

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCION DE POSTGRADO



DINÁMICA DE ABSORCIÓN DE NITRÓGENO EN BOSQUES ALPINOS
AFECTADO POR ALTITUD Y EXPOSICIÓN

Reporte de Estancia

Que presenta LUIS REYNALDO MONTOYA JIEMÉNEZ
como requisito parcial para obtener el Diploma como
ESPECIALISTA EN MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES DE
ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS

Saltillo, Coahuila.

Julio 2019

DINÁMICA DE ABSORCIÓN DE NITRÓGENO EN BOSQUES ALPINOS
AFECTADO POR ALTITUD Y EXPOSICIÓN

Reporte de Estancia

Elaborado por **LUIS REYNALDO MONTOYA JIMÉNEZ** como requisito parcial
para obtener el Diploma como Especialista en Manejo Sustentable de Recursos
Naturales de Zonas Áridas y Semiáridas con la supervisión y aprobación del
Comité de Asesoría



Dr. Alejandro Zárate Lupericio
Asesor Principal



Dr. Luis Samaniego Moreno
Asesor



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Agradecimiento

A Dios padre

Por darme vida para poder terminar una meta más en mi vida y acompañarme en todos los momentos más difíciles de la vida.

A mi Alma Terra Mater

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO una excelente casa de estudios, por darme el privilegio de estar entre sus aulas y brindarme ese cobijo y refugio donde pase cinco de los mejores años de mi vida, gracias por formarme como un profesional.

A mis padres

Asunción Montoya González y mi madre María Luisa Jiménez Avendaño que con mucho amor, esfuerzo y dedicación me apoyaron en todo momento, gracias a ese apoyo y a los consejos logré terminar mis estudios, gracias por creer en mí.

A mi hermano y su esposa

Juan Carlos Montoya Jiménez y su esposa Cecilia Guadalupe Ruiz González, por el apoyo brindado en todo momento y por sus consejos gracias.

Especialmente al Dr. Armando Gómez Guerrero por aceptarme y poder trabajar con él dedicarme el tiempo y el apoyo necesario para que este trabajo se finalizara, siendo el un excelente asesor y profesor.

A mi asesor y coasesores el Dr. Alejandro Zarate Lupercio, Dr. Luis Samaniego Moreno y al Dr. Javier Cortez Bracho, por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

A todos los profesores del núcleo académico de la especialidad: Dr. Alejandro Zarate Lupercio, Dr. Jesús valdés Reyna, Dra. Rosa María Garza Quiñones, Dr. Lorenzo Alejandro López Barbosa, Dr. Luis Samaniego Moreno, Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho, Dra. Silvia Yudith Martínez Amador, quienes me instruyeron durante la especialidad, brindando su conocimiento ayudando a terminar una meta más en mi vida.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Ciclo biogeoquímico del nitrógeno.....	4
Dinámica del nitrógeno en el suelo.....	4
Distribucion geográfica de Pinus hartwegii Lindl.	4
Importancia de Pinus hartwegii Lindl.	5
Trabajos afines	5
MATERIALES Y MÉTODOS	8
Descripción del área de estudio.....	8
Metodología	9
DESARROLLO DE ACTIVIDADES.	11
Ordenamiento y preparación de muestras foliares de experimentos en bosques de Pinus hartwegii.....	12
Preparación de muestras foliares para análisis de laboratorio.	13
Actividades extras realizadas en la estancia.....	14
RESULTADOS.....	16
REFERENCIAS	17

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Calendario de actividades.	11
Cuadro 2. Base de dato para las muestras procesadas.	13

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	8
Figura 2. Ubicación, limpia y aplicación de ^{15}N en árboles de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl. ...	9
Figura 3. Ubicación de los árboles de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl estudiados con diferente altitud y aspecto.	10
Figura 4. Procedimiento de trituración de muestras foliares.	12
Figura 5. Encapsulamiento de muestras foliares para análisis de laboratorio.	13
Figura 6. Caracterización del sitio de estudio.....	15

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las masas forestales depende de varios factores, entre ellos, el edáfico que incide sobre el suministro de nutrientes y agua para los árboles (Lázaro-Dzul *et al.*, 2012). La disponibilidad de nutrientes influye en las funciones esenciales y específicas en el metabolismo de las plantas; es por eso que la provisión, principalmente de macronutrientes como el nitrógeno y el fósforo es indispensable para mantener la productividad de los bosques y plantas (Hernández y Rubilar, 2012).

Los efectos actuales del cambio climático sobre los ecosistemas del planeta, cobran cada vez más importancia y generan una mayor necesidad para comprender cómo funcionan los ecosistemas, es decir, procesos importantes como los flujos de energía, biomasa, agua, carbono y nutrientes (Imbert *et al.*, 2004). El depósito adicional de nitrógeno (N) atmosférico en bosques cercanos a las ciudades, agrava los efectos del cambio climático, ya que el incremento en emisiones de óxidos de (N) derivadas de las actividades antropogénicas se refleja en la absorción vía foliar y alteraciones nutrimentales (Brumme *et al.*, 1992; Fenn *et al.*, 1999). REF

Los ecosistemas forestales están ligados a ciclos biogeoquímicos importantes para la sociedad como el ciclo del agua y del carbono (Rodríguez y Lancho, 1995). Por tal razón la absorción foliar directa de nitrógeno (N) es un proceso importante que puede afectar el ciclo de otros nutrientes en algunos ecosistemas forestales (Chaves-Aguilar *et al.*, 2006 REF). Algunas veces la escasez de algunos nutrientes puede limitar la producción forestal dado que, de manera natural, las condiciones de nutrientes siempre son limitadas y las entradas externas son raras (Fraga *et al.*, 2012). La disponibilidad de algunos elementos se puede aumentar con la fertilización, como se afirmó en Francia por (Bonneau, 1995; Trichet *et al.*, 2009).

