

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Patronato del Nevado de Colima



**ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara**

**4F04 – Mejoramiento de la Calidad, Productividad y Logística en la Industria
Regional**

Impacto de las actividades humanas y el cambio climático en el Parque Nacional Nevado
de Colima: un estudio sobre la interrupción de su dinámica ecológica

PRESENTAN

Programas educativos y estudiantes

Ing. Ambiental Tania Colmenares García
Ing. Ambiental Miguel López Minakata
Ing. Ambiental Vanessa Woolfolk Aragón
Ing. Ambiental David Eduardo Vélez Sánchez

Profesores PAP:

Dra. Raquel Zúñiga Rojas
Dra. Xadeni Ruiz Villegas
Dra. Melissa Ley Cervantes
Ing. Alonso Villalobos Echeverría
Ing. Arturo Javier Rodríguez Herrera
Ing. José Gustavo Calderón De Anda

Tlaquepaque, Jalisco, noviembre de 2023

Contenido

REPORTE PAP	3
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	3
Resumen	5
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional.....	5
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	5
1.2 Caracterización de la organización.....	7
1.3 Identificación de la(s) problemática(s).....	8
Enfoque social	10
1.4. Planeación de alternativa(s).....	17
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora	19
Recolección de muestras	19
Cartografía	23
Prácticas Analíticas.....	30
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos	36
Sección de índices espectrales	37
Sección de laboratorio	48
Discusión general de los resultados obtenidos	64
Conclusión general	67
1.7. Bibliografía y otros recursos.....	68
1.8. Anexos generales.....	72
Anexo 1. Fotos de los sitios de recolección de muestras.....	72
Anexo 2. Fotos de las pruebas de suelo hechas en laboratorio.....	77
2. Productos	77
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	81
3.1 Sensibilización ante las realidades	81
3.2 Aprendizajes logrados	85
3.3 Inventario de competencias Inicial (ingreso del PAP) e Inventario de competencias Final (salida al PAP).....	90

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

El objetivo del presente reporte titulado “Impacto de las actividades humanas y el cambio climático en el Parque Nacional Nevado de Colima: un estudio sobre la interrupción de su dinámica ecológica” es abonar a la bibliografía disponible que respalde las causas y consecuencias que conlleva la interrupción del dinamismo del bosque que es dada por diversas causas como el cambio climático y las actividades antropogénicas, las cuales involucran una mala gestión integral del bosque mesófilo y de altura, actividades de saneamiento erróneamente ejecutadas y la tala excesiva de las masas arbóreas. Se demostró, a través de imágenes satelitales que comprenden un lapso de 33 años y análisis de laboratorio realizados a 20 muestras de suelo compuestas, que las áreas donde ha habido mayor intervención humana son donde se ha producido el mayor impacto ecológico, de tal forma que organismos como el escarabajo descortezador han tomado ventaja a raíz de las prácticas mencionadas, afectando a su vez el dinamismo y la salud integral del bosque.

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construyen sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

Las montañas albergan un alto índice de biodiversidad y un gran porcentaje de ellas son consideradas como sitios de patrimonio culturales ya que proveen una serie de servicios ambientales hacia los seres humanos. Específicamente, en los complejos montañosos es donde se originan los grandes cuerpos de agua debido a que en las partes altas de las montañas tienden a acumularse grandes cantidades de agua que previamente precipitó. Asimismo, estas áreas son hogar de una amplia diversidad de especies animales y ofrecen espacios recreativos para los seres humanos. (Villalobos, F., Gómez, J., 2020)

Durante las últimas décadas las montañas se han visto amenazadas por factores como las actividades antropogénicas y el cambio climático. Son comunes las prácticas que buscan el

aprovechamiento insostenible de los recursos naturales, dejando a su paso impactos negativos en el ambiente como la deforestación, la devastación de los suelos, la contaminación del agua, las alteraciones a la biodiversidad, así como las afectaciones negativas en las comunidades asentadas en los límites de las montañas. (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, 2022)

El cambio climático, por su parte, representa una amenaza para todos los bosques de altura debido al efecto que produce en el aumento de temperatura a nivel global, provocando que las especies de flora y fauna endémicas que abundan en la alta montaña sufran alteraciones en su distribución y reduciendo la población hasta su extinción. Por estas razones, los esfuerzos por preservar y proteger estos espacios se han reforzado a nivel internacional. (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, 2022)

En México se reconocen 7 cadenas montañosas que cubren alrededor del 23% del país (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, 2022):

- Sierra Madre Occidental.
- Sierra Madre Oriental.
- Sierra Madre del Sur.
- Sierra Madre de Chiapas.
- Sistema Montañoso de Baja California.
- Eje Volcánico Transversal o Eje Neovolcánico.
- Altiplano de México.

Dentro del Eje Volcánico Transversal se encuentra el Complejo Volcánico de Colima (CVC) con una superficie de 6,554.75 ha y se compone por el Volcán de Fuego y el Nevado de Colima. El Volcán de Fuego se localiza a 3,860 metros sobre el nivel del mar (ms.n.m.), mientras que el Nevado de Colima está a 4,330 ms.n.m. Las coordenadas geográficas del CVC son 19°30'44" N y 103°37'02" W. Abarca dos estados mexicanos, Jalisco y Colima, y los municipios que lo conforman son Comala, Cuauhtémoc, Tuxpan, Zapotitlán y Tonila. (Komorowski, J., Navarro, C., 1997)

Dentro del CVC existe el Parque Nacional Volcán Nevado de Colima (PNVNC), el cuál además es un Área Natural Protegida (ANP) federal. Fue Lázaro Cárdenas quien en 1936 realizó un decreto presidencial donde menciona lo siguiente (Patronato del Nevado de Colima, 2023):

“el Volcán Nevado de Colima, que por su portentosa silueta y típicos perfiles coronados de nieve y de penachos de humo, forma en el panorama nacional un relieve majestuoso que señala esa montaña como monumento de belleza excepcional y grandiosidad con sus vertientes cubiertas de pinos y encinos en un contraste prodigioso con el territorio semi-tropical que se extiende en las partes bajas y una fauna de animales silvestres de gran valor, que imprimen a esa montaña singular, un carácter de verdadero museo vivo de la fauna y flora comarcanas, reuniendo por todo ello las características de los Parques Nacionales que por acuerdo de las naciones civilizadas se ha convenido en señalar y proteger como una medida de utilidad general”.

Dentro de la ANP se tienen contabilizadas 172 especies de plantas vasculares, donde la familia más diversa es la *Asteraceae*. Por otro lado, se cuentan con 124 especies de mamíferos y 117 especies de aves. Así mismo, entre los bosques que guarda el PNVNC se encuentran (Patronato del Nevado de Colima, 2023):

- Zacotal alpino.
- Bosque de altura de *Pinus hartwegii*.
- Bosque de aile.
- Bosque de oyamel del nevado (*Abies colimensis*).
- Bosque mesófilo de montaña.

Usualmente, los bosques de pino se ven afectados por plagas, parásitos u otras especies que se benefician de ellos. Estos organismos se ven favorecidos cuando se incrementan los incendios forestales, hay sequías prolongadas, el bosque se maneja de forma inadecuada, existe competencia y susceptibilidad de árboles viejos y enfermos, y poca o nula implementación de las prácticas forestales recomendadas en los planes de gestión (como la poda, el adelgazamiento y la reforestación). (Jiménez, E., 2005)

1.2 Caracterización de la organización

La SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) es el órgano encargado de la formulación, ejecución y evaluación de la política estatal respecto a la conservación y protección del medio ambiente, donde el despacho es responsable de lo siguiente:

- Establecer sistemas de verificación ambiental y monitoreo de la salud de los ecosistemas.
- Desarrollar y supervisar planes de manejo del Área Natural Protegida (ANP).
- Determinar regulaciones para actividades humanas como el turismo, la investigación y la agricultura.
- Promover la concientización comunitaria para la preservación y restauración de los recursos naturales.
- Convenir con gobiernos federales y municipales la realización conjunta y coordinada de acciones de protección ambiental.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) es una entidad del gobierno de México que se encarga de proteger y gestionar el Nevado de Colima con el fin de cuidar los recursos del bosque de altura. Esta organización se encarga de proteger la flora y fauna del lugar al asegurarse de que no sean dañadas y ayudando a especies en extinción. Esta tiene una coordinación interinstitucional donde se tiene una relación estrecha con otras dependencias gubernamentales como la SEMARNAT, gestionando esfuerzos en el manejo y la conservación del Nevado de Colima.

Finalmente, el Patronato del Nevado de Colima es una asociación civil conformada por voluntarios y personas que muestran interés en la preservación y promoción de la zona, principalmente buscando recaudar fondos y brindar apoyo en el ANP. Tiene por objeto la preservación, protección y conservación de la flora y fauna silvestre del Nevado a favor del equilibrio ecológico y protección al ambiente, donde la participación de municipios, organizaciones e instituciones es vital para la concertación de acciones entre la sociedad y el gobierno. Las acciones que se planean llevar a cabo se atribuyen a diferentes personas o grupos, coordinando así las políticas públicas para lograr resultados efectivos en las acciones de preservación.

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

La interrupción de la dinámica ecológica dentro del parque Nacional Nevado de Colima por actividades antropogénicas y afectaciones por el aumento de temperatura como consecuencia del cambio climático es el objeto de estudio del presente trabajo. Entiéndase a la dinámica

ecológica como la conversión de elementos, ya sean de naturaleza orgánica o inorgánica, en compuestos minerales diversos como nitrógeno, calcio, fósforo y otros. Estos compuestos son susceptibles a ser asimilados por microorganismos desintegradores, como hongos y bacterias, que participan en la descomposición de materia orgánica. (CCH, 2017)

Los aspectos principales que inciden sobre la interrupción de la dinámica ecológica se enlistan a continuación, los cuales a su vez provocan el aumento del escarabajo descortezador (*dendroctonus adjunctus*) que afecta directamente a la población del *pinus hartwegii*:

- Intervención en la fisionomía del bosque por la industria de la madera (extracción de árbol muerto y tala ilegal de *abies colimensis* y *pinus harwegii*)
- El aumento de los monocultivos en las faldas del Parque Nacional Nevado de Colima.
- Provocación de incendios forestales para posterior aprovechamiento del suelo.
- Aumento de la temperatura media global como consecuencia del cambio climático.

A pesar de ser un Área Natural Protegida (ANP), el Complejo Volcán de Colima (CVC) enfrenta desafíos que amenazan su equilibrio ecológico. Uno de estos desafíos es el método conocido como "saneamiento ecológico", que implica la remoción de árboles muertos en la zona. Al eliminar estos árboles muertos, se perturba el equilibrio dinámico del bosque, lo que resulta en una disminución de la resiliencia, es decir, la capacidad del bosque para responder a situaciones externas. El bosque no está compuesto únicamente por árboles verdes, sino que existe un ciclo completo que debe respetarse, incluyendo la preservación de los árboles muertos. Estos árboles desempeñan un papel importante al liberar sus hojas en descomposición (acículas y hojarasca) que evitan la erosión del suelo. Además, proporcionan hábitats para diversas especies y aportan nutrientes al suelo, beneficiando el desarrollo de árboles más jóvenes. (Jonásová, M., Matejková, I., 2007)

Otro desafío que enfrenta el CVC es el cambio climático, que ha resultado en un aumento de la temperatura. El frío es crucial para frenar la reproducción del escarabajo *Dendroctonus adjunctus*, el cual se alimenta de los pinos maduros, especialmente del *Pinus hartwegii*. Como resultado del aumento de la temperatura, durante los meses de diciembre, enero y febrero, las condiciones de frío disminuyen, lo que favorece la reproducción de estos escarabajos descortezadores y su ataque a los *Pinus hartwegii*. (Gallardo-Salazar, J., et al., 2023)

Además, el cambio climático plantea un problema adicional al provocar un déficit de agua disponible para los pinos de alta montaña. El agua desempeña un papel esencial en la capacidad de los pinos para defenderse contra los escarabajos, pero el aumento de la temperatura conlleva una mayor evaporación del agua, lo que incrementa la demanda del recurso hídrico por parte de los pinos. Si la cantidad de agua disponible no es suficiente, los pinos no pueden desarrollar sus mecanismos de defensa, lo que los hace vulnerables a los descortezadores, lo que a su vez afecta el equilibrio ecológico en el bosque de alta montaña. (Gallardo-Salazar, J., et al., 2023)

La excesiva extracción del *abies colimensis*, por su parte, también forma parte de las problemáticas significativas que se dan dentro del Nevado de Colima. Su extracción ocasiona una disminución de la cantidad de materia orgánica dentro de la zona, reduciendo así la diversidad de flora dentro del parque, así como los hábitats de las especies animales. Esta problemática se aborda con mayor profundidad a continuación.

Enfoque social

Para resguardar el bienestar de los bosques de altura y de las especies endémicas, es necesario frenar la tala ilegal, así como regular los sembradíos de especies no pertenecientes al Nevado de Colima, como el aguacate y el agave.

Tala ilegal

El *Abies colimensis* (oyamel) se incluyó en la lista de especies en peligro de extinción de la Norma Oficial Mexicana 059 en el año 2019. Esta especie puede alcanzar hasta 60 metros de altura y 2 metros de diámetro. Ha estado involucrada en conflictos territoriales debido al interés comercial que se puede obtener de su madera, que a menudo se extrae de manera insostenible con permisos de aprovechamiento forestal no justificados. Así mismo, esta especie tiene características especiales que otorgan énfasis a su protección, entre estas se encuentran (Del Castillo, A., 2020) (Patronato del Nevado de Colima y Cuencas Adyacentes, 2023):

- Su lenta tasa de crecimiento.
- Su alto grado de erosión genético.

- Su vulnerabilidad al cambio climático.
- La migración de nubes hacia altitudes más elevadas que limita la humedad necesaria para su crecimiento.
- Su complicada reproducción en viveros, lo que dificulta las acciones de reforestación.
- Se encuentra entre los 2,900 y 3,500 metros sobre el nivel del mar.
- Requiere un bosque integral con baja perturbación humana.
- Los incendios (para los monocultivos) impiden la supervivencia de las plántulas de *abies colimensis*.

Dentro del Parque Volcán Nevado de Colima la tala ilegal de *Abies colimensis* y otras especies ha tenido 3 eventos principales durante los últimos 20 años (Del Castillo, A., 2020):

- 1999: se vendió terreno a una industria forestal de Ciudad Guzmán por parte de un grupo de ejidatarios; una organización civil detuvo la tala cinco meses después.
- 2012: se otorgaron autorizaciones para el aprovechamiento forestal por parte de autoridades ambientales para la extracción de oyamel y el Instituto de Derecho Ambiental obligó a la SEMARNAT a retirar el permiso basándose en evidencias científicas.
- 2015: se otorgó una nueva autorización para el aprovechamiento de madera en el bosque de niebla y fue suspendida por un juez federal.

Aunque el objeto de estudio del presente trabajo es el *pinus hartwegii*, es importante reconocer especies vulneradas como el *abies colimensis*. Esta especie forma parte esencial de la dinámica ecológica del parque y su extracción incide indirectamente en la salud y población del *pinus hartwegii*, así como directamente en la salud integral del bosque.

Incendios provocados

El Nevado de Colima ha perdido más de 6,578 hectáreas de bosque desde 2013 debido a incendios provocados para el cultivo de aguacate, así como por la ganadería y la tala ilegal. Originalmente, los bosques del Nevado de Colima cubrían alrededor de 7,000 hectáreas de oyamel (*abies colimensis*), que se han reducido a la mitad. En el 2019, alrededor de 12,000

hectáