que se deposite en el suelo y con ello la descomposición serán factores esenciales para llevar a cabo la eficiencia en el ciclo de obtención de nutrientes, es así que el suelo recibe la entrada directa de carbono que proviene de las partes muertas de los árboles y demás plantas aledañas, las cuales van a desarrollar un intercambio activo con la atmósfera al integrarse totalmente al suelo fijando y acumulando el carbono.

- Captura de carbono en suelo

En el suelo, el carbono se encontrará en forma orgánica e inorgánica, de tal modo que el carbono inorgánico será capturado en forma más estable como es el caso del carbonato de calcio, motivo por el que no se considera al momento de llevar a cabo un inventario de carbono en el ecosistema; sin embargo, el carbono orgánico en los suelos naturales será prácticamente el balance dinámico que existe entre la absorción de material vegetal y la pérdida que se producirá por la descomposición reconocida también como mineralización.

En condiciones aeróbicas del suelo, el carbono que ingrese será lábil y solo un 1% se acumulará a la fracción húmica estable, es por ello que los diversos reservorios de carbono que existen a nivel del suelo tendrán diferentes tiempos de residencia, ello dependerá de la composición bioquímica como es el caso de la lignina siendo estable en celulosa y teniendo un tiempo de residencia desde una década hasta un aproximado de mil años.

- Captura de carbono en la biomasa arbórea

Si bien se asume que el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% del peso seco sin diferenciar especies; sin embargo, se denota la variabilidad



del contenido de carbono de acuerdo a la especie y tejido del árbol; la densidad o gravedad específica varía también entre las especies y condiciones de los lugares, es por ello que para proyectos de captura de carbono se resalta la importancia de contar con una cuantificación de carbono con base de información diferenciada por especies y componentes del árbol, considerando que es un dato biológico que reflejará y determinará un porcentaje representativo de la cantidad de carbono secuestrado.

1.5 Ciclo global del carbono

El carbono al corresponder uno de los elementos químicos más importantes que compone el medio natural, este va a tener gran circulación en diversos espacios, tales como océanos, atmósfera, suelos, entre otros, es por ello que va a formarse un proceso o también denominado como ciclo global del mismo.

Al respecto Burbano (2018) sostiene que el ciclo del carbono va a tener su origen con la fijación del dióxido de carbono en la atmósfera, este se va a producir a través de la fotosíntesis que llevan a cabo las plantas y con ella algunos microorganismos, es entonces en dicho proceso que el dióxido de carbono y el agua tendrán una reacción que formará los carbohidratos, estos a su vez serán los encargados de la liberación de oxígeno para la atmósfera.

De esta manera, parte de los carbohidratos van a ser consumidos directamente como suministros de energía para las plantas y el dióxido de carbono que ha sido generado se liberará mediante las raíces y hojas; cabe mencionar que otra parte será consumida por los animales, los cuales también podrán liberar sus niveles de dióxido de carbono a través de sus propios procesos metabólicos.

Por otra parte, los animales y plantas que se encuentran en estado de descomposición generan tal proceso mediante la presencia de microorganismos que contiene el suelo, es por dicha razón que el carbono que presentan los tejidos tenderá a oxidarse formando nuevamente dióxido de carbono y este retornará a la atmósfera para repetir el ciclo.

Asimismo, es importante tener en cuenta que en el suelo se produce una respiración, la cual consiste en la producción de CO₂, resultado de dos procesos que corresponde a la ruptura u oxidación de la materia orgánica del suelo (MOS) la cual se genera por la reacción de microorganismos, mientras el segundo proceso corresponde a la respiración de células de las raíces de plantas, por tanto, dicha



tasa de producción de CO₂ será de gran importancia, dado que esta representa un indicador de los niveles de descomposición de la materia orgánica del suelo, lo que indicará entonces la cantidad de carbono que perdería el suelo, es por ello que tales medidas contribuyen al balance de carbono en la atmósfera.

Siguiendo esa línea, se considera entonces que el ciclo global del carbono va a estar determinado por dos ciclos básicos, siendo uno geológico y otro biológico, cabe mencionar que estos serán a largo y corto plazo respectivamente; entonces, es relevante conocer que el intercambio de CO₂ que se produzca entre la vegetación y la atmósfera generará cambios en los balances netos entre el secuestro y liberación de carbono durante los tiempos que se ha establecido.

Por su parte Rojas et al. (2017) expresan que en el ciclo del carbono se establece un balance sobre el flujo y almacenes, en tal sentido, la circulación del carbono comienza en la reserva atmosférica, siendo así, las plantas adquieren el CO₂ atmosférico a través de la fotosíntesis, sin embargo, una parte del CO₂ regresará a la atmósfera, asimismo, el flujo de CO₂ en los ecosistemas terrestres están regulados principalmente por el suelo, dado que en esta zona van a ser mineralizadas constantemente residuos de animales, plantas y materiales orgánicos, de esta manera, se resalta que el proceso será dinámico e influye en las condiciones climáticas del planeta.

1.5.1 Ciclo biológico

El ciclo biológico del carbono se caracteriza por ser de corta duración, dado que los compuestos del carbono tienden a transformarse en procesos rápidos como puede ser la respiración, o también procesos que llevan pocos años, como es el caso de la descomposición de materia orgánica del subsuelo.

De acuerdo a Iroz et al. (2018) el ciclo biológico del carbono es considerado como la fase más rápida de ésta, dado que la renovación de la cantidad de carbono que mantiene la atmósfera va a darse cada veinte años, asimismo, es importante considerar que el flujo de dióxido de carbono se dará a través de procesos rápidos como es la respiración y fotosíntesis para las plantas, de tal modo que este último proceso se encarga de la absorción de CO₂ y energía solar para que pueda producirse el oxígeno e hidratos de carbono, elementos que permitirá llevar a cabo un adecuado crecimiento a las plantas.



Mientras tanto, la respiración siendo el proceso que llevan los seres humanos y animales utilizan los hidratos de carbono para la obtención de energía y con ello emitirán CO₂, cabe mencionar además que los descomponedores también van a liberar compuestos orgánicos y dióxido de carbono cuando se degraden organismos muertos y productos de desecho.

Asimismo, uno de los elementos que intervendrá en el ciclo biológico se atribuye al océano, dado que este se considera como el mayor reservorio de carbono, de tal modo que la cantidad de CO₂ que absorbe o expulsa va a depender de la temperatura y concentración que tendrá el elemento, siendo así común la absorción y emisión del elemento principalmente en temperaturas cálidas.

1.5.2 Ciclo geológico

Es de conocimiento que el ciclo de carbono corresponde a la transformación del elemento para que pueda ser utilizado por seres vivos como una fuente de energía y se produzca además su retorno al medio natural, donde podrá ser reutilizado, de esta manera es que se forman dos ciclos, entre los que se encuentra el ciclo geológico.

Al respecto Zita (s. f) señala que el ciclo geológico o también denominado como biogeoquímico corresponde al movimiento que tendrá el carbono en las diversas capas de la tierra, las cuales tomarán largos periodos de tiempo.

En este sentido, el autor añade que los procesos del ciclo geológico del carbono al tomar varios años e incluso cientos o miles de años, se visualiza en procesos como la formación de rocas, erosión y fosilización.

CAPÍTULO II

PINUS RADIATA D. DON

Su nombre es conocido como *P. Radiata*, y es, sin duda, la especie arbórea más conocida de las coníferas de América del Norte, puesto que es la madera más plantada y extensa que se conoce en el mundo. Aunque su nombre es como se ha señalado, este proviene por su aspecto se asemeja a las escamas de un cono radiante. En la literatura científica de antaño, a esta especie se le conocía como *P. insignis* Doug., ya que Douglas la describió mucho más tarde (Soto, 2019).

2.1 Generalidades, clasificación y descripción botánica

El *Pinus radiata* D. Don. pertenece a la familia de los Pináceas, género *Pinus* y subgénero *Diploxylon*. Dentro de éste a la sección *Taeda* y dentro de ésta al grupo de los *Insignes* en el que figuran el *Pinus radiata*, el *Pinus muricata* y el *Pinus attenuata* conocidos como los pinos de conos cerrados de California por el carácter serotino de sus piñas.

El *pinus radiata* es una especie arbórea y es original del estado de California, USA, se desarrolla en cualquier tipo de suelo, sin embargo, esta especie prefiere solo los suelos silíceos, así como profundos. Además, prefiere climas templados o cálidos, puesto que no soporta aquellas temperaturas elevadas de frío. Esta especie con el pasar de los años se ha venido adaptando a otros climas ya que



ha habido intervenciones genéticas debido a sus propiedades y su empleo en la agricultura, entre otras técnicas silvopastoriles.

Sánchez y Rodríguez citado por Soto (2019) manifiestan que:

El área natural del *P. radiata* se reduce a unos pocos miles de hectáreas en tres puntos costeros de la California central, Año Nuevo, Monterrey y Cambria, nominadas de norte a sur, y en algunas zonas de las islas mexicanas de Guadalupe y Los Cedros (p. 23).

De acuerdo a estudios botánicos registrados buena parte de las plantaciones más pretéritas de Perú se hallan en Huánuco donde se dice que fueron sembradas un aproximado de 5 hectáreas llevadas a cabo por la familia Torne, en el distrito de Kichki (Lázaro, 2020).

En Perú en la contemporaneidad se encuentra una gran variedad de pinos. Se ha optado debido a su acelerado crecimiento, sin contar con las buenas propiedades que esta especie posee.

Debido a su adaptación, esta planta ha logrado desarrollarse en algunos países del continente europeo, así como en Nueva Zelanda. No obstante, las mayores plantaciones se encuentran en Chile, así como en Nueva Zelanda, debido quizás a sus variados climas y temperaturas.

Este árbol tiene una talla media, aproximadamente de 45 metros de altura. Su ventaja consiste en que es una planta de rápido crecimiento. Su diámetro de tronco está en los 50 cm en un lapso de tiempo de 20 años. Este árbol posee una copa que en su juventud es piramidal, pero cuando llega a la adultez, esta se aplanada o se aboveda. De igual modo, este árbol presenta un tronco recto con ritidoma de color rojo – rojizo. Tiene unas hojas en forma de agujas de unos 15 cm de longitud que se agrupan en tres.

De acuerdo a Mayta (2019):

El *Pinus radiata* es fácilmente reconocible en estado adulto por ser una especie de copa amplia – densa y redondeada. La madera del pino tiene cualidades técnicas que hacen muy demandada en la industria de la celulosa, muebles y construcción, donde se utiliza en la fabricación de papeles finos, muebles para hogares, oficinas, tablas y otros (p. 23).



Esta planta es de gran interés para la industria, y los cultivos puesto que su madera es de gran calidad, además porque su crecimiento es rápido lo que hace que los beneficios se vean en poco tiempo.

Su madera es muy versátil lo cual permite usarla en diversas actividades, así como en usos. Entre las que se destaca se encuentra, la pasta de papel, tableros contrachapados, madre aserrada, entre otros usos, como por ejemplo, servir para cortar el viento. Por otro lado, esta especie ha sumado su empleo al ser usada como sumidero de carbono, así como en la producción de biomasa (Merino et al por Ferrere, Lupi y Boca, 2016).

En el país austral esta planta fue introducida hacia finales del siglo XIX por el biólogo Arturo Junge Sahr por encargo del vivero de nacionalidad alemana G. Porzel. Debido a su rápido crecimiento, esta especie logró alcanzar no solo fama en Chile, sino que se volvió muy popular en el uso de los monocultivos arbóreos que dio origen a una importante y destacada industria forestal que hoy en día alcanza un aporte anual del 2,8 % en PIB.

No obstante, esta misma industrial forestal basada fundamentalmente en el monocultivo de *Pinus Radiata* ha venido presentando problemas, así como drásticas consecuencias ambientales, puesto que desde un comienzo estas plantas fueron cultivadas en aquellos suelos degradados por la agricultura generando problemas ambientales debido a que antes existían sólo plantas autóctonas en esta región. En ese sentido, Mead citado por Soto (2019) ha señalado que:

El *P. radiata* ha demostrado ser una especie muy adaptable en sus principales países de adopción. A menudo se planta en una amplia gama de sitios con aparentemente poco respeto por su nicho ecológico. Sin embargo, su historial de éxitos y fracasos muestra que hay lugares donde no se debe plantar y otros sitios donde es ideal. Los factores abióticos que afectan el crecimiento de los árboles incluyen variables como el clima, la topografía y el suelo (p. 26).

Gracias a su rápido crecimiento y su extensión esta especie es capaz de regenerar aquellos suelos que han sido víctimas de procedimientos inadecuados, así como de quemas que han sufrido algunos bosques alrededor del mundo. Es de hoja perenne, sus hojas al estar ya viejas estas caen al suelo comenzando así un proceso de recuperación de los suelos debido a su capacidad de absorber los agentes químicos que acaban con los suelos. Estas igualmente aportan materia orgánica



y contribuye a que este no se degrade y se erosione, puesto que ayuda a retener la mayor cantidad de humedad.

Gracias a su rápido crecimiento, esta especie se emplea en las reforestaciones. Como respuesta a los procesos degradantes, esta planta regenera los suelos que han padecido no sólo procesos drásticos, catástrofes ambientales, inundaciones, entre otras actividades adversas, sino que incentiva a que los procesos orgánicos se lleguen a cumplir a cabalidad para salvar a estos suelos. Med citada por Ferre-re, Lupi y Boca (2016) señalan que “es una de las principales especies forestales a nivel mundial, estimándose actualmente unos cuatro millones de hectáreas implantadas” (p.423).

Etimología de la planta

Pinus: Nombre que proviene del vocablo latino y significa pino

Radiata: epíteto de origen latino, significa radial, con rayos.

Esta especie es conocida también con los nombres siguientes:

Pino, pino de Monterrey, pino insigne, pino insignis, pino radiata, pino candelabro y pino volador.

Taxonomía

El pino radiata, como se indicó en líneas arriba, es originario de California. Su ubicación taxonómica de *Pinus Radiata* es:

Orden: coniferales

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*

Especie: *Radiata*

Nombre científico: *Pinus Radiata*

Nombre común: Pino.

Dussan y Rincón citados por Chura y Muchica, (2021)



Raramente este árbol llega a alcanzar una altura de 60 m, por lo que su medida estándar oscila entre los 15 y los 50 m. De acuerdo a diversos estudios, esta planta llega a variar y esto va a depender en gran medida del tipo de suelo, así como de la temperatura donde esté. En algunos países se han observado fenotipos muy vigorosos, así como en otras latitudes donde no lo son. En la siguiente figura se muestra un ejemplar del árbol.

Figura 1.

Individuo adulto de P. radiata, hojas, flor y frutos



Nota. Tomado de Soto (2019).

Características botánicas

Esta especie tiene un tallo recto, su corteza es marrón. En cuanto a su ramificación se presenta en forma de pirámide. Cuando llega a la madurez pierde sus ramas más bajas, quedando su tallo desprovisto de ramas bajas dándole un aspecto degradado, desgastado y con la copa plana, sólo en la etapa adulta. En relación a sus hojas, estas van de 5 a 8 cm de longitud.

En cuanto a sus frutos, estos tienen forma de cono de color marrón y miden entre 2,5 a 10 cm de ancho y 5 a 21 cm de largo. En ocasiones los frutos llegan a estar en los árboles durante un periodo de tiempo, “cada fruto contiene un aproximado de 200 semillas, dándose la mayor producción de semillas en árboles de



15 a 20 años de edad” (Espinoza citado por Lázaro, 2020, p. 30).

En relación a la semilla, esta es de forma alada de hasta 4mm de longitud de color negro grisáceo.

Requerimientos ambientales del pino

Temperatura

Para Espinoza citado por Lázaro (2020) esta especie requiere poca temperatura, entre 16 a 18° C en verano; mientras que en invierno entre 9° a 11° C.

Clima

“Se adecua a altitudes de 1800 a 3500 msnm, con temperatura de 14 °C, precipitaciones de 400 a 1600 mm anuales, son exigente de luz y resistentes a heladas” (Bobadilla citado por Lázaro, 2020, p. 31).

Suelos y topografía

Esta especie, por lo general, habita en suelos muy profundos, así como drenados.

2.2 Fenología y silvicultura

Por fenología se entiende que es una ciencia cuya tarea es estudiar los procesos no solo vitales de las plantas, también se encarga de estudiar los fenómenos que ocurren en los procesos dinámicos de las plantas, esto le ha servido al hombre a aprovechar mejor el rendimiento en cuanto a los ciclos que se dan en las especies arbóreas. La fenología, en este sentido, forma parte de las dinámicas naturales que cumplen las especies vegetales. El conocimiento de esta ciencia contribuye en cierta medida a entender los patrones que se cumplen en los ciclos tanto reproductivos como vegetativos de las especies vegetales, así como de los animales que se benefician de ellas (Ochoa – Gaona, Pérez y de Jong, 2008). Mediante el conocimiento de la fenología no solo se pueden saber los ciclos biológicos que registran las especies vegetales, sino que también se pueden conocer las dinámicas que se dan entre los animales y las plantas; asimismo, las interacciones, y la evolución de estas. Por otro lado, el conocimiento en sí proporciona en su conjunto una serie de información acerca de la disponibilidad de recursos a lo largo del año. También sirve para determinar las estrategias de recolección de



los frutos lo que favorece la producción de nuevas plántulas ((Mantovani et al citados por Ochoa – Gaona, Pérez y de Jong, 2008)

Por lo general, los eventos fenológicos más comunes en las especies vegetales son la siembra, la germinación, floración, está en primera fase, completa, última y la última. En cuanto a los eventos que suele tener una especie vegetal se encuentra, la presencia de yema, las hojas, maduración de frutos, caída de las hojas. Un ejemplo puede ser en el mango cuya fenología se da a partir del siguiente ciclo:

- Aparición de hojas nuevas
- Floración
- Amarre del fruto
- Inicio
- Terminación
- Y madurez.

La fenología en especies como la estudiada en el presente estudio está referida principalmente a ciertos y normales ciclos que suelen cumplir las especies vegetales, como, por ejemplo, la brotación, la florecencia, y la maduración de sus frutos. En la medida que transcurre el periodo fenológico los elementos alojados en el exterior, tales como frutos suelen mostrar o presentar características muy propias de estos procesos.

Por lo general estos cambios, se deben, en su mayoría, a ciertas condiciones en que se encuentra la especie, tales como tipo de suelo, así como temperatura y clima, también el contexto o también conocido como hábitat. Diversos estudios señalan que existen factores como la calidad del suelo, así como el tipo de clima los cuales influyen en la elongación de los frutos, entre otros procesos (Hernández y Rubilar, 2012). Por otro lado, es importante, tener en cuenta que existen diversas variaciones fenológicas dignas de destacar como, por ejemplo, las dimensiones en cuanto a las distintas especies de pinos que suelen ser determinantes, puesto que varían entre las edades de estos. Asimismo, en cuanto a la cantidad de propiedades que tengan los suelos, como los niveles de nitrógeno



y fósforo, elementos esenciales para su producción y posterior reproducción (Hernández y Rubilar, 2012).

Figura 2.

Proceso fenológico de una planta



Figura 3.

Fisiología del P. radiata



Existe en las especies vegetales un proceso normal conocido como brote vegetativo el cual se da entre la estación de primavera y verano. Al llegar a la estación de otoño, conocido como el período de reposo vegetativo, los brotes están ya casi formados. No obstante, es en primavera donde se da el engrosamiento de los frutos, este proceso se puede notar por la apertura de las escamas o también conocidas como brácteas, y que luego dará la elongación del meristema apical, así como la aparición de las primeras hojas.



Los brotes de primavera son multinodales, agrupándose las ramas en uno o más pseudoverticilos. Las acículas se agrupan, predominantemente, en fascículos de tres salvo la variedad "binata" de las islas mexicanas de Guadalupe y Cedros que lo hacen predominantemente en fascículos de dos. Tienen longitudes entre 7 y 18 cm.; persisten verdes de dos a cuatro años, dando a la copa un aspecto muy denso, de tonalidad más oscura que la del pino pinaster.

En su hábitat original florece a finales del invierno o principios de primavera, madurando los conos (piñas) en el segundo otoño. Se insertan en el segundo verticilo de las guías, principal o laterales.

Las piñas tienen carácter serotino, esto es, permanecen sujetas al árbol durante muchos años, conservando viable la semilla. Sólo se abren temporalmente, cuando hace calor fuerte, soltando parte de los piñones y volviendo a cerrarse después. El incendio produce intensa diseminación. El peso medio de una piña es de 100 g. y contiene entre 70 y 120 piñones. Por kilogramo, el número de piñones varía entre 28.000 y 40.000 unidades, con una media de 35.000 unidades.

Silvicultura

Se le conoce como silvicultura a esta ciencia que se encarga de establecer, así como de formar, recuperar, manejar y conservar los bosques. De igual modo, esta ciencia ha servido para la producción no solo de bienes útiles para la sociedad en general, sino también para proveer de servicios. Silvicultura significa en términos ecológicos, la ciencia forestal, es decir, la relación que existe entre el bosque y su medio, para ayudar en el equilibrio del hombre con el ambiente:

La silvicultura es una industria importante que contribuye al desarrollo, mediante la utilización de los recursos forestales otorgados por la naturaleza, los que deben ser continuos y permanentes para satisfacer las necesidades del hombre sin perjudicar el bienestar de las generaciones futuras (Zegers citado por Aguilar *et al.*, 2017, p. 16).

Esta ciencia es a la vez arte, pero también es la forma de proteger, de preservar y de conservar los bosques, igualmente de plantar árboles, así como los recursos naturales, tales como los ecosistemas que forman parte del ciclo vital del planeta puesto que cumplen una tarea específica y definida. Por ser una ciencia, la silvicultura comporta un marco multidisciplinario que abarca un sinnúmero de

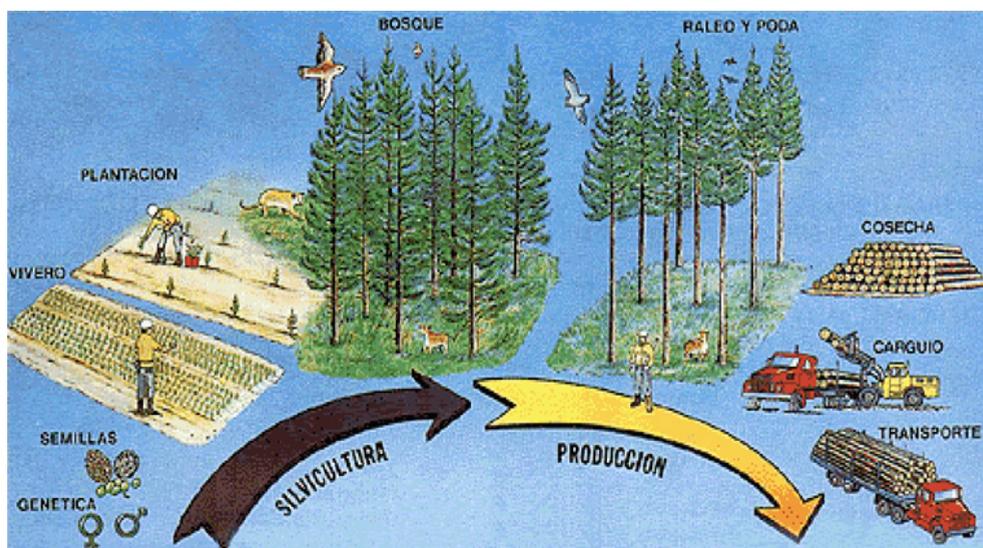
actividades propias del medio ambiente, como la biodiversidad, así como el uso correcto que se le dan a los recursos naturales conocidos.

Se trata del cuidado de los bosques, pero también de los cerros y los montes. De igual manera, la silvicultura trata acerca del cuidado y la preservación de los suelos, también de las técnicas que se aplican en la agricultura con la finalidad de obtener mejores y mayores beneficios, así como para prolongar la salud de la capa vegetal. Por lo tanto, la silvicultura es una actividad económica de gran importancia que consiste en el aprovechamiento de aquellos recursos forestales para la obtención de bienes y servicios como madera y resina, útiles para la industria, entre otras actividades humanas.

Esta ciencia sirve para ver en qué estado se encuentran los bosques, también para estudiar los bosques, hábitat, así como preservar las diversas especies existentes y en peligro de extinción. No obstante, a nivel nacional, es decir, en Perú, esta ciencia ha sido solo enfocada hacia el aprovechamiento de la madera, lo que la limita y la lleva hacia otros fines los cuales pueden ser perjudiciales en un futuro.

Figura 4.

Ciclo de la silvicultura



Nota: tomado de Basantes, (2016).



La silvicultura, además de lo anterior, tiene que ver con los ciclos de espera en las cosechas, pero en términos de tiempo en que una especie da sus frutos. Al ser una ciencia, la silvicultura tiene objetivos los cuales están relacionados con las etapas en que una semilla puede mejorar su rendimiento en periodos de tiempo. Buena parte del tiempo, esta ciencia solo se ocupaba de la producción de madera con fines industriales, esta ciencia en la actualidad ha servido como puente para conocer los procesos y las dinámicas ambientales, así como todo aquello relacionado con el agro y silvopastoril. Por otro lado, también se ha venido ocupando de los hábitats, su preservación, así como su conservación. De igual modo, la protección de cuencas hidrográficas, y el desarrollo de áreas recreativas (Basantes, 2016).

Se ha hecho necesaria que la silvicultura tenga entre sus tareas velar por los beneficios ambientales de una manera tanto sostenible en el tiempo, como sustentable, esto ha permitido que no solo se logre mitigar el abrasivo efecto negativo de los agentes contaminantes en los suelos, sino de aprovechar al máximo los beneficios de los agroecosistemas:

Mediante el manejo de los sistemas agroforestales se incrementan las ventajas ambientales, sociales y económicas en el conjunto de la sociedad, tales como la conservación y aumento de la biodiversidad, la diversificación y la reducción del riesgo en el proceso productivo, la generación de empleo permanente, seguridad alimentaria, el control de plagas y enfermedades, la captura de carbono, recuperación de suelos y pasturas degradadas y la conservación de fuentes hídricas (Basantes, 2016, p. 7).

Es por ello que se hace necesaria, la implementación de centros de enseñanza y de capacitación con fines educativos, con el fin de proveer las herramientas necesarias para un correcto y adecuado manejo y control de los recursos forestales, con el único fin de desacelerar el drástico proceso de contaminación, así como aprovechar las bondades de los suelos para un correcto manejo del carbono que se aloja en él. Asimismo, la diversidad de especies que cohabitan en los bosques los cuales también contribuyen en el ciclo biótico y natural.

Existe un estimado de 2.000 millones de hectáreas de bosques que han sido víctima de la degradación, la cual ha sido reconocida a escala mundial como uno de los daños más contundentes al planeta, tanto en lo económico, en lo social y por supuesto, en lo ambiental (FAO; Simula y Mansor citados por Vásquez – Grandón, Donoso y Gerding, 2018).



Este panorama, aunado con el uso que se le ha dado a los suelos han generado enormes daños a la capa vegetal, así como al debido proceso ambiental que ha venido presentando no solamente serios inconvenientes, sino que ha propiciado fenómenos como nunca antes vistos. Entre ellos el calentamiento global como consecuencia de las diversas actividades industriales. De allí que, se hace necesaria la implementación de buenas prácticas que incluyen las ya conocidas como el reciclaje y el correcto y adecuado manejo de los desechos sólidos, así como el aprovechamiento de la materia orgánica, y el uso de las medidas preventivas y correctivas. Esto con la finalidad de mantener el equilibrio medioambiental, así como asegurar la alimentación, y el desaceleramiento de los agentes contaminantes que son arrojados a los suelos con el fin de generar más productos.

Las acciones por las cuales han sido sometidos los suelos han causado daños en sus capas, la acción desenfrenada de procesos contrarios ha estimulado en gran medida que los suelos ya no generen un ambiente limpio, lo que ha provocado que los suelos pierdan sus propiedades, entre otras actividades. De acuerdo a la FAO se estima que la demanda de agentes contaminantes se vea afectada por la acción humana, el uso de prácticas inadecuadas, entre otras.

Tipos de silvicultura

Existen ocho tipos de silvicultura, los cuales son:

- Clonal
- Preventiva
- Tropical
- Comunitaria
- De precisión forestal
- Sostenible
- Urbana

Características

1. Se fundamenta en el estudio de las producciones
2. Se encarga de explotar los recursos para su aprovechamiento



3. Es una ciencia que se adapta a los fines que persigue
4. Se centra en la tala, pero como actividad para el aprovechamiento de los recursos madereros, entre otros recursos.

Para qué sirve la silvicultura

Una de las utilidades que tiene esta ciencia es que esta se encarga del aprovechamiento de los espacios ambientales, esto quiere decir, que se intenta aprovechar el mayor número posible de hectáreas con plantas que sean útiles, así como prácticas para el comercio y la vida. Por lo general, este aprovechamiento tiene que ver con el cultivo de árboles madereros, así como de forraje que son empleados en la ganadería para el alimento de los animales. En tiempos pasados, esta ciencia solo se centró en la producción de madera, sin embargo, en la actualidad, se han venido incorporando otras actividades, así como procesos innovadores que incluye la ciencia y la tecnología.

Como toda ciencia, ésta comporta una serie de ventajas, pero también de desventajas.

Ventajas

La silvicultura es una actividad capaz de brindar un buen rédito económico, ayuda al medio ambiente por medio de la forestación de diferentes zonas desérticas y que tienen baja cantidad de árboles. Da mano de obra en toda la línea de producción que va desde preparar la tierra hasta aserrar la madera.

Desventajas

Una de las desventajas se da cuando la persona que se dedica a la silvicultura no conoce el terreno, por lo que puede ocasionar daños, no solo al suelo, sino también a las diversas especies que cohabitan el bosque, así como otros recursos importantes.

Importancia

La silvicultura tiene gran importancia porque puede ayudar a cumplir los diferentes objetivos de desarrollo sostenible. Es un área que puede llegar a contribuir de manera significativa a superar los retos que enfrentan en la actualidad



los bosques y al mismo tiempo minimizar los cambios climáticos. Es una actividad que puede llegar a ayudar a la creación de inversiones en las empresas madereras y aumentar las explotaciones gestionadas que pueden generar empleo para muchas familias.

2.3 Distribución y hábitat del *Pinus radiata*

Este pino es un árbol cuyo hábitat es la costa de California. Llegó a introducirse en Europa a mediados del siglo XIX. No obstante, en la actualidad se cultiva tanto en parques como en jardines debido a que es un árbol que goza de una gran adaptabilidad. Por su dureza, esta especie se emplea en zonas que han padecido problemas de deforestación, quemas y disturbios ambientales. De igual manera, se encuentra como variedad *Pinus radiata* var. *binata* o pino de Guadalupe en la isla de Guadalupe, y una posible variedad separable de *P. radiata* var./ subsp. *Cedrosensis* en la isla de Cedros, ambas en el Océano Pacífico frente a la costa oeste de la península norte de Baja California, México. Es un árbol introducido de manera intensiva en Australia, Nueva Zelanda y España, así como en Argentina, Chile, Uruguay, Kenia y Sudáfrica.

Por ser un árbol de proporciones medianas, este necesita para su crecimiento y posterior desarrollo una profundidad considerable, al menos 25 cm de suelo para lograr establecerse, luego para lograr altitud este necesita entre 90 y 120 cm para alcanzar una altura que oscila entre los 30 a 36 m, así como un diámetro de 1.5 a 1.8 m. Sobre las dunas, esta especie alcanza una altura de 12 a 18 m. con su respectivo diámetro de 60 a 90cm. Por lo general, sus raíces son meramente superficiales, no logrando una profundidad que supere los 60 cm.

El crecimiento de forma favorable de esta especie vegetal se da sólo en aquellos suelos que le son favorables, es decir, de textura franco arenosa. Este pino, por ende, no crece en aquellos suelos pedregosos, o que presentan problemas de drenaje.

2.4 Características de la madera

Por su calidad este árbol proporciona unas características físico mecánicas que son similares al resto de coníferas, por lo que lo hacen ser un árbol de gran ventaja para la industria. De acuerdo a datos ofrecidos por INFOR citado por Acuña – Alegria *et al.*, 2018 “La madera de pino radiata representa el 96% de la industria nacional del aserrío, con una producción anual de 8,3 millones de



metros cúbicos” (p. 596), así como para el saneamiento de aquellos suelos que han sufridos procesos drásticos, disturbios ecológicos, entre otros. Sin embargo, más allá de estas características se destaca por la homogeneidad que esta especie presenta.

En cuanto a su dureza, señala Gutiérrez (2014):

Este pino corresponde a la categoría de maderas blandas, muy parecidos a los que presenta la mayoría de los pinos que existen en España, por lo que la madera del radiata es muy fácil de trabajar y ofrece valores idóneos para la penetración de útiles cortantes, clavos y tornillos (p.19).

En cuanto a su empleo, este puede ser usada en la industria maderera por su gran versatilidad, ya que su corteza es blanda, en la escala de Chaláis Meudon presenta un 1.8 de dureza, así como de ligereza de 500 kg/m³ al 12% de humedad. Si por algo se destaca esta madera es por ser fácil de trabajar, así como por su costo, puesto que abunda y su crecimiento es rápido. Es muy común ver esta madera en la fabricación de tableros (contrachapados, alistonados, de fibras...), en la fabricación de carpintería de interior y de exterior, en mobiliario sobre todo de apariencia rústica, así como en artesanía en talla o escultura.

2.5 Propiedades físicas y mecánicas

Es bien sabido que el mundo está atravesando en la actualidad por exigencias cada día más acentuadas, por lo que la industria dedicada a la explotación maderera se ha planteado como reto evaluar el tipo de madera que no solo se emplea para fines industriales, sino que también con fines netamente agro ecológico, por lo que se ha hecho indispensable saber qué tipo de propiedades tiene la madera, con el objetivo de emplearlas y de este modo darle una mejor utilización. Estas pruebas son de tipo mecánicas que al ser sometidas a ciertos procedimientos registran la magnitud de la misma. Esto demuestra qué propiedades presenta, entre otros aspectos.

Con un peso moderado de 450 kg/m³ a 12% de contenido de humedad. La madera de esta especie vegetal presenta una dureza de 200 kg, lo que lo hace ser uno de los pinos más resistentes. Asimismo, presenta una durabilidad de 1 a 5 años en las capas externas. En relación a agentes externos, como hongos, esta especie tiene la capacidad de resistir un ataque de estos seres que viven en la capa vegetal.

CAPÍTULO III

CARBONO Y MEDIO AMBIENTE

La creación del protocolo de Kioto en 1997 fue uno de los hitos sociohistóricos más importantes de la humanidad, porque colocó en el foco de atención al planeta Tierra, sus problemas ambientales y las medidas urgentes a realizar por las naciones, sus empresas y las mismas personas. El objetivo de este acuerdo de los países miembros fue establecer lineamientos para la reducción de emisión de gases de efecto invernadero en las regiones más industrializadas tal como EE. UU, y, de esta forma, frenar el avance del calentamiento global y el cambio climático (Haydee y Ortiz, 2019).

En el año 2020, ante el confinamiento social por la pandemia de COVID- 19, la emisión de los gases de efecto invernadero alcanzó su punto más bajo (Moreno, 2020), porque las fábricas cerraron, los medios de transporte se paralizaron y las personas se encerraron en sus casas. Esto reafirmó la necesidad de reducir considerablemente la emisión de estos gases por los grandes sectores industriales, de transporte y minería; asimismo, es de vital importancia concientizar a la población en torno a las estrategias de apoyo para la sostenibilidad del medio ambiente desde su posición como sujetos vivos y racionales.

En ese sentido, se considera significativo retornar a las nociones básicas y fundamentales del efecto invernadero y sus consecuencias inmediatas y a largo plazo



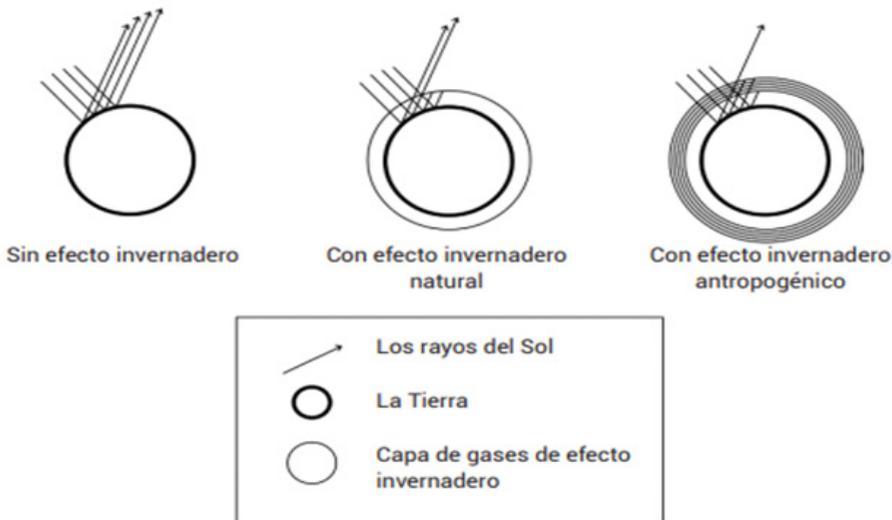
en el cambio climático, a fin de comprender la magnitud de esta problemática en la actualidad y diseñar nuevas estrategias y mecanismos, a través de las investigaciones científicas corroborada, para apoyar en lucha contra el efecto invernadero antropogénico, el calentamiento global y el cambio climático.

3.1. Efecto invernadero y cambio climático

El efecto invernadero antropogénico origina el calentamiento global, cuyos factores son la radiación del sol sobre la Tierra, la temperatura promedio del planeta, la radiación infrarroja de la Tierra y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (Breña et al., 2019). El efecto invernadero “normal”, donde la radiación del sol entra en nuestra atmósfera, calienta la corteza y luego vuelve a salir, no provoca el calentamiento global dañino ni los cambios climáticos bruscos. No obstante, si estos rayos no salen de la atmósfera, porque los GEI absorben un mayor grado de radiación, se produce el efecto invernadero antropogénico y, en consecuencia, el calentamiento de la superficie terrestre y el desorden meteorológico (Paterson, 2017; Pinto, 2020; Barlasina et al., 2021).

Figura 5.

Efecto invernadero



Nota. Tomado de Pinto (2020).



Los GEI naturales son el vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) y los GEI artificiales y creados por la mano humana son los clorofluorocarbonos (CFCs), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆) (Barlasina et al., 2021). Asimismo, aunque la combustión de carburantes fósiles es el principal causante del efecto invernadero, también lo es el ciclo ácido de tricarbónico (Burbano, 2018). Tal como indicó la IPCC (2019), la reducción del 0% de estos gases es imposible y, por lo tanto, el efecto invernadero antropogénico no se puede detener, mas sí disminuir y retrasar con la disminución de estos gases y otras toxinas.

La emisión de los GEI, el uso de gases tóxicos, y la contaminación sistemática de la tierra, mares y ríos con residuos no orgánicos y de larga duración como el plástico provocaron desde hace varias décadas la destrucción de nuestro medio ambiente, la aceleración del efecto invernadero antropogénico y el calentamiento global (Hernández, 2021). El momento en el que el mundo fijó la vista en la problemática ambiental fue con la noticia del agujero en la capa de ozono, ello activó la alerta de las naciones y se enfocaron en la revisión de los avances científicos y meteorológicos, con lo cual iniciaron el camino hacia las políticas del cuidado ambiental y demás acuerdos internacionales.

En los últimos años, las consecuencias del calentamiento global en Sudamérica fueron catastróficas en el medio ambiente: desertificación del lago Poopó- Bolivia 2016, incendio forestal- Chile 2017, inundaciones por la corriente de El Niño- Perú 2017 (Paterson, 2017). Similares y peores escenarios sucederán si la temperatura de la Tierra continúa en ascendencia, ya que si logra llegar a los 2°C habría un mayor incremento de la acidez del mar y menos oxigenación, lo cual afectaría directamente a la biodiversidad marina, que ya sufre demasiado por la contaminación de residuos tóxicos y plásticos que arroja el ser humano, y a las actividades extractivas como la pesca.

Asimismo, en el informe del IPCC (2020), se indicó que aproximadamente el 23% de las emisiones antropógenas, entre los años 2007 y 2016, procedió de la agricultura como producto de la deforestación: CO₂ (13%), CH₄ (44%) y N₂O (81%). Cabe mencionar que el sector agricultor de las zonas del altiplano de Sudamérica es el más perjudicado con el aumento de la temperatura, porque afecta directamente a la plantación de algunos cultivos como la quinua y la papa, y a los animales silvestres de la región (Álvarez et al., 2021). Por ello, se advirtió que se necesitan organismos que garanticen la preservación de las especies de la flora y



fauna que se encuentran en peligro por las alteraciones del ambiente.

El cambio climático se refiere a todas las variaciones y consecuencias meteorológicas ocasionadas por el efecto invernadero antropogénico, pero que tiene como principal culpable a las acciones egoístas y no ecoamigables realizadas por el ser humano (Paterson, 2017; Hernández, 2020; Hernández, 2021). Cuyas manifestaciones se reflejan en el cambio agresivo de la temperatura, en la variación extrema de los fenómenos naturales, de modo que adquieren un nivel mucho más violento, destructivo y extenso de lo que comúnmente alcanzan (Pérez, 2020).

Algunas consecuencias del cambio climático y estas expresiones son: 1. El aumento del nivel del mar como producto del descongelamiento de los glaciares y la reducción de los mantos polares, 2. Las grandes olas de calor ante la mayor concentración de la radiación solar, 3. Incendios forestales por el incremento del calor y la deshidratación de la vegetación, 4. La escasez de agua y la desertificación de ríos y lagos, 5. Pérdida de la biodiversidad, 6. Mayor probabilidad de desastres naturales asociados con factores climáticos (Arteaga y Burbano, 2018; Mayhew, 2018; Hernández, 2020). Por ejemplo, se advirtió que los procesos meteorológicos incidieron directamente en la agresividad de los últimos huracanes en la zona norte del continente americano, como los huracanes “Katrina” e “Irma” que causaron una gran destrucción en infraestructura y, en consecuencia, hubo muchas familias damnificadas (Torres, 2019).

El cambio climático se define más allá de su acepción ambiental, pues abarca aspectos de índole social, política y económica que repercute directamente en las actividades diarias de los seres humanos, en la naturaleza y la misma fauna (González y Meira, 2020). Sobre todo, ataca directamente en la biodiversidad porque, ante tanta destrucción como en los incendios forestales o sequías, los animales, en muchas ocasiones, migran en busca de refugio; asimismo, algunas plantas no crecen nuevamente en el territorio ya dañado y estéril (Pérez, 2020). En ese sentido, se debe abordar el cambio climático desde una mirada interdisciplinaria y multidisciplinaria que prevenga la magnitud de las consecuencias del cambio climático.

Cabe mencionar que el cambio climático también influye en las dinámicas sociales de cada país y más en uno con desigualdades socioeconómicas, porque la destrucción material que producen las variaciones meteorológicas agudiza la escasez de los sectores más empobrecidos, tales como la falta de agua y alimentos procedentes de la agricultura, el riesgo de su salud y los daños en construcción



(Arteaga y Burbano, 2018; Torres, 2019). Por ello, por ejemplo, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) apoya a algunas comunidades y países, que poseen una mayor vulnerabilidad antes la acción de los efectos por el cambio climático, a través de mecanismo de resistencia y mejora de las plantaciones para soportar las olas de calor (Mayhew, 2018)

3.2. Alternativas frente al cambio climático global

El Acuerdo de París de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) en el 2015 ratificó los acuerdos del Protocolo Kioto y acordó lograr que la temperatura se mantenga en las décadas siguientes por debajo de los 2°C y que no suba hasta 1.5°C (Maldonado y Salas, 2020). Asimismo, en el 2018, los países miembros de la ONU, nuevamente, acordaron reducir la emisión de gases tóxicos para evitar que la temperatura de la tierra aumente hasta 2°C y, por lo menos, lograr que se mantenga en menos de 1.5°C, que es el valor estimado para el periodo 2030- 2052 (IPCC, 2019; Pinto, 2020). Uno de los gases con CO₂ es el GEI más abundante en la atmósfera con un 66% (Pater-son, 2017); por ello, se acordó que para 2030 la emisión de CO₂ debería descen-der en 45% (IPCC, 2019). Sin embargo, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2017), el metano es el GEI que más daña el ambiente.

La medida a corto plazo que propuso el IPCC (2020) fue la mejora en la implementación de las tecnologías para prevenir los efectos agresivos del cambio climático y para utilizar los recursos naturales de una forma más adecuada y sostenible. Asimismo, la OIEA considera que se debe garantizar el monitoreo y la fiscalización de las emisiones de GEI, sobre todo para lograr neutralizarla a través de las estrategias de mitigación en los sectores industria y transporte (Mayhew, 2018)

En el sector transporte se deben utilizar combustibles no fósiles, ya que la polución por este humo es lo que daña sistemáticamente el aire y la atmósfera; asimismo, se debe garantizar, continuar y mejorar la implementación del sistema de bicicletas y lograr que haya menor circulación de autos particulares (Hernández, 2020). Por ejemplo, en el Perú, por la pandemia por coronavirus, las bicicletas se figuraron como un medio de transporte sencillo, ecoamigable y sostenible; no obstante, el estado debe continuar con la promoción del sistema de bicicletas como medida para ayudar al medio ambiente cuando el estado de emergencia culmine.



En el ámbito social, ante el incremento de cambios meteorológicos drásticos, los ciudadanos de cada nación son elementos fundamentales para iniciar una reforma ambiental en conjunto sus organismos estatales; en ese sentido, una de las estrategias, para reducir la contaminación ambiental y retrasar la maximización del efecto invernadero, es la creación y manutención de espacios verdes (Pérez, 2017).

En la actualidad, diferentes colectivos sin fines de lucro se dedican a realizar campañas de concientización sobre el cuidado del medio ambiente, la reducción de los residuos tóxicos en los ríos y mares, la preservación de la vegetación y del reino animal; para ello, usualmente se utiliza la retórica de la afectividad, donde se manifiesta la necesidad de cuidar a la Tierra porque es el lugar donde vive y se desarrolla el ser humano (Poma, 2019).

El Perú es parte de los acuerdos internacionales de Kioto (1997) y del Tratado de París (2018), aunque su nivel de emisión de GEI solo corresponda al 0.2% del total (Pinto, 2020), a comparación de EE. UU, China e India que son los países con mayor expulsión de los gases tóxicos (Moreno, 2020). Sin embargo, Perú ocupa el tercer lugar dentro de los países con mayor vulnerabilidad por efecto del cambio climático (Hernández, 2020), ello porque el territorio peruano posee una diversidad de regiones con diferentes características ambientales como la zona amazónica con la vegetación y la zona del altiplano con los nevados. Por ejemplo, un hecho preocupante es que en los últimos años se advirtió una reducción del nevado Pastoruri producto de la desglaciación, efecto directo del calentamiento global.

3.3. Carbono orgánico y su relación con el cambio climático

En el ámbito ambiental, diversos estudios confirman que el uso de plantaciones específicas ayudan a combatir el avance del cambio climático, sobre todo a través de la creación, promoción y tecnificación de los sumideros de carbono (Burbano, 2018). Sin embargo, para que esta medida realmente alcance una magnitud real y significativa en el cuidado del medio ambiente, se necesita una gestión forestal colaborativa y adecuada de cada nación, su ministerio de ambiente e investigadores para que apoyen en la preservación y el crecimiento de las reservas de carbonos en sus territorios (IPCC, 2020).

El carbono orgánico que se encuentra en el suelo es diferente al dióxido de carbono (CO₂), el cual es producto del metabolismo microbiano y es tóxico para la

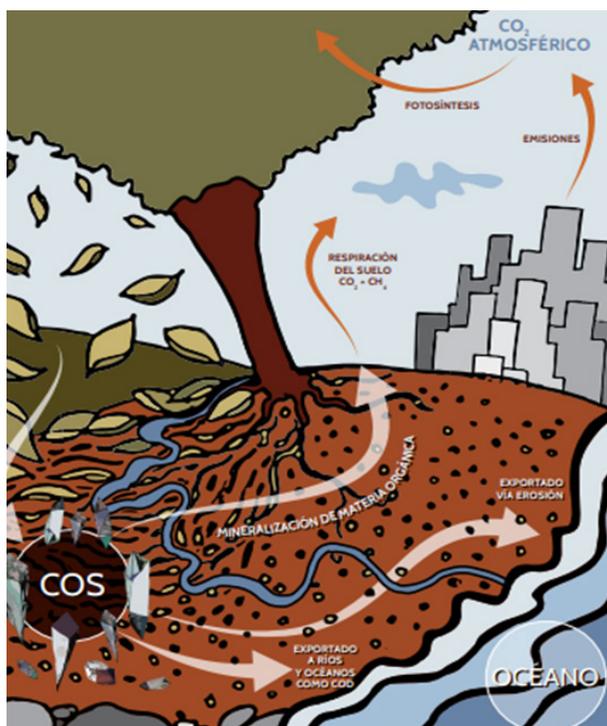


atmósfera y para el ser humano (Burbano, 2018). No obstante, el carbono en su estado natural posee muchos beneficios para la supresión y mitigación de los GEI; por tal motivo, el IPCC (2020) recomendó la preservación de carbono en los suelos. Para ello, se debe entender cómo funciona el carbono en el ambiente: el ciclo del carbono inicia con la fijación del dióxido de carbono atmosférico por la fotosíntesis y sigue con la liberación de oxígeno hacia la atmósfera (Burbano, 2018).

Dicho esto, se plantea que, para mitigar los efectos de los gases GEI, se debe realizar el secuestro del carbono orgánico. Este procedimiento consiste en la fijación del carbono de la atmósfera en el suelo mediante las plantaciones o elementos y residuos orgánicos, cuyas etapas son: 1. Extracción del CO₂ a través de la fotosíntesis, 2. Transferencia del carbono del CO₂ a la materia orgánica, 3. Transferencia del carbono de la materia orgánica al suelo (FAO, 2017, p. 7).

Figura 6.

El carbono orgánico en el ciclo global del carbono



Nota. Extraído de FAO (2017).



El secuestro de carbono no solo tiene injerencia en la disminución de los GEI, en el retraso del efecto invernadero antropogénico, sino que ayuda directamente a la mejora del suelo donde se fija el carbono, de manera que fortalece la tierra y la torna más productiva; asimismo, ayuda a mantener estable la temperatura del ambiente y suscita el incremento de agua en el suelo (FAO, 2017; García et al., 2021).

Los sistemas agroforestales son los encargados de realizar la fijación o secuestro de carbono, sobre todo para el sector agricultor, pues promueve la potencialidad del suelo y del mismo cultivo; por ello, usualmente, las reservas de carbono deben coincidir con los momentos de cosecha. Por otro lado, el sector forestal posee la mayor cantidad de carbono, por lo que es más favorable realizar el secuestro de carbono allí, a fin de obtener los mayores resultados (Mendoza et al., 2018). Algunos bosques con mayor efecto de secuestro de carbono y metano son los Pinus y Eucaliptus.

3.4 Mercado del carbono y conservación ecológica

Los mercados de carbono surgieron a partir de la firma del protocolo de Kioto y se consolidaron en el Acuerdo de París. Los países miembros pagan un impuesto según la emisión por tonelada de carbono, según la venta y la compra de productos que se asocian con la cantidad de carbono emitido. Aquí los países en desarrollo pueden vender sus Certificados de Emisiones Reducidas (CER) de carbono a los países más desarrollados y estos se encargan de venderlos en el mercado de carbono (Díaz, 2016).

Los impuestos son los siguientes: Unión Europea (9.72 dólares), Japón (36.2 dólares), EE. UU y otros países (22 dólares), Sudáfrica (4 dólares), China (1.6 dólares) e India (menos de 1 dólar) (Álvarez et al., 2020). El mercado del carbón marca un hito importante en la integración económica y ambiental de países en vías de desarrollo con los ya desarrollados, pero solo en el caso del mercado de carbono voluntario.

El mercado de carbono se basa en la venta de los llamados bonos de carbono, los cuales son la herramienta económica en la compra y venta. Cabe mencionar que estos bonos surgen de los proyectos de desarrollo de distintas organizaciones como la ONU que realizan el secuestro de carbono (Díaz, 2016). En ese sentido, el mercado de carbono se figura como un mecanismo internacional para ayudar a la reducción de los GEI de manera acelerada, científica y legal.



Asimismo, este mercado puede dividirse en el mercado de carbono de cumplimiento regulado y el mercado voluntario. En el primero, los países desarrollados establecen negociaciones de reducción del carbono, fomentan inversiones y ayudan al sostenimiento ambiental de las naciones en desarrollo. Mientras que en el mercado voluntario participan las organizaciones, países con economías transicionales y países en vías de desarrollo que deseen participar en la reducción de carbono (Conexiónsan, 2019). No obstante, el mercado voluntario es duramente criticado por la falta de regulación y estandarización en la compra y venta del carbono (Díaz, 2016)

En la actualidad, la ONU tiene cuatro proyectos de compensación de carbono en el sector tierra: proyecto del parque eólico de Gangwon, proyecto de energía de cáscara de arroz de Angkor Bio Cogen, planta de energía IOT Mabagas Limited, Pudhuchatram, y proyecto CDM Santana (ONU, s.f.). Por otro lado, el Perú también tiene importantes sumideros de carbono que el gobierno nacional, en conjunto con otras empresas, preserva y mejora. A través de algunos proyectos se logró cuidar alrededor de 2.07 millones de hectáreas y se plantea reducir en 25.48 millones de hectáreas el carbono (Álvarez et al., 2020).

Dicho esto, se debe resaltar la importancia del carbono orgánico en los proyectos de mitigación de los gases del efecto invernadero y sobre el cambio climático, pues, en las últimas investigaciones, se ha demostrado la utilidad del secuestro de carbono orgánico en los suelos para el acaparamiento y eliminación de los GEI. Asimismo, este procedimiento posee beneficios en la tierra donde se realiza, no sólo para contrarrestar el aumento de la temperatura y la mantención de la irrigación, sino para potenciar los cultivos. Por último, resaltar que mediante la venta de los bonos de carbono se garantiza la participación de la mayoría de naciones, pero, primordialmente, de las que emiten mayor cantidad de GEI.

CAPÍTULO IV

RELACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO EN TERRENOS PARA PINUS RADIATA D. DON EN CHIQUIÁN, ANCASH, 2014

El carbono representa un elemento esencial para el ciclo en la biosfera, este al ser combinado con otros átomos forman la estructura de todas las moléculas orgánicas, eso implica que todo organismo vivo que se encuentre en el planeta está formado a base de carbono, a este hecho se añade también que, en el medio natural se da la generación de sales, carbonatos, gases y otros compuestos, los cuales también incluyen este elemento entre su estructura gracias a su capacidad de agrupación.

En este sentido, se reconoce la gran importancia que tiene este componente elemental, ya sea para establecer la existencia de un ser vivo o de elementos inorgánicos en el planeta, su importancia se hará más evidente también en procesos básicos como la transformación del elemento en formas orgánicas, proceso que se visualiza en la fotosíntesis de las plantas, las cuales toman el CO₂ de la atmósfera para transformarlo en su forma orgánica y expulsarlo como oxígeno, permitiendo así que el elemento se transforme en un bien preciado para la vida de todo ser.

Por tanto, en la siguiente investigación se pretende desarrollar la determinación que tiene el carbono en su estado orgánico sobre la formación de terrenos aptos para *Pinus radiata* D. Don en el distrito de Chiquian, Ancash, en el año 2014.



Objetivos

Objetivo general

Determinar el volumen total de carbono orgánico almacenado en la biomasa aérea, en las áreas de aptitud forestal para plantaciones de *Pinus radiata* en el sector de Huacacorral del distrito de Chiquián.

Objetivos específicos

Determinar el contenido de carbono orgánico presente en la biomasa de pastizales, arbustos, árboles “ex ante”, en las áreas de aptitud forestal para plantaciones de *Pinus radiata* D Don en el distrito de Chiquián.

Determinar la adicionalidad de carbono orgánico con la implementación de las plantaciones de *Pinus radiata* D Don.

Hipótesis

Con la implementación de plantaciones forestales de *Pinus radiata* D Don se logrará mayor captura de carbono, respecto al carbono orgánico determinado en la biomasa aérea, en los terrenos de aptitud forestal en estudio.

Tabla 1.
Sistema de variables

Variables	Definición conceptual			Definición operacional		
	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos			
(VI) Variable Independiente	<p>Constituido por especies de: Pastizales y herbáceas, así como por individuos con tallos lignificados menores a 0.5m de altura.</p> <p>Arbustos constituidos por plantas leñosas, sin tronco predominante mayor a 0.5m de altura y DAP menor a 5 cm.</p> <p>Árboles constituidos por individuos con DAP a partir de 5 cm.</p>	<p>Peso de la biomasa herbácea y pastizales</p> <p>Peso de la biomasa arbustiva</p> <p>Peso de la biomasa arbórea</p>	<p>Formato PPT: 0001 Parcelas de recorte</p> <p>Formato PPT: 0002 Muestreo de vegetación arbustiva</p> <p>Formato PPM: 0001 Cálculos según guías desarrolladas por el The Bank World</p>			
(VD) Variable Dependiente	Cantidad de carbono existente en un depósito o compartimento, o sea un recipiente o sistema capaz de almacenar o liberar el carbono existente. Estas pueden ser la biomasa aérea, biomasa subterránea, detritos, madera muerta, carbono orgánico en el suelo y productos vegetales.	Carbono almacenado en la biomasa aérea	Aplicación de metodología desarrollada por The Bank World			
Reservas de carbono						



Diseño

El inventario para la determinación del carbono es de tipo exploratorio con un diseño de muestreo sistemático al azar, con muestras distribuidas en los componentes pastizales y herbáceas, arbustivo, arbóreo. Para este fin se establecieron parcelas cuadradas de recorte de 50 X 50 cm y luego se extrajeron 17 sub muestras de pastizales, una en cada parcela siguiendo el desarrollo descrito en el acápite procedimiento, las parcelas de evaluación son de 11.28 m de radio de donde se extrajeron las muestras. En el componente arbustivo se deberá muestrear 17 individuos uno en cada parcela. En el componente arbóreo no se evaluaron por no haber en la zona de estudio.

Población

Para la siguiente investigación se contó con una población de 18 hectáreas

Muestra

Para la muestra se contabilizó con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + a^2 + a^2 Z^2}$$

Donde:

n = tamaño de muestra

N = tamaño de población

Σ = desviación estándar de la población (0.5)

Z = valor obtenido mediante niveles de confianza (1.96)

E = límite aceptable de error muestral (0-05)



Reemplazando valores:

$$n = \frac{(18)(0-5)^2 (1.96)^2}{(17)(0-05)^2 + (0.05)^2 + (1.96)^2}$$
$$n = \frac{17.28}{1.0025} \rightarrow n = 17ha$$

Procedimiento

Biomasa viva de plantas pequeñas (pastizal y herbáceas)

Para el muestreo del carbono presente en la biomasa de pastizal y herbáceas se confeccionó lo que se llama las parcelas de recorte (cuadrado de madera de 50 cm x 50 cm). Esta parcela de recorte se colocó abriendo la vegetación de tal manera que los pastizales a recortar quedaron dentro de la parcela. El muestreo para este tipo de vegetación se llevó a cabo en las 17 parcelas del área en estudio (Huacacorrall - Chiquian) siguiendo los pasos a continuación:

- Paso 1. En campo se encontró al azar un ángulo (0° a 360°) y un número (1 a 12), usando el segundero del reloj, el número encontrado se multiplica por seis el cual llegaría a ser el número de pasos.
- Paso 2. Desde el punto central de la parcela se camina en dirección del ángulo y número de pasos seleccionados.
- Paso 3. Se instaló la sub parcela de recorte delante de la persona en el último paso.
- Paso 4. Se retiró toda la vegetación de la sub parcela (pastizales y herbáceas).
- Paso 5. Se recolectó toda la hojarasca y herbáceas dentro del marco. Usándose tijeras y navajas para cortar los pastizales que caigan en el borde interno de la sub parcela de muestreo.
- Paso 6. Se colocó el pastizal y las herbáceas recolectadas en una manta de 2 x 2 m.
- Paso 7. Se “picó” y se mezcló bien la muestra de pastizal y herbáceas.



- Paso 8. Se tomó una sub muestra aproximadamente de 50 a 100 gramos y se pesó.
- Paso 9. Se repitió los pasos del 1 al 8 para las otras 17 parcelas de recorte.
- De las 17 muestras se homogenizaron y se obtuvieron cuatro (4) sub muestras compuestas de 250 gramos cada una. Se colocan las 4 sub muestras en una bolsa de papel con su respectivo código, luego se sacó del campo y se llevó al laboratorio de la UNASAM.
- Cada sub muestra se seca en la estufa de aire caliente a 80°C (laboratorio) hasta obtener un peso seco constante.
- El cálculo de la biomasa del pastizal y herbáceas se efectuó a partir del promedio de los valores obtenidos en cada sub muestra.

(Ecuación 1).

$$BP = \frac{PP \times PSM (kg)}{phm}$$

Donde:

BP = biomasa de la pastura (Kg)

PP = peso húmedo del pastizal en campo (Kg)

PSM = peso seco de la sub muestra de pasto (Kg)

Phm = peso húmedo de la muestra del pasto (Kg)

A partir de los pesos frescos y secos de la sub muestra se crean relaciones para estimar el peso seco de toda biomasa de herbácea en la parcela.

La biomasa del pastizal y herbáceas (Kg materia seca) se transformará a toneladas por hectáreas y carbono total presente en la biomasa se obtendrá al multiplicar la biomasa por 0.45.



Biomasa de los arbustos

Para determinar la biomasa de los arbustos existentes se sigue los siguientes pasos:

- Paso 1: Del punto central de la parcela con ángulo de 0° a 360° y un radio de 20 metros, se realizó la ubicación de los arbustos.
- Se muestreo 1 individuo arbustivo y se ubicó con auxilio del GPS.
- Paso 2: De cada arbusto se midió el diámetro mayor y menor de la corona en forma perpendicular.
- Paso 3: Se cortó toda la parte aérea a nivel del suelo, se pesó y se extrajo una sub muestra representativa (250 gr.) de cada arbusto.
- Se llevó la muestra representativa al laboratorio para su respectivo secado y pesado.
- Cada sub muestra se secó en la estufa/horno a 80° hasta que se obtenga peso constante.

Usando el Excel se creó una ecuación alométrica que relaciona el área de la corona y la biomasa.

Biomasa arbórea “ex ante”

La medición de la biomasa arbórea no se realizó debido a que no hay árboles en la zona de estudio. Sin embargo, se considera la metodología para consulta de otros estudios:

- Del punto central de la parcela con ángulo de 0° a 360° y un radio de 20 metros, se realiza la ubicación de los árboles.
- De no haber árboles en las parcelas, no se cuantificará la existencia de carbono arbóreo.
- De haber árboles dispersos se evaluará aquellos que poseen DAP igual o mayor que 5 cm.



Para estratos con baja intensidad de árboles se recomienda utilizar una parcela circular de 400 m² (11.28 m de radio), lo que reduce el tiempo necesario para el establecimiento de una parcela. El primer paso consiste en localizar aleatoriamente un punto en el centro de la parcela, marcando con una estaca de madera (marca este punto con GPS), al cual se recomienda amarrar una cuerda o cinta métrica de 11.28m de largo. En seguida se registran todos los árboles (especie, DAP y altura).

Análisis de resultados

Resultados de campo

Biomasa de pastizales y arbustos

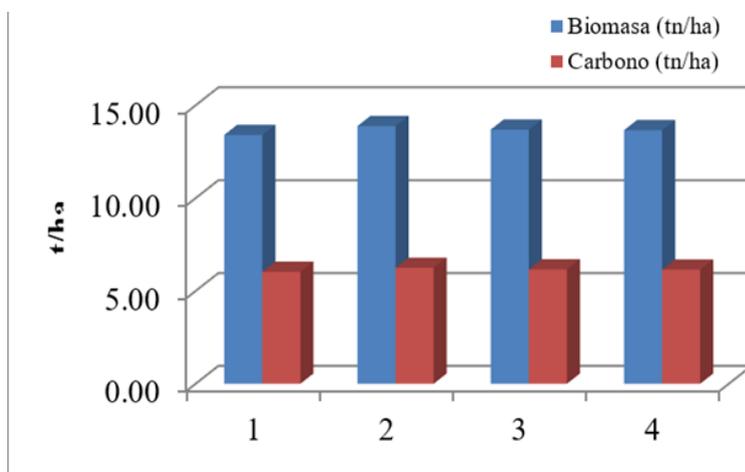
Tabla 2. *Determinación del carbono orgánico presente en la biomasa de pastizales y herbáceas*

N.º	Código	Peso húmedo total de la Sub muestra (gr)	Tara de la muestra (gr)	Peso Seco de la sub muestra(gr)	Diferencia de la sub muestra (gr)	Biomasa g/ m2	Biomasa (Kg/ha)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t/ha)	Carbono (t/18 ha)
01	SM01-BHP	250.02	12.23	124.16	125.86	335.07	13402.69	13.40	6.03	108.56
02	SM02-BHP	248.32	12.23	127.73	120.59	347.06	13882.45	13.88	6.25	112.45
03	SM02-BHP	251.39	12.23	127.53	123.86	342.29	13691.45	13.69	6.16	110.90
04	SM03-BHP	253.72	12.23	128.41	125.31	341.48	13659.32	13.66	6.15	110.64
		Promedio				341.47	13658.98	13.66	6.15	110.64



Figura 7.

Contenido de biomasa y carbono orgánico de pastizales (t/ha)



Resultados del procesamiento de datos

Se trabajó con los datos de 4 sub muestras extraídas de las de las parcelas de muestreo. (tabla 1), con los cuales primero se estimó la biomasa aérea en gr/m² siendo el promedio de 341.47; se convierte la biomasa a kg/ha. Siendo el promedio de 13,658.98 kg/ha. Luego se transformó a t/ha teniendo como promedio 13.66 t/ha; se estimó el carbono orgánico. Teniendo un promedio de 6.15 t/ha. Finalmente se estimó 110.64 tC, acumulado en las 18 ha.

Según la tabla 2 y figura 5 se observa que la biomasa estimada de pastizales y herbáceas en promedio es de 13.66 t/ha y el carbono estimado es de 6.15 t/ha, es decir que a medida que aumenta la biomasa de los pastizales también aumenta el contenido de carbono, por lo tanto, en las 18 ha de terreno de aptitud forestal existe 110.64 tC, acumulado, lo cual convirtiéndolo a CO₂ es:

Elemento	Peso atómico
C-----	12
CO ₂ -----	44

$$(12/44)*110.64 = 30.17$$

$(12/44) * 110.64 = 30.17$ t de CO₂ se capturo de la atmósfera y se convirtió a biomasa de pastizales, contribuyendo de esta manera a mitigar la contaminación del medio ambiente.

Tabla 3.

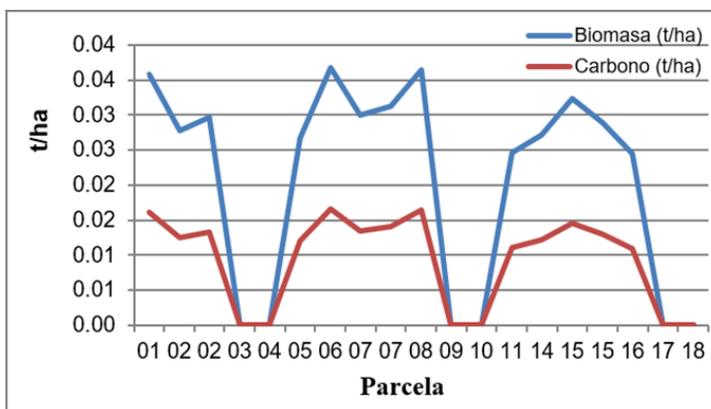
Determinación de contenido de carbono orgánico presente en la biomasa de arbustos

Parcela	Peso húmedo total de la Sub muestra (gr)	Tara de la muestra (gr)	Peso Seco de la sub muestra (g)	Diferencia de muestras (gr)	Biomasa g/área parcela (400 m ²)	Biomasa (kg/ha)	Biomasa (tn/ha)	Carbono (tn/ha)	Carbono (tn/18 ha)
01	209.69	12.22	126.32	83.37	1434.08	35.85	0.036	0.016	0.290
02	279.2	12.22	130	149.2	1108.42	27.71	0.028	0.012	0.224
02	150.98	12.22	75.19	75.79	1185.55	29.64	0.030	0.013	0.240
03	-	-	-	-					
04	-	-	-	-					
05	214.5	12.22	96.33	118.17	1069.09	26.73	0.027	0.012	0.216
06	213.86	12.22	132.14	81.72	1470.90	36.77	0.037	0.017	0.298
07	207.62	12.22	104.67	102.95	1200.14	30.00	0.030	0.014	0.243
07	222.81	12.22	116.88	105.93	1248.77	31.22	0.031	0.014	0.253
08	176.28	12.22	107.8	68.48	1455.77	36.39	0.036	0.016	0.295
09	-	-	-	-					
10	-	-	-	-					
11	232.66	12.22	95.98	136.68	982.06	24.55	0.025	0.011	0.199
14	218.26	12.22	99.67	118.59	1087.10	27.18	0.027	0.012	0.220
15	225.25	12.22	122.14	103.11	1290.84	32.27	0.032	0.015	0.261
15	209.82	12.22	101.94	107.88	1156.58	28.91	0.029	0.013	0.234
16	223.99	12.22	92	131.99	977.77	24.44	0.024	0.011	0.198
17	-	-	-	-					
18	-	-	-	-					
					1205.159	30.129	0.030	0.014	0.244



Figura 8.

Contenido de biomasa y carbono (t/ha) por parcela



Resultados del procesamiento de datos

Se trabajó con los promedios de las muestras extraídas de las 17 parcelas, para obtener las muestras de arbustos se procedió mediante el método destructivo, que consistió en picar el arbusto y pesar muestras de 250 gr.

Según la tabla 3 y figura 8, observamos que a medida que incrementa la biomasa no incrementa significativamente el carbono, existiendo 0.030 t/ha de biomasa y 0.014 t/ha de carbono.

En las 18 ha se tiene 0.244 toneladas de carbono acumulado, que convirtiéndolo a CO₂ resulta lo siguiente:

Elemento	Peso atómico
C-----	12
CO ² -----	44

$$(12/44)*0.244 = 0.067 \text{ t.}$$

Se capturó de la atmósfera 0.0067 toneladas de CO₂ y se ha convertido a biomasa aérea (ramas), de arbustos.

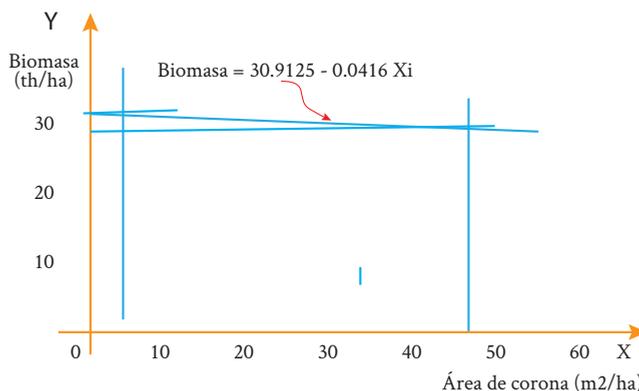
Análisis de varianza de regresión para el área de corona de los arbustos

Tabla 4.*Análisis de varianza (ANVA) para regresión del área de Corona vs Biomasa*

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal	F tabular 0,05 0,01
Regresión	1	4.310	4.310	0.23 NS	4.84 9.65
Error	11	208.83	18.98		
Total	12	213.14	-	-	-

Según la tabla 4, en lo que respecta a la correlación de área de corona (X) Vs. la biomasa (Y), observamos que no existe significación estadística, ya que la F calculada es menor al 5% y 1% de probabilidades, es decir no hay significación del área de la corona sobre la biomasa, cuyo coeficiente de correlación ($r = 0.02$), indica que la asociación entre las dos variables, es perfecta pero en forma inversa, el coeficiente de regresión ($b = -0.04$) indica el grado de influencia del área de corona sobre la biomasa, asumiendo que por cada unidad que aumenta la variable independiente (X), la biomasa (Y) disminuye en -0.04 t/ha, (figura 05), así mismo el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.0004$) nos indica que el 0.04% de biomasa se debe al área de la corona (X) y 99.96% a otros factores tales como suelo, clima.

Para más claridad se realizará la ecuación de regresión para predecir el área de corona de arbustos (X) vs la biomasa (Y).

Figura 9.*Recta de regresión área de corona de arbustos (X) vs biomasa (Y)*



Biomasa arbórea

En la zona de estudio no existen árboles, dentro de los objetivos del presente estudio es estimar el carbono adicional, con el establecimiento de plantaciones forestales de *Pinus radiata*. Que para determinar la adicionalidad de carbono se ha realizado una proyección de 1 a 30 años con datos de crecimiento evaluado en las plantaciones de *Pinus radiata* por ADEFOR en los bosques de la Granja Porcón. Se estima en volumen, la biomasa y el carbono.

Tabla 5.

Cálculo de biomasa y carbono en Pinus radiata D. Don. A 30 años de proyección

Volumen: $Y = \text{Exp.} (6,8566 - 16545/E)$

E: Edad

Edad (Años)	Vol. Total (m ³ /ha)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t/ha)	Carbono (t/18 ha)
1	0.0	0.00	0.00	0.00
2	0.2	0.12	0.06	1.05
3	3.8	1.84	0.92	16.52
4	15.2	7.29	3.64	65.60
5	34.7	16.67	8.34	150.03
6	60.3	28.94	14.47	260.44
7	89.4	42.91	21.45	386.17
8	120.1	57.66	28.83	518.91
9	151.1	72.55	36.28	652.96
10	181.7	87.19	43.60	784.74
11	211.1	101.35	50.67	912.11
12	239.3	114.88	57.44	1033.91
13	266.1	127.73	63.87	1149.59
14	291.4	139.89	69.94	1259.00
15	315.3	151.36	75.68	1362.20
16	337.8	162.16	81.08	1459.42
17	359.0	172.33	86.16	1550.95

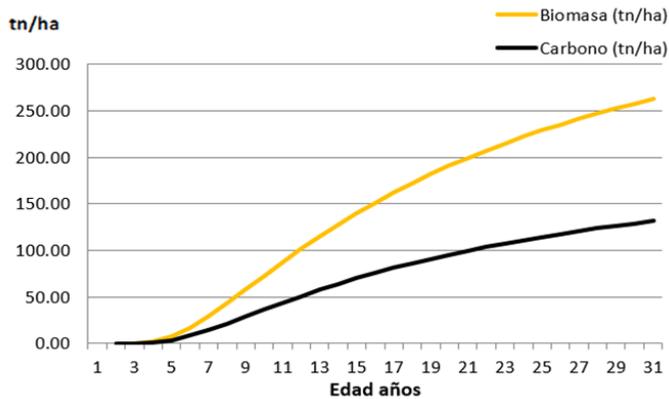
Edad (Años)	Vol. Total (m ³ /ha)	Biomasa (t/ha)	Carbono (t/ha)	Carbono (t/18 ha)
18	379.0	181.90	90.95	1637.11
19	397.7	190.92	95.46	1718.26
20	415.4	199.41	99.71	1794.72
21	432.1	207.43	103.71	1866.83
22	447.9	214.99	107.49	1934.90
23	462.8	222.13	111.07	1999.21
24	476.9	228.89	114.45	2060.04
25	490.2	235.29	117.65	2117.64
26	502.8	241.36	120.68	2172.23
27	514.8	247.11	123.56	2224.03
28	526.2	252.58	126.29	2273.24
29	537.0	257.78	128.89	2320.04
30	547.4	262.73	131.37	2364.58

Densidad madera = 0.48 g/cm³

(seca al aire)

Figura 10.

Proyección de biomasa y carbono (t/ha) a 30 años en las áreas de aptitud forestal en el distrito de Chiquian-Ancash





De la tabla 5 y figura 10, podemos afirmar que a 30 años la biomasa del Pinus radiata es de 262.73 t/ha, el stock de carbono acumulado a 30 años es de 131.37 t/ha.

Se observa que a medida que incrementa la biomasa con los años, también se incrementa el carbono (t/ha) en un 50% de la biomasa. En las 18 ha, el carbono adicional es de 2,364.58 t. Lo cual convirtiéndolo a CO₂ es

Elemento	Peso atómico
C-----	12
CO ₂ -----	44

$(12/44) * 2364.58 = 644.88$, se ha capturado 644.88 toneladas de CO₂ de la atmósfera y se convirtió en biomasa (fuste, ramas, conos, acículas).

Tabla 6.

Análisis de variancia (ANVA) para regresión de Carbono vs Biomasa

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal	F tabular 0,05 0,01
Regresión	1	236002.34	236002.34	34.12 **	4.20 7.64
Error	28	0.0016	0.0001		
Total	29	236002.34	-	-	-

C.V. = 0.005 %

De acuerdo a la tabla 6 en lo que respecta a la correlación de carbono (X) Vs. la biomasa (Y), observamos que existe una alta significación estadística, ya que la F calculada es mayor al 5% y 1% de probabilidades, cuyo coeficiente de correlación ($r = 1.00$), indica que la asociación entre las dos variables es muy fuerte a la vez directa y perfecta, el coeficiente de regresión ($b=1.999$) nos indica el grado de influencia de carbono sobre la biomasa, asumiendo que por cada unidad que aumenta la variable independiente (X), la biomasa (Y) aumentará en 1.999 t/ha (figura 10), así mismo el coeficiente de determinación ($r^2 = 1$) nos indica que el 100% de biomasa se debe al carbono (X).

Figura 11.

Recta de regresión carbono (X) se debe al carbono (Y)

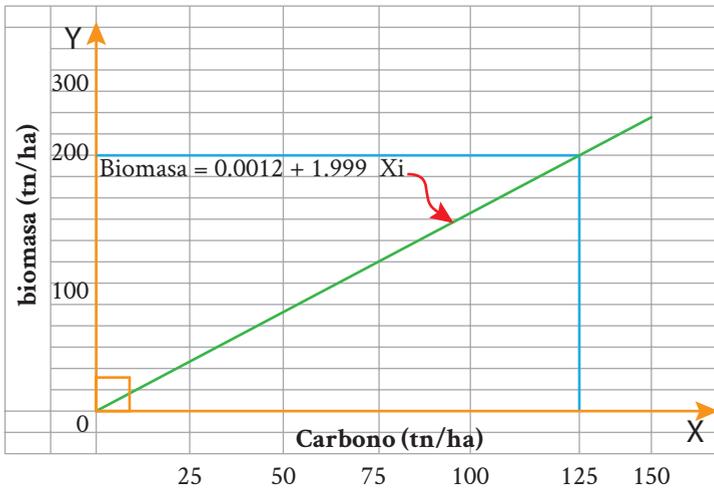


Tabla 7.

Análisis de varianza (ANVA) para regresión de años vs. Biomasa

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal	F tabular 0,05	F tabular 0,01
Regresión	1	231259.97	231259.97	1365.41**	4.20	7.64
Error	28	4742.37	169.37			
Total	29	236002.34	-	-	-	-

Según la tabla 7, en lo que respecta a la correlación de años (X) Vs. la biomasa (Y), observamos que existe una alta significación estadística, ya que la F calculada es mayor al 5% y 1% de probabilidades, cuyo coeficiente de correlación ($r = 0.979$), indica que la asociación entre las dos variables es muy fuerte a la vez directa y perfecta, el coeficiente de regresión ($b=10.14$) nos indica el grado de influencia de años sobre la biomasa, asumiendo que por cada unidad que aumenta la variable independiente (X), la biomasa (Y) aumentará en 10.14 t/ha (figura 10), así mismo el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.958$) nos indica que el 95.8% de biomasa se debe al número de años (X) y 4.2% se debe a otros factores como al suelo clima, etc.



Figura 12.

Recta de regresión para predecir el número de años (X) vs. Biomasa (Y)

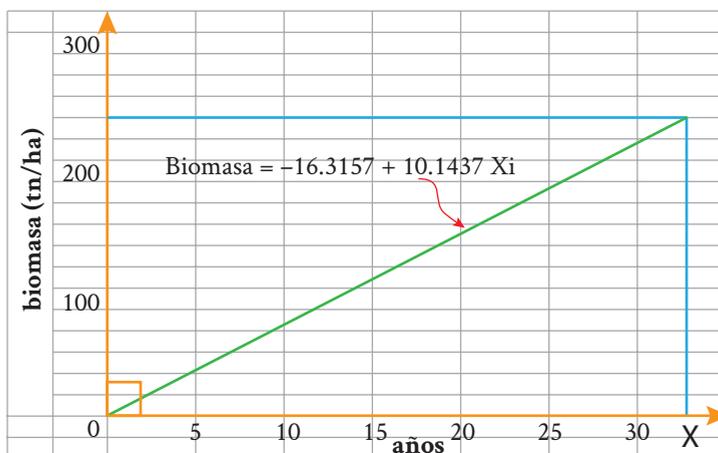


Tabla 8.

Análisis de varianza (ANVA) para regresión de años vs. Carbono

Fuentes de Variabilidad	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados medios	F cal	F tabular 0,05 0,01
Regresión	1	57817.20	57817.20	1365.75**	4.20 7.64
Error	28	1185.34	42.33		
Total	29	59002.54	-	-	-

C.V = 9,23%B

Según la tabla 05, en lo que respecta a la correlación de años (X) Vs. el carbono (Y), observamos que también existe una alta significación estadística, ya que la F calculada es mayor al 5% y 1% de probabilidades, cuyo coeficiente de correlación ($r = 0.979$), indica que la asociación entre las dos variables es muy fuerte a la vez directa y perfecta, el coeficiente de regresión ($b=5.071$) indica el grado de influencia de años sobre el carbono, asumiendo que por cada unidad que aumenta la variable independiente (X), el carbono (Y) aumentará en 5.071 t/ha (figura 9),

así mismo el coeficiente de determinación ($r^2 = 0.958$) nos indica que el 95.8% de carbono se debe al número de años (X) y el 4.2% se debe a otros factores, tales suelo clima, etc.

Figura 13.

Recta de regresión número de años (X) vs carbono (Y)

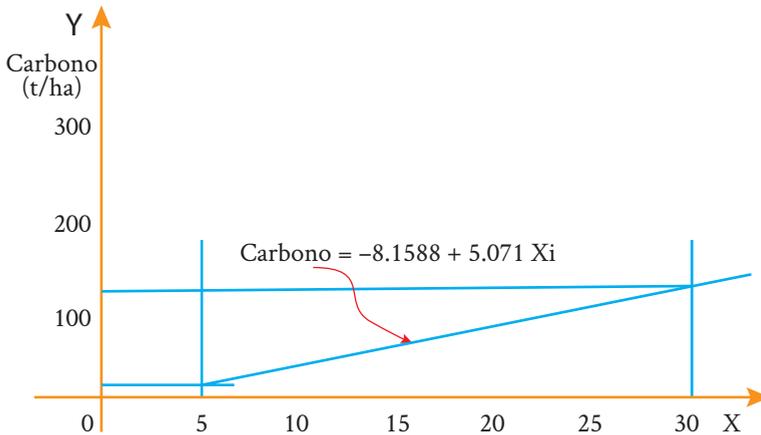


Tabla 9.

Comparación de la adicionalidad de carbono de Pinus radiata con el total de carbono almacenado en biomasa aérea de aptitud forestal

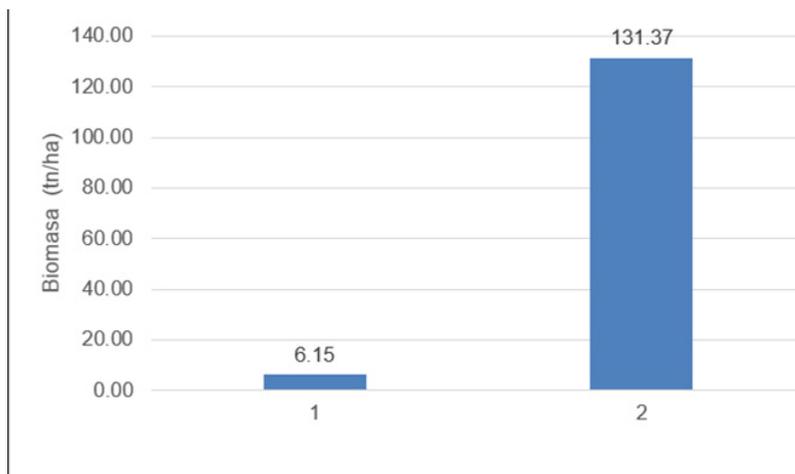
Fuente media	Carbono almacenado (t /ha)	Total carbono almacenado (18 ha)
Carbono en áreas de aptitud forestal sin plantación		
Biomasa de pastizales y herbáceas	6.15	110.64
Biomasa de arbustos	0.003	0.244
Total	6.15	110.88
Carbono en áreas de aptitud forestal con plantaciones de <i>Pinus radiata</i>		



Total carbono con plantaciones de <i>Pinus radiata</i>	131.37	2 364.58
--	--------	----------

Figura 14.

Diferencia de carbono almacenado entre biomasa aérea natural y carbono de plantaciones forestales de Pinus radiata



Como se puede observar en la tabla 9, el carbono total almacenado en la biomasa aérea de pastizales y arbustos es de 6.15 t/ha y en las 18 ha en estudio existe un total de 110.88 toneladas de carbono por hectárea, mientras que el total de carbono almacenado por *Pinus radiata* es de 131,37 toneladas de carbono por hectárea y en las 18 ha se tiene 2 364.58 t. La figura 14 muestra que existe una diferencia altamente significativa de carbono almacenado por la biomasa de *Pinus radiata*, en comparación al carbono almacenado por biomasa aérea de pastizales y arbustos en suelos de aptitud forestal.

Discusión de resultados

- Biomasa de pastizales y herbáceas

La biomasa de los pastizales en estudio estimado es de 13.66 t/ha y la cantidad de carbono acumulado por los pastizales es de 6.15 t/ha. En la investigación “Estimación de captura de carbono del bosque de *Eucalyptus globulus* Labill en la comunidad campesina de Hualhuas.



- Biomasa arbórea

En el componente arbóreo no se tiene resultados debido a que no se encontró árboles en la zona de estudio.

- Determinación de biomasa de *Pinus radiata*

Dentro de los objetivos de la presente investigación fue demostrar que con el establecimiento de una plantación forestal con *Pinus radiata* se capturará mayor cantidad de carbono. Para tal fin se ha tenido que proyectar y determinar la biomasa con datos de plantaciones que ya han alcanzado el crecimiento en 30 años determinando la biomasa a través de la siguiente ecuación. $Y = \text{Exp}(6,8566 - 16,545/E)$, teniendo un resultado que a 30 años una plantación alcanza a concentrar una biomasa de 262.73 t/ha y un stock de 131.37 t/ha de carbono. Resultado que se aproxima al estudio de Gamarra, 2000, en la investigación “Estimación de captura de carbono del bosque de *Eucalyptus globulus* Labill en la comunidad campesina de Hualhuas, y reporta el siguiente resultado de **137.05 t/ha**.

Conclusiones

- La cantidad de C acumulado por las plantaciones forestales de *Pinus radiata* en áreas de aptitud forestal es una alternativa para ser un sumidero importante de C.
- Las áreas de aptitud forestal sin el establecimiento de plantaciones forestales no es un sumidero significativo como se ha podido demostrar.
- Se concluye que en las 18 ha, el C almacenado por los pastizales y arbustos existentes es de 110.64 t. En cambio, el C almacenado por *Pinus radiata* es de 2,364.58 t.
- Para realizar la demostración de C almacenado en una plantación forestal con *Pinus radiata* se ha tenido que recurrir a inventarios de crecimiento de plantaciones de *Pinus* que han sido evaluados por ADEFOR durante 30 años.
- La biomasa de una plantación forestal establecida, es más significativa en comparación con la biomasa aérea existente en el área en estudio.



- La muestra recogida del campo para el caso de pastizales se ha tenido que homogenizar tal como recomienda la metodología.

Recomendaciones

- Se debe tener cuenta la estación del año para poder realizar un muestreo óptimo de biomasa de pastizales, arbustos y árboles para poder obtener datos reales (pesos húmedos)
- Para realizar la codificación de las muestras en campo utilizar indelebles que no se borren, por la humedad de las muestras o el calor al ponerlas en la estufa.
- Una vez obtenidas las muestras en campo, deben ser trasladadas inmediatamente al laboratorio para su procesamiento y su análisis.
- En el momento de coleccionar las muestras de pastizales, arbustos es recomendable usar guantes ya que algunas plantas son biocidas o tienen espinas.

En lo posible no utilizar materiales que contaminen el ambiente como pinturas, aerosoles.

CAPÍTULO V

CONSIDERACIONES FINALES EN TORNO A LOS EFECTOS AMBIENTALES POR PRESENCIA DE CARBONO ORGÁNICO

No se puede negar que tanto la captura de carbono, como el aumento de materia orgánica tendrá un significativo y valioso impacto no solo en lo que tiene que ver con la calidad de los suelos, sino también en la fertilidad del mismo. Por otro lado, también es importante destacar que habrá una marcada incidencia en aspectos inherentes a la sostenibilidad y a la resiliencia en el sector agrícola, cuestión que ciertamente, marcará un profundo impacto en la sociedad.

La materia orgánica, tal como se mencionó en anteriores capítulos, tiene funciones esenciales, no solo desde el punto de vista biológico, también físico y químico, respectivamente. La materia orgánica tiene, por lo tanto, indicadores de calidad tanto para las actividades agrícolas, como ambientales. Esto genera, a la larga, procesos de gran interés para la sociedad puesto que la materia orgánica permite un saneamiento natural sin tener la necesidad de hacer uso de químicos, entre otros procesos que podrían dañar la capa vegetal.

La captura de carbono, por otro lado, tiene otra tarea, además de la anterior, pues se contrapone a un proceso que se ha llamado desertificación, que, en la actualidad, sigue siendo unos de los problemas ambientales más dramáticos, aparte del calentamiento global como consecuencia de la liberación de gases entre



otros componentes. Además, la captura de carbono, juega un papel importante en lograr que los suelos lleguen a ser más estables, e incluso, mucho más resistentes debido a un proceso de retención de agua en las capas terrestre, de esta manera, contribuye a fijar los minerales que permitirán la oxigenación natural de los suelos.

Debido al incremento y al uso de productos contaminantes, los suelos están padeciendo enormes daños, debido, como se sabe, al uso indiscriminado de químicos, así como de pesticidas y fertilizantes con el único propósito de incrementar la producción agrícola, y acelerar el progreso. No obstante, esta acción solo está permitiendo que los suelos lleguen a erosionarse como consecuencia de la acción irresponsable de los hombres. En ese sentido, una de las tareas fundamentales y que ayudan a que este proceso no se dé con fuerza es que existan el uso de la materia orgánica, con el único fin de proteger aquellos suelos que son víctimas de las acciones irresponsables, puesto que la materia orgánica ayuda a que estos químicos no se lleguen a fijar en su totalidad.

Otro de los cambios que suelen presentarse tiene que ver con la biodiversidad existente, debido a la deforestación. Solo para poner un ejemplo, solo en el pasado los sistemas y procedimientos técnicos más intensivos generaron enormes daños a la capa vegetal, ya que el empleo de químicos, así como de la propia labranza. Estas acciones en conjunto con la llegada de la tecnología han permitido no solo el daño a los suelos, sino a las demás especies que habitan los bosques. Esto ha propiciado que tanto aves como mamíferos desaparezcan, generando un enorme desequilibrio ambiental.

Otro de los efectos que permite la materia orgánica en los suelos es la aparición de distintas faunas, sobre todo de los descomponedores quienes hacen la labor de procesar toda aquella materia que no solo proviene de las plantas, sino también de los animales que habitan en los bosques. Esta acción estimula, ciertamente una cadena importante de especies: bacterias, hongos, microartrópodos; así como las lombrices de tierra, y las hormigas que componen la microfauna. Estas especies son indicativos de la calidad de suelos, sobre todo si estos han sido víctimas de actividades drásticas, de labranza o de haber estado expuestas a procesos químicos de gran incidencia.

Buena parte de los beneficios que los residuos de carbono orgánico dejan en el suelo pueden servir para desacelerar el proceso de contaminación ambiental, así como de los efectos adversos ambientales, por lo que los sumideros deben ser no



solo eventuales, sino que deben ser procesos permanentes para lograr lo fines y los objetivos que es precisamente mantener los suelos preservados. Esta acción generará enormes impactos no solo en los suelos y en las capas vegetales, sino también en la economía de la región.

Otro factor que resulta preocupante es el acelerado calentamiento global lo que ha propiciado en todo el planeta eventos que no se tenían desde hace años. De allí que es importante capturar la mayor proporción de carbono en los suelos, lo que permitirá un mejor aprovechamiento de estos suelos que han recibido la mayor cantidad de carbono orgánico.

El calentamiento global no es solo un acontecimiento atmosférico, como se cree. En ese sentido, la Agencia Europea del Medio Ambiente citada por Burbano – Orjuela, 2018, señala que:

Se suele considerar que el cambio climático (CC) solo tiene que ver con lo que ocurre en la atmósfera, no obstante, por acción de la fotosíntesis que utiliza el carbono atmosférico, una proporción de dicho carbono llega al suelo y se puede estabilizar por periodos tan amplios que pueden ser miles de años. A la luz de esta consideración, los suelos en mayor o menor proporción pueden coadyuvar a los esfuerzos tendientes a disminuir el cambio climático (p. 83).

En ese sentido, precedido de los océanos, los suelos son los segundos sumideros, además de ser un importante sistema climático cuyas concentraciones llegan a modificar tanto las temperaturas como propiciar las lluvias u otros fenómenos que benefician a los suelos. En este sentido, es evidente que el suelo es un gran reservorio natural de carbono. No obstante, esta dinámica se da gracias a procesos naturales que provienen de grandes concentraciones no solo de residuos vegetales, sino también animales, resultado de procesos microbióticos de gran impacto.

Como se sabe, los suelos aportan grandes cantidades de carbono que es liberado a la atmósfera durante el proceso fotosintético. Sin embargo, esta dinámica solo se da si los suelos tienen suficientes reservorios, así como de nutrientes, caso contrario, solo desprende agentes que no solo aceleran el proceso de contaminación, sino que generará en el futuro, enormes y drásticos daños tanto al ecosistema como a la biodiversidad.



Así como los suelos pueden contribuir con el saneamiento ambiental, también pueden ser la causa de los enormes desequilibrios ambientales. Si no se trata de forma adecuada, puesto que los suelos contribuyen en porcentajes elevados en la mitigación de agentes contaminantes. De allí la importancia y del correcto manejo de la tierra, tanto en el cultivo como en el tratamiento posterior que se les da a los cultivos.

Otro factor que es importante y que llega a ser determinante es la quema o deforestación cuya técnica aún suele darse en algunas regiones del planeta. Se cree que, con la quema, los suelos estarán mejor para ser cultivados, sin embargo, esta acción, solo puede acelerar el proceso contaminante, al afectar no solo a los suelos, sino también al aire y a otros recursos esenciales para la vida.

Si bien, el cambio climático se atribuye a la tradicional combustión de fósiles, es también sabido que estos fenómenos se deben a otros procesos que ciertamente, han acelerado y han hecho posible la aparición de eventos atmosféricos de gran importancia y que afecta la vida, así como la biodiversidad y el equilibrio ambiental.

De este modo, se hace necesario no solo un cambio en las estrategias de cultivo, sino en los esquemas de pensamiento, también en los modos de producción que siguen generando enormes problemas ambientales y el cese de la vida en el planeta.

De forma natural los suelos llegan a albergar, incluso por encima de la vegetación y de la atmósfera juntas, la mayor densidad de carbono por ser uno de los reservorios naturales o sumideros de gran relevancia. De allí que debe cuidarse y protegerse de las acciones contaminantes, y de este modo preservar la vida de todas las especies.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 82-96. <https://revistas.ude-nar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/3925>
- Cuellar, J., y Salazar, E. (2016). *Dinámica del carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra en el Perú*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/490>
- Garrido, A. (2016). *Carbono almacenado de acuerdo al tipo de cobertura y la gradiente altitudinal en la provincia de Leoncio Prado*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1712>
- Iroz, N., Juanbelz, L., Cruz, J., Muñoz, D., Sosa, J., Maceiras, R., Avila, E., De-lozano, M., Aguirre, F. y Torres, M. (2018). *El ciclo biológico del carbono*. UTN La Plata. <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/qcasis/com64cbiol.pdf>
- Laban, P., Metternicht, G., y Davies, J. (2018). *Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales – UICN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2018-004-Es.pdf>



- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. FAO. <http://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017). *Mapa de carbono orgánico*. FAO. <http://www.fao.org/3/i8195es/I8195ES.pdf>
- Rojas, F., Santoyo, G., González, E., Velázquez, A., y Pulido, J. (2017). La ciencia del suelo en el ciclo del carbono de México. *Revista Elementos para Políticas Públicas*, 1(2), 1-28. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/105813>
- Zita, A. (s.f). Ciclo del carbono. <https://www.todamateria.com/ciclo-del-carbono/>
- Acuña – Alegria, L., Salinas – Lira, C., Sepúlveda – Villarroel, V., Vasco – Calle, D. y Ananías, R. (2018). Determinación inversa de la conductividad térmica en madera de *Pinus radiata*, *Maderas. Ciencia y tecnología*, 20(4), 595 – 610. DOI: 10.4067/S0718-221X201800500470
- Aguilar, S., Llimpe, M., Mendoza, F., Callupe, A. y Pizarro, J. L. (2017). *Planteamiento estratégico para la industria de la silvicultura*. [tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional. http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9078/AGUILAR_LLIMPE_PLANEAMIENTO_SILVICULTURA.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Basantes, E. (2016). *Silvicultura y fisiología vegetal aplicada*. (1 era ed.). Sangolquí, Ecuador: Universidad de las fuerzas armadas ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11686/1/Silvicultura.pdf>
- Chura, N. y Muchica, J. (2021). *Factibilidad del uso de la madera Pinus Radiata como material estructural para la construcción de tijerales en la región de Puno*. [tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/4354>
- Ferrere, P., Lupi, A. M. y Boca, T. (2016). 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. DOI: 10.4067/S0717-92002015000300009

Gutiérrez, N. (2014). *Evaluación del efecto del tipo sustrato y dosis de ácido naftaleno acético (Ana) en el enraizamiento de estacas Pinus radiata D.* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/398>

Hernández, A. y Rubilar, R. (2012). Efecto de la fertilización nitrogenada y fosforada en el desarrollo y fenología de brotes de setos de *Pinus radiata*. *BOSQUE*, 33(1), 53 – 61. DOI: 10.4067/S0717-92002012000100006

Lázaro, F. (2020). *Efectos del humus de lombriz y micorrizas en el crecimiento de plántulas de pino (Pinus radiata), distrito de Pillco Marca – Huánuco 2020.* [tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2665>

Mayta, P. (2019). *Evaluación del efecto de la plantación forestal de Pino (Pinus radiata) sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en la comunidad Huerta Huaraya – Puno, 2018.* [tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1688>

Ochoa – Gaona, S., Pérez, I. y de Jong, B. (2008). Fenología reproductiva de las especies arbóreas del bosque tropical de Tenosique, Tabasco, México. *Rev. Biol. Trop*, 56(2), 657 – 673. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442008000200020

Soto, S. (2019). *Influencia de la calidad de sitio en la producción maderable del Pinus Radiata d. Don, en el parque forestal Cumbe Mayo – Cajamarca.* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3265>

Vásquez – Grandón., Donoso, P. y Gerding, V. (2018). Degradación de los bosques: Concepto, proceso y estado – Un ejemplo de aplicación en bosques adultos nativos de Chile. En Donoso, P., Promis, A. y Soto, D. (editores). *Silvicultura en bosques nativos. Experiencias en silvicultura y restauración en Chile, Argentina y el oeste de Estados Unidos.* College of Forestry, Corvallis, Oregon USA; printed by Imprenta América, Valdivia, Chile.



- Álvarez, A., Dilas, J. y Ortecho, R. (2020). Captura de Carbono: Un enfoque sobre el cambio climático y los servicios ecosistémicos en el Perú. *Alpha Centauri*, 1(2), 2- 14. <https://doi.org/10.47422/ac.v1i2.8>.
- Álvarez, C., Lozano, A., Moggiano, N. (2021). El cambio climático en los Andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101- 108. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>.
- Arteaga, L. y Burbano, J. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79- 91. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93>.
- Barlasina, M., Carbajal, G. y Condori, L. (2021). Boletín Gases de Efecto Invernadero. Servicio Meteorológico Nacional. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79- 91. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93>.
- Breña, F., Mondragón, J. y Sandoval, A. (2019). Calentamiento global: una secuencia didáctica. *Revista Mexicana de Física*, 65(1), 52- 57. <https://rmf.smf.mx/ojs/rmf-e/article/view/467/1213>.
- Conexiónesan. (10 de enero del 2019). *El mercado de carbono: una alternativa que apunta a la sostenibilidad*. <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/01/el-mercado-de-carbono-una-alternativa-que-apunta-a-la-sostenibilidad/>.
- Cosentino, V., Costantini A., Lupi, A., Romaniuk, R. y Taboada, M. (2018). Emisiones de gases de efecto invernadero desde el sector forestal. *Ciencia e Investigación*, (5), 55- 61. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/4388/INTA_CIRN_InstitutodeSuelos_Romaniuk_R_Emisiones_gases_efecto_invernadero_sector_forestal.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Díaz, M. (2016). Bonos de carbono: un instrumento en el sistema financiero internacional. *Revista Libre Empresa*, 13(1), 11- 33. <http://dx.doi.org/10.18041/libemp.2016.v13n1.25106>.
- García, R., Pérez, H. y Rodríguez, I. (2021). Secuestro de carbono por el suelo y sus fracciones en agrosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana.



- Revista Universidad y Sociedad, 13(2), 141- 149. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1951>.
- González, E. y Meira, P. (2020). Educación para el cambio climático. *Perfiles Educativos*, 62(168), 157- 174. <https://doi.org/10.22201/ii-sue.24486167e.2020.168.59464>.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2019). *Calentamiento global de 1,5°C*. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2020). *El cambio climático y la tierra. Resumen para responsables de políticas*. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRC-CL_SPM_es.pdf.
- Haydee, L. y Ortiz, P. (2019). Sustentabilidad global: Principios y acuerdos internacionales. *Revista de Ciencias Sociales*, 25(4), 75- 86. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7202000>.
- Hernández, Y. (2020). Cambio climático: Causas y Consecuencias. *RenovAT*, 4(1), 38- 53. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/3517/3953>.
- Hernández, P. (2021). El cambio climático y las implosiones del ser humano. *Con-Ciencia Serrana*, 3(5), 11- 14. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/view/6850>.
- Maldonado, E. y Salas, E. (2020). Breve historia de la ciencia del cambio climático y la respuesta política global: un análisis contextual. *KnE Engineering*, 5(2), 717- 738. <https://doi.org/10.18502/keg.v5i2.6294>.
- Mayhew, N. (2018) La OIEA y el cambio climático: adaptación, monitorización y mitigación. *Boletín del OIEA*, 4- 5. https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull59-3/5930405_es.pdf.
- Mendoza, M., Navarro, A., Quevedo, A., Sangerman, D. y Zamora, B. (2018). El manejo del suelo en la conservación de carbono orgánico. *Revista*



- mexicana de ciencias agrícolas*, 9(8), 1787- 1799. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1723>.
- Moreno, H. (2020). La emisión de gases de efecto invernadero en tiempos de COVID- 19. *Universitarios Potosinos*, (251), 16- 21. <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Diecisiete/251/251-04.pdf>.
- ONU. (s.f.). *Naciones Unidas. Plataforma de compensación de carbono*. <https://offset.climateneutralnow.org/allprojects?specs=431>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *Carbono orgánico del suelo*. FAO. <http://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf>
- Paterson, P. (2017). Calentamiento global y cambio climático en Sudamérica. *Revista Política y Estrategia*, (130), 153- 188. <https://doi.org/10.26797/rpye.v0i130.133>.
- Pérez, L. (2017). Tachos verdes, una estrategia frente al cambio. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 43(1), 196- 19. <https://www.redalyc.org/pdf/864/86451165004.pdf>.
- Pérez, J. (2020). Causas de la pérdida global de biodiversidad. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(32), 183- 198. <https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i32.219>.
- Pinto, J. (2020). *Los retos del cambio climático. Un estudio sobre las respuestas legales del Perú*. Universidad de Lima. https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10178/Pinto_Retos_del_cambio_clim%C3%A1tico.pdf?sequence=6&isAllowed=y.
- Poma, A. (2019). Cambio climático y activismo ambiental: el papel de los apegos al lugar. *Nueva Época*, (43), 212- 237.
- Torres, F. (2019). Cambio climático y gobierno local. Falsa idea: “piensa global y actúa localmente”. *Espacios públicos*, (54), 25- 45. <http://politicas.uaemex.mx/espaciospublicos/eppdfs/N54-2.pdf>

Mario Ruíz Ramos

Correo: mario Ruiz91@hotmail.com

Perfil: Ing. Forestal, egresado de la Universidad Nacional del Centro del Perú- Huancayo. Grado DR. Con experiencia profesional como Residente de Proyectos Productivos Forestales, coordinador de proyectos, jefe de línea en Manejo Forestal en ADEFOR. A partir del 2017 inició como docente Universitario teniendo como escenarios la Universidad Nacional Autónoma de Chota, luego La Universidad Nacional Ciro Alegría y, actualmente, Docente Investigador de la Universidad Nacional De Jaén.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9955-3064>

Afiliación: Universidad Nacional De Jaén.