El presente reporte de estancia, describe la participación del suscrito dentro del estudio general sobre la “Respuesta de los Ecosistemas Forestales ante el Cambio Climático”. Específicamente, se describe la participación relacionada con “Absorción de nitrógeno inorgánico en un Bosque Alpino Afectado por Altitud y Exposición”. El estudio en mención, se ha venido desarrollando por el Dr. Armando Gómez Guerrero en colaboración con sus estudiantes y colaboradores, dando lugar a diferentes publicaciones (Fenn *et al.*,

1999; García García *et al.*, 2002; García-García *et al.*, 2003; Chavez-Aguilar *et al.*, 2006; Gómez-Guerrero *et al.*, 2008; Correa-Díaz *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2015; Castruita-Esparza *et al.*, 2016; Correa-Díaz *et al.*, 2018; Gómez-Guerrero and Doane, 2018; Correa-Díaz *et al.*, 2019)

Los estudios de los cambios en la concentración foliar de nutrientes en relación con la edad de las acículas proporcionan información de los procesos de traslocación de nutrientes y la variación de acuerdo a la altitud y exposición del terreno (Aerts y Chapin, 1999). Consecuentemente la finalidad de este trabajo es medir la tasa de movimiento de (N) inorgánico dentro el follaje de *Pinus hartwegii* Lindl. Para obtener resultados más contundentes se utilizaron fuentes marcadas con ^{15}N .

OBJETIVOS

Objetivo general:

Estudiar la absorción de (N) en bosques alpinos, de acuerdo a la altitud y exposición.

Hipótesis nula: Las formas asimilables de (N) orgánico (NO_3^- y NH_4^+) no son afectadas por altitud y exposición.

Hipótesis alterna: Las formas asimilables de (N) orgánico (NO_3^- y NH_4^+) son afectadas por la altitud y exposición.

REVISIÓN DE LITERATURA

Ciclo biogeoquímico del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno (N) es muy dinámico y presenta varios estados de oxidación mientras se mueve del suelo a la planta y dentro de la planta (Rincón y Gutiérrez, 2012). En resumen, los procesos más importantes son la mineralización, la nitrificación, desnitrificación, fijación biológica y asimilación. Es importante señalar que a pesar de la cantidad abundante de nitrógeno en la atmosfera (78%), las formas asimilables inorgánicas son muy limitadas y por lo tanto un factor limitante para el crecimiento de las masas arboladas (Delgado y Salas, 2006).

Dinámica del nitrógeno en el suelo

El nitrógeno está ligado a la producción de biomasa ya que el proceso de fijación de carbono depende de la enzima Rubisco, que a su vez está constituida principalmente por (N) (Hayatsu *et al.*, 2008). Para entender que direcciona la dinámica del nitrógeno, es necesario comprender la estrecha red de procesos que dependen de la actividad microbiana edáfica (Mcgratg *et al.*, 2010). La incorporación de nitrógeno vía fijación biológica es importante para la fertilidad del suelo y, por tanto, para la productividad vegetal (Rincón y Gutiérrez, 2012).

Distribución geográfica de *Pinus hartwegii* Lindl.

El bosque de *Pinus hartwegii* constituye el límite superior arbóreo en las montañas de México (Díaz *et al.*, 2013). Se encuentra en sitios con clima semifrío, con temperaturas medias anuales de entre 5 a 12 °C, con precipitaciones medias anuales de 967 a 1,200 mm, los suelos que habita son andosoles, podzoles o cafés forestales (Mendoza, 1977; García, 1981; Benítez, 1988). *Pinus hartwegii* solamente se localiza en México y Guatemala. En México, está presente en 14 estados, principalmente en la región central del país, donde forma generalmente masas puras y abiertas ubicadas entre los 2,900 y 4,000 msnm, aunque se pueden hallar algunos individuos a 4,200, esta especie se puede encontrar tanto en terrenos planos, adyacentes a praderas alpinas o sobre terreno irregular de malpaís,

hasta pendientes pronunciadas, en algunos casos superiores al 100% (Rodríguez-Trejo, 2001).

Importancia de *Pinus hartwegii* Lindl.

Pinus hartwegii Lindl. Tiene un gran valor desde el punto de vista ecológico como socioeconómico, ya que conforma uno de los pilares más fuertes de la económica sobre todo de algunos países americanos y eurasiáticos (Eguiluz, 1988). Los bosques de esta especie resultan de gran interés recreativo. Su importancia radica en que se desarrollan a las mayores elevaciones sobre el nivel del mar, cumplen funciones de protección a otros recursos, amortigua los efectos de la contaminación ambiental y contribuye como regulador del ciclo hidrológico (Caballero, 1967; Solís, 1994).

La madera de *Pinus hartwegii* Lindl. Es dura y resinosa (Solórzano, 1987). Su resina se usa principalmente para producir brea y trementina, la utilización primordial de la especie es para la producción de celulosa, papel, pulpa, además que la especie resulta de gran importancia para la producción de chapa, triplay, tableros, durmientes, postes para cercas y carbón (Martínez, 1948; SEMANRNAT, 2003; Villareal, 1993).

Trabajos afines

Chaves-Aguilar y colaboradores (2006) cuantifican, en invernadero, la cantidad de nitrato de (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) absorbido en la biomasa de follaje nuevo de *Abies religiosa*. Para medir la absorción foliar de N se prepararon soluciones con el isotopo estable ^{15}N , utilizando como fuente de NO_3^- , K^{15}NO_3 y de NH_4^+ , $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, respectivamente. Las fuentes presentaron un enriquecimiento de 56.7 y 49.2 % en átomo. El diseño experimental usado fue completamente al azar con tres factores, cada uno a dos niveles. Los resultados encontrados indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la absorción foliar solo para la forma y dosis de (N), de acuerdo con los resultados se concluye que si hay un alto potencial de absorción foliar de (N) en *Abies religiosa* vía foliar. Por lo tanto, el depósito de (N) en zonas urbanas con problemas de contaminación pone en riesgo la salud de los bosques cercanos.

Con la finalidad de estudiar la fertilización con nitrógeno (0, 138, 185), fósforo (0, 15, 21) y potasio (0, 123, 164) $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ con relación al crecimiento de follaje nuevo, mediante un

experimento factorial 3³ en una plantación de *Pinus patula* Schl. de 10 años de edad, en Aquixtla, Puebla, durante 2009-2010. Lázaro-Dzul *et al.*, (2012) determinan la deficiencia de nitrógeno, atribuida a la acidez edáfica y a la lenta mineralización de la materia orgánica. Concluyendo que la dosis recomendada para las condiciones de ese sitio en particular tanto como edáficas y climáticas fueron 185-0-0 kg*ha⁻¹ para volumen de follaje nuevo y 138-0-0 kg*ha⁻¹ de NPK para peso seco.

Gómez-Guerrero *et al.*, (2008) evalúan la absorción foliar de nitrógeno inorgánico por depósito húmedo simulado en *Abies religiosa*, en un experimento factorial en vivero con plantas de tres años de edad y bajo un diseño completamente al azar. Se pusieron ocho tratamientos combinados de dos formas de (NO₃⁻ y NH₄⁺), también se utilizó ¹⁵N para medir absorción de (N), a las plantas se les cosechó el follaje nuevo, es decir follaje mayor a 1 año, ramillas, tallo principal y raíz fueron separados. Los resultados obtenidos fueron que la forma y dosis de (N) tuvieron efecto (p=0.001) en todos los componentes de las plantas, mostrando mayor absorción de (N) con NO₃⁻ en dosis alta. Así también concluyeron que la mayor absorción de (N) fue en follaje nuevo. La absorción de NO₃⁻ fue nueve y tres veces mayor que la de NH₄⁺ en follaje mayor a 1 año y raíz respectivamente. Los resultados sugieren un alto potencial de absorción por follaje de *A. religiosa*.

Seis años después de la aplicación de una poda química de raíz en vivero. Pacheco-Escalona *et al.*, (2007) cuantifican la absorción de nitrógeno (N) en *Pinus greggii* Engelm. Con los siguientes tratamientos bolsa y tapete impregnados con cobre (T1); bolsa impregnada con cobre (T2); tapete impregnado con cobre (T3); bolsa sin impregnación de cobre (T4, testigo). La absorción se determinó con 20 árboles, después de aplicar al suelo una fuente marcada con ¹⁵N como (15NH₄)₂ SO₄ y enriquecida al 49.2%. encontraron que el T2 causó mayor recuperación de N de la fuente marcada en follaje joven (p≤0.01). así también los análisis de follaje joven indicaron la poda química de la raíz tuvo efecto positivo en la absorción de (N) seis años después de plantar en campo, por lo que se refiere que dicha práctica es benéfica durante los primeros años de establecimiento de las plantaciones forestales.

López-Escobar *et al.*, (2017) evaluaron los reservorios de N, P, K, CA y Mg en árboles, matillo y suelo mineral de dos rodales de *Pinus montezumae* Lamb. Bajo aprovechamiento

mediante el Método de Ordenación de Bosques irregulares, en cada rodal se delimitaron tres sitios circulares de 0.1 ha; uno al centro y dos complementarios ubicados a 50 m. estimaron la tasa de descomposición de mantillo y cuantificaron la cantidad anual de nutrientes demandada. La biomasa y masa de nutrientes en el fuste, ramas y hojas se estimaron con un muestreo destructivo de 10 árboles, todo esto realizado en Nanacamilpa, Tlaxcala.

Los resultados demuestran que los reservorios y dinámica de nutrientes fueron similares en ambos rodales, los contenidos de N, P, K, CA y Mg fueron 5 419, 68, 1 245, 9 163 y 2 029 kg/ha-1, se reportó una biomasa aérea de 242, 12, 28, 167 y 118 kg/ha-1. La tasa de descomposición de hojarasca fue de -0.335. los resultados sugieren que el arbolado requiere, para su crecimiento, 73 a 81 kg/ha-1/año-1 de N, 5.2 a 5.3 kg/ha-1/año-1 de P y 9.4 a 10 kg/ha-1/año-1 de K.

Fraga *et al.*, (2012) realizan un estudio en 31 parcelas de *Pinus pinaster* localizadas en el noreste de España. En cada parcela se seleccionaron tres árboles, muestreando una rama por árbol para evaluar el estado nutricional de las acículas de diferentes clases de edad. Los elementos analizados fueron: C, N, P, K, Ca, Mg, S, Al, Fe, Mn, Zn, B, Mo, y Cu; se obtuvo su concentración y también se calculó el contenido de nutrientes, para realizar el experimento se usaron seis tipos de funciones para modelar las concentraciones y los contenidos de los elementos como una función de la edad de las acículas.

Los resultados encontrados fueron que algunas concentraciones aumentaron con la edad de las acículas. Las diferencias más frecuentes en las parcelas se encontraron para P, N y K, la mayoría de las parcelas tenían niveles marginales de Fe y en cuanto al B sólo tenía valores adecuados en 8 parcelas. La relación entre la concentración de nutrientes y el índice de sitio de las parcelas considerando la edad de las acículas fue mejor que la relación con los contenidos. Llegando a la conclusión de que la mayoría de las plantaciones den noreste de España, incluso las localizadas en terrenos agrícolas, son diferentes en algún nutriente y se recomienda fertilizar para mejorar la productividad de los rodales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el cerro Tláloc, ubicado entre las coordenadas $19^{\circ} 24' 44.86''$ de latitud norte y $98^{\circ} 42' 45.34''$ de longitud oeste. El cerro Tláloc es una de las principales elevaciones de Texcoco formando parte de la región fisiográfica conocida como la Sierra Nevada, dentro de la cual se encuentra los estados de México, Puebla y Tlaxcala (Palma, 1996).

El clima predominante es C(E)(W2) (W)b(i) el cual se describe como un clima semifrío, subhúmedo, con un porcentaje de precipitación menor a 5 mm, en las zonas más altas la precipitación anual varía entre 800 y 1,200 mm y la temperatura media anual se encuentra entre 10 y 18°C (Ortiz-Solorio y Cuanalo, 1997). Los suelos son negros, profundos, ricos en materia orgánica. A lo largo del declive del cerro Tláloc se presentan seis tipos de vegetación natural dominante: encinar arbustivo, bosque de encino, bosque mixto, bosque de oyamel, bosque de pino y zacatonal alpino (Sánchez-Gonzales y López-Mata, 2003; Melo y Oropeza, 1984).



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Metodología

En cinco árboles de cada condición (altitudes y aspectos) con edades aproximadas de 15 a 20 años y diámetros promedios de 10-15 cm, se aplicó la forma de nitrógeno (amonio y nitrato) etiquetados con ^{15}N para medir la rapidez con la que el (N) se mueve del suelo hacia el follaje de *Pinus hartwegii* Lindl. El etiquetado de los árboles se realiza con sulfato de amonio ($^{15}\text{NH}_4$) 2SO_4 , enriquecido con átomos y con nitrato de potasio (K^{15}NO_3). Antes de la aplicación, se retiró el material orgánico superficial para asegurar que el marcador alcanzará el suelo mineral sin quedar retenido en la superficie del material orgánico. A cada árbol se le aplicaron cinco litros de agua con ^{15}N de fertilizante disuelto por metro cuadrado. Posteriormente en el siguiente periodo de crecimiento se tomaron muestras de las acículas para medir la composición de ^{15}N en la parte superior de la copa. Las muestras foliares se secaron en una estufa de secado a 60° . El análisis de la muestra se realizará con un espectrómetro de masas de combustión de flujo continuo, para calcular la masa de ^{15}N en el follaje.



Figura 2. Ubicación, limpia y aplicación de ^{15}N en árboles de *Pinus hartwegii* Lindl.

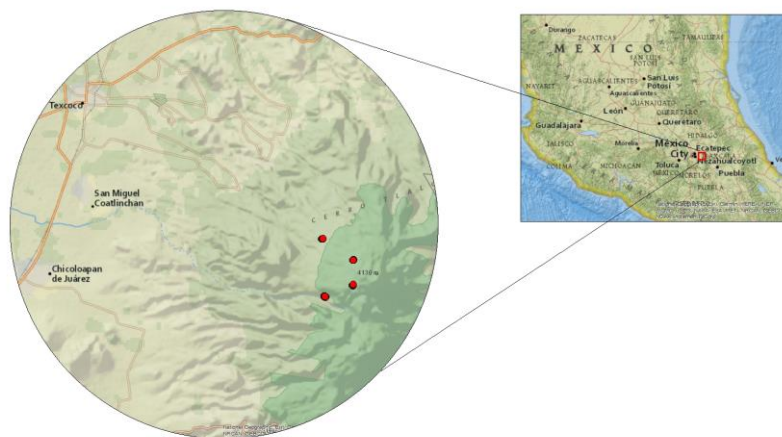


Figura 3. Ubicación de los árboles de *Pinus hartwegii* Lindl estudiados con diferente altitud y aspecto.

DESARROLLO DE ACTIVIDADES

En el cuadro 1, se muestran las actividades que se realizaron durante los meses de febrero, marzo, abril y la primera quincena de mayo del 2019 en el Colegio de Posgraduados, Campus Montecillos, cuyo periodo costa de 108 días, con el fin de realizar y colaborar las actividades establecidas por el Dr. Armando Gómez Guerrero.

Cuadro 1. Calendario de actividades.

Calendario de actividades para Luis Reynaldo Montoya Jimenez durante la estancia con el Dr. Armando Gómez Guerrero.															
Actividades	2019														
	Enero-Febrero					Marzo				Abril				Mayo	
	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Apoyo como asistente del curso de postgrado For612 Edafología forestal		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Ordenamiento de muestra foliares de experimentos en bosques de <i>Pinus hartwegii</i>			x	x	x	x	x	x							
Preparación de muestras foliares para análisis de laboratorio				x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Ordenamiento de datos en Excel							x	x	x	x	x	x			
Elaboración de informe de estancia												x	x	x	

Para llevar a cabo las actividades dentro del calendario fue necesario el traslado a el colegio de posgraduados, una vez estando en la institución se comenzó por tomar el curso de edafología forestal (FOR 612) y brindando el apoyo como asistente del curso durante todo el tiempo que se estaría en la estancia académica.

Ordenamiento y preparación de muestras foliares de experimentos en bosques de *Pinus hartwegii*.

Se procedió al ordenamiento de las muestras foliares, las cuales contenían acículas de *Pinus hartwegii* y estaban etiquetadas con dos años (2016-2017) en bolsas de papel, una vez identificando cada una de las muestras se sacaban y se tomaba solo una parte de un año (2016) para ser trituradas mediante una licuadora (Oester®) hasta obtener la muestra del follaje lo más fina posible. Cuando la muestra estaba totalmente triturada, se separaba lo más entero de lo más fino con ayuda de un colador, lo fino caía en una hoja de papel aluminio y las partes enteras quedaban retenidas. Posteriormente ambas muestras eran colocadas en bolsas pequeñas, donde el polvo más entero iba identificado con el número del árbol, altitud y el año (P1-SW3900-2016), dentro de esta misma se colocaba la bolsa del producto más fino.

Una vez terminada la muestra del primer año 2016 se hacía lo mismo con el siguiente año, no sin antes aplicar aire comprimido para poder expulsar las partículas más finas de la muestra y posteriormente limpiar con pinceles y algodón con alcohol las aspas y el vaso de la licuadora para no contaminar la siguiente muestra (Figura 4). El mismo procedimiento se aplicó para un total de 92 muestras.



Figura 4. Procedimiento de trituración de muestras foliares.

Preparación de muestras foliares para análisis de laboratorio.

Cuando se terminó de procesar todas las muestras, se procedió a encapsularlas en capsulas de cobre de estaño (Figura 5). Dentro de las capsulas solo se colocó un peso entre 5.0 y 5.6 mg del follaje lo más fino posible, utilizando una Micro-Balanza con precisión a 0.001 mg. Primeramente se pesaron 5.0 mg de cada muestra y una vez obtenido el peso correcto, la capsula se cerró con la finalidad de no permitir la salida de material. Cabe destacar que para este procedimiento se utilizaron pinzas especiales, guantes, alcohol y mucha precaución para no contaminar una muestra con otra, ya que las concentraciones de ^{15}N a determinar son extremadamente bajas y la mínima contaminación puede afectar los resultados. Al terminar el proceso de encapsulamiento para análisis de laboratorio toda la información fue procesada en Excel® con una base de datos determinada (cuadro 2).

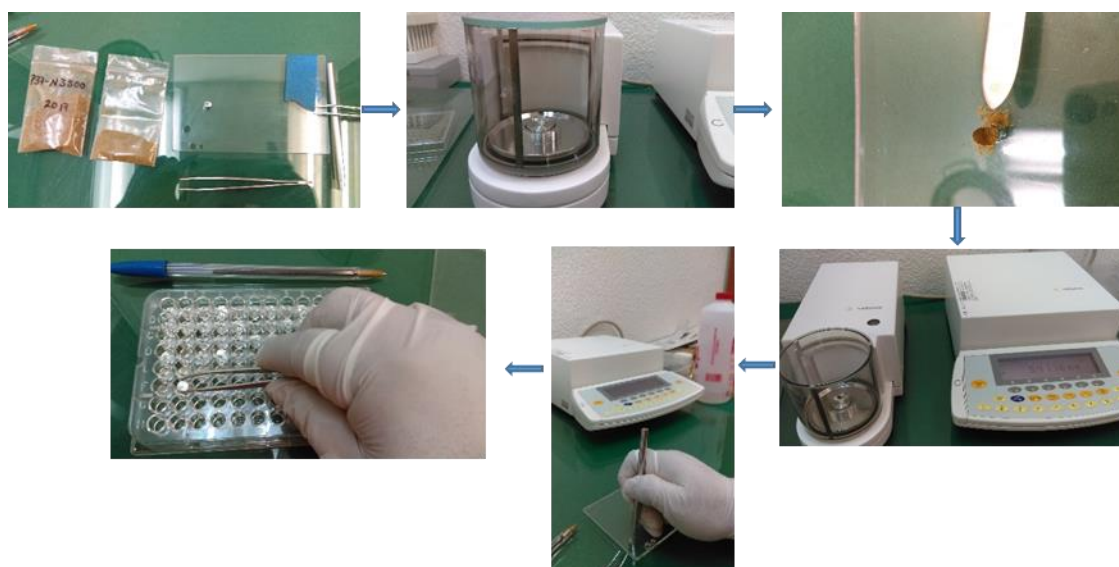


Figura 5. Encapsulamiento de muestras foliares para análisis de laboratorio.

Cuadro 2. Base de dato para las muestras procesadas.

ID	POSICION	EXPOSICION	ALTITUD	CLAVE	AÑO	PESO	Especie	CAJA	Enrichment
1	f10	Sur	3900	T-S-3900-AM1b	2016	5.0953	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
2	f11	Sur	3900	T-S-3900-AM2b	2016	5.2152	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
3	f12	Sur	3900	T-S-3900-AM3b	2016	5.2303	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
4	g1	Norte	3900	T-N-3900-AM1b	2016	5.2104	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
7	g2	Norte	3900	T-N-3900-AM2b	2016	5.1059	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
9	g3	Norte	3900	T-N-3900-AM3b	2016	5.2771	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
6	g4	Sur	3500	T-S-3500-AM1b	2016	5.5616	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
11	g5	Sur	3500	T-S-3500-AM2b	2016	5.2061	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
12	g6	Sur	3500	T-S-3500-AM3b	2016	5.2547	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
5	g7	Norte	3500	T-N-3500-AM1b	2016	5.236	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
8	g8	Norte	3500	T-N-3500-AM2b	2016	5.2654	<i>Pinus hartwegii</i>	14	
10	g9	Norte	3500	T-N-3500-AM3b	2016	5.5191	<i>Pinus hartwegii</i>	14	

Actividades extras realizadas en la estancia.

De la misma manera realizado el trabajo de investigación de (N), se llevó el curso de FOR612 Edafología Forestal con EL Dr. Armando Gomes Guerrero, curso en el cual se realizaron prácticas de campo en el cerro Tláloc, donde el objetivo fue realizar perfiles de suelo a diferentes altitudes donde la metodología consistía en lo siguiente.

Se eligió un sitio de muestreo al azar de 500 m² con un radio de 12.64m mas la compensación de la pendiente, para realizar la caracterización de la vegetación presente, dentro del mismo sitio se realizó un perfil de suelo para su descripción, el cual tuvo una profundidad de 84 cm. La (Figura 6) demuestra el procedimiento para la caracterización del sitio de estudio.

Los sitios muestreados fueron tres en donde teníamos la presencia de *Quercus spp.* En el segundo sitio la presencia de *Abies religiosa*, concluyendo con el ultimo sitio donde la presencia fue de *Pinus hartwegii* también conocido como pino de las alturas, se midieron todos los árboles que estuvieron dentro del sitio; las variables medidas fueron: diámetro y altura.

Posteriormente se realizó el perfil de suelo con ayuda de un pico y una pala, la orientación fue a favor de la luz del sol para facilitar la diferenciación de horizontes por cambio de color.

Con una escoba pequeña se limpió la parte frontal del perfil; una vez abierto el perfil se colocó la regla para delimitar los horizontes, obteniendo de cada uno de ellos una muestra representativa para determinar lo siguiente:

Color: Las muestras de cada horizonte se tamizaron, después en la paleta para acuarelas se colocó una pequeña porción de suelo que se humedeció y con apoyo de las tablas Munsell se determinó el color.

Textura: Para determinar esta característica se requirió de una pequeña porción de suelo para realizar las pruebas correspondientes de textura, como son: resistencia a la compresión, elaboración de cordón y dependiendo de las medidas respuestas se elige la textura más adecuada.

Cantidad de materia orgánica: En una espátula se colocó una muestra de cada capa de suelo y se le añadió agua oxigenada para determinar la cantidad de materia orgánica presente.

Estructura: Esta característica se determinó con la forma en la que se encuentran los agregados del suelo.

Densidad aparente. Se determinó en base a la muestra de suelo obtenido con tubo cilíndrico de 5cm x 5cm en cada capa de suelo del horizonte A, aplicando la relación del peso seco del suelo (g) entre el volumen del suelo (cm³).

Humedad volumétrica del suelo (%). Esta característica se determinó utilizando el aparato TDR en cada una de las capas del horizonte, con el propósito de estimar la lámina de agua en cada una de las capas y total.

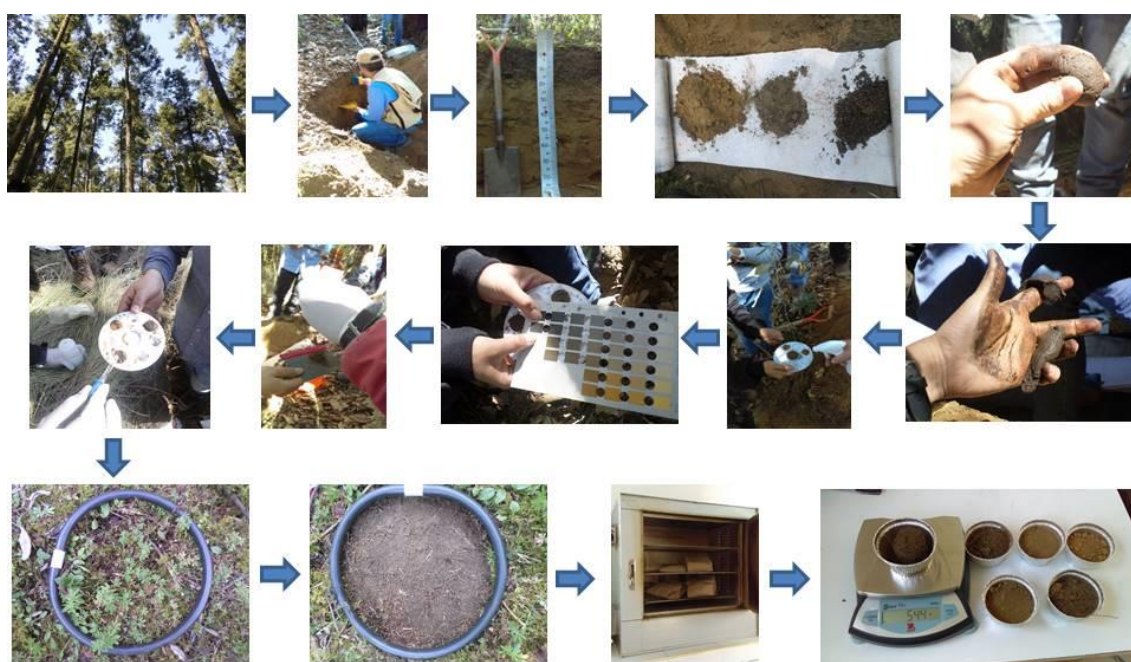


Figura 6. Caracterización del sitio de estudio.

RESULTADOS

De este estudio se obtendrá información importante para conocer la dinámica de nitrógeno inorgánico del suelo al follaje; así como la variación con respecto a la altitud y exposición. Los resultados servirán para anticiparnos a los posibles efectos de cambio climático sobre el ciclo del N, especialmente en bosques alpinos sujetos a varios generadores de estrés como aumento de la temperatura y de CO₂ atmosférico. Dada la susceptibilidad de los bosques alpinos por suelos más profundos y de baja fertilidad, la información de este estudio generará información importante sobre medidas de mitigación de cambio climático en estas áreas forestales.

REFERENCIAS

- Aerts, R., & Chapin III, F. S. (1999). The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. In *Advances in ecological research* (Vol. 30, pp. 1-67). Academic Press.
- BENÍTEZ B., G. 1988. Efectos del fuego en la vegetación herbácea de un bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. en la Sierra del Ajusco. En Rapoport, E. H. y López M., I. R. (eds.). Aportes a la ecología urbana de la ciudad de México. MAB-Limusa. México, D. F. pp. 111-152.
- Brumme, U. R., U. Leimcke, & E. Matzner. (1992). Interception and uptake of NH_4 and NO_3 from wet deposition by aboveground parts of Young beech (*Fagus sylvatica* L.) trees. *Plant and Soil* 142:273-279.
- Bonneau, M. (1995). *Fertilisation des forêts dans les pays tempérés*. Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts.
- CABALLERO, D.M. 1967. Estudio comparativo de *Pinus rudis* Endl. y *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosques. Chapingo, México. 139 p.
- Castruita-Esparza, L. U., A. Correa-Díaz, A. Gómez-Guerrero, J. Villanueva-Díaz, M. E. Ramírez-Guzmán, A. Velázquez-Martínez and G. Ángeles-Pérez. 2016. Basal area increment series of dominant trees of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco show periodicity according to global climate patterns. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22: 380-397.
- Correa-Díaz, A., A. Gómez-Guerrero, J. Villanueva-Díaz, L. U. Castruita-Esparza, T. Martínez-Trinidad and R. Cervantes-Martínez. 2014. Análisis dendroclimático de Ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el centro de México. *Agrociencia* 48: 537-551.
- Correa-Díaz, A., A. Gómez-Guerrero, J. Villanueva-Díaz, L. C. R. Silva, L. U. Castruita-Esparza, J. S.-E. Martínez-Trinidad and J. Suárez-Espinosa. 2018. Respuesta fisiológica de *Taxodium mucronatum* Ten. a los incrementos atmosféricos de CO_2 y temperatura del último siglo. *Agrociencia* 52: 129-149.
- Correa-Díaz, A., L. Silva, W. Horwath, A. Gómez-Guerrero, J. Vargas-Hernández, J. Villanueva-Díaz, A. Velázquez-Martínez and J. Suárez-Espinosa. 2019. Linking remote sensing and dendrochronology to quantify climate-induced shifts in high-elevation forests over space and time. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 124: 166-183.

- Chavez-Aguilar, G., M. E. Fenn, A. Gomez-Guerrero, J. Vargas-Hernandez and W. R. Horwath. 2006. Foliar nitrogen uptake from simulated wet deposition in current-year foliage of *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham. *Agrociencia* 40: 373-381.
- Delgado R., Salas A.M 2006. Consideraciones para el desarrollo de un sistema integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una agricultura sustentable en Venezuela. *Agronomía Tropical*. 56(3): 289-323.
- Díaz, J. V., Paredes, J. C., Selem, L. V., Stahle, D. W., Fulé, P. Z., Yocom, L. L., ... & Corral, J. A. R. (2015). Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(86), 5-14.
- Eguiluz, P.T. (1988). Distribución natural de los pinos en México. Centro de Genética Forestal A.C. Nota Técnica. Chapingo, México. 1(2):6.
- Fraga, C. E., Rodríguez, F. S., & Rodríguez-Soalleiro, R. (2012). Macro y micronutrientes en acículas de *Pinus pinaster* de diferentes clases de edad y relación con el índice de sitio de las plantaciones. *Revista Real Academia Galega de Ciencias*, 31, 137-162.
- Fenn, M. E., L. I. De Bauer, A. Quevedo-Nolasco and C. Rodriguez-Frausto. 1999. Nitrogen and sulfur deposition and forest nutrient status in the Valley of Mexico. *Water Air and Soil Pollution* 113: 155-174.
- García-García, R., A. Gómez-Guerrero, J. López-Upton and J. J. Vargas-Hernández. 2003. Composición isotópica de carbono y crecimiento de *Pinus greggii* ENGELM. en vivero. *Agrociencia* 37: 467-475.
- García García, R., A. Gómez Guerrero, V. Hernández, J. Jesúaseso and J. López Upton. 2002. Composición isotópica de carbono y crecimiento en procedencias de *Pinus greggii* Englem. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Recursos Naturales, Forestal.
- Gómez-Guerrero, A., G. Chavez-Aguilar, M. E. Fenn, J. Vargas-H and W. R. Horwath. 2008. Absorción Foliar de Nitrógeno por Depósito Húmedo Simulado en *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. *Interciencia* 36: 429-434.
- Gómez-Guerrero, A. and T. Doane. 2018. The Response of Forest Ecosystems to Climate Change. *In: Horwath W. R. and Yakov K.s (eds.)*. Climate change impacts on soil processes and ecosystem properties. Elsevier. pp. 185-206.
- GARCÍA DE M., E. 1981. Apuntes de climatología. UNAM. México, D. F. 155 p.

- Gómez-Guerrero, A., Chávez-Aguilar, G., Fenn, M. E., Vargas-Hernández, J., & Horwath, W. R. (2008). ABSORCIÓN FOLIAR DE NITRÓGENO POR DEPÓSITO HÚMEDO. *Agrociencia*, 33(6)
- Hernández, A., & Rubilar, R. (2012). Efecto de la fertilización nitrogenada y fosforada en el desarrollo y fenología de brotes de setos de *Pinus radiata*. *Bosque (Valdivia)*, 33(1), 53-61.
- Hayatsu M., Tago K., Saito M. 2008. Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil Science and Plant Nutrition*. 54: 33-45.
- Imbert, J. B., Blanco, J. A., & Castillo, F. J. (2004). Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 479-506.
- Lázaro-Dzul, M. O., Velázquez-Mendoza, J., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., Álvarez-Sánchez, M. E., & López-López, M. A. (2012). Fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium in *Pinus patula* Schl. et Cham SAMPLINGS.. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(1), 33-42.
- Lopez-Escobar, N. F., Gómez-Guerrero, A., Velázquez-Martínez, A., Fierros-González, A. M., Castruita-Esparza, L. U., & Vera-Castillo, J. A. (2018). Reservoirs and nutrient dynamics in two stands of *Pinus montezumae* Lamb. in Tlaxcala, Mexico Reservorios y dinámica de nutrientes en dos rodales bajo aprovechamiento de *Pinus montezumae* Lamb. en Tlaxcala, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(1).
- MENDOZA B., M. A. 1977. Datos meteorológicos de la Estación de Enseñanza e Investigación Forestal Zoquiapan, México. *Información Técnica de Bosques* 4(10): 23-25.
- MARTÍNEZ, M. 1948. Los pinos mexicanos. Editorial Botas. México. 361 p.
- McGrath K.C., Mondav R., Sintrajaya R., Slattery B., Schmidt S., Schenk P.M.. 2010. Development of an environmental functional gene microarray for soil microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology*. 76(21): 7161-7170.
- Ortiz-Solorio C. y Cuanalo de la Cerda H. 1977. Levantamiento Fisiográfico del Área de Influencia de Chapingo. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Estado de México.
- Pacheco-Escalona, F. C., Gomez-Guerrero, A., Aldrete, A., Fierros-Gonzalez, A. M., & Cetina-Alcala, V. M. (2007). Nitrogen uptake and growth of *Pinus greggii* engelm. Six years after chemical root pruning. *Agrociencia*, 41(6), 675-685.

- Rodríguez-Trejo, D. A. (2001). Ecología del fuego en el ecosistema de *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7(2), 145-151.
- Rodriguez, I. S. R., & Lancho, J. G. (1985). Retorno al suelo de bioelementos en tres ecosistemas forestales de la cuenca de Candelario. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 22(4), 407-417.
- Rincón, L. E. C., & Gutiérrez, F. A. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295.
- Sánchez-González A. y López-Mata L. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 74:47-71.
- SERMANAT e Instituto de Ecología. 2003. NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- lista de especies en riesgo. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. Segunda sección. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Anexo informativo II. Segunda edición. Diario oficial. Última actualización: Mayo 20, 2003. [En Línea].
[<http://www.ine.gob.mx/ueajei/norma59a.html>]
[http://www.ine.gob.mx/ueajei/plantas11_13.html]
- Silva, L., A. Gomez-Guerrero, T. A. Doane and W. R. Horwath. 2015. Isotopic and nutritional evidence for species- and site-specific responses to N deposition and elevated CO₂ in temperate forests. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences* 120: 1110-1123.
- SOLÍS, M.A. 1994. Monografía de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis Profesional para obtener el Título de Ingeniero Forestal Universidad Autónoma de Chapingo. División Ciencias Forestales. Chapingo, México. 130 p.
- SOLÓRZANO, I.F. 1987. Efecto de algunos factores ambientales en la germinación de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl.; bajo condiciones controladas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 81 p.
- Trichet P, Bakker MR, Augusto L, Alazard P, Merzeau D, Saur E (2009) Fifty years of fertilization experiments on *Pinus pinaster* in Southwest France: The importance of phosphorus as a fertilizer. *For Sci* 55 (5): 390-402.
- VILLAREAL, Q.J.A. 1993. Introducción a la botánica forestal. Editorial Trillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 2:60-61.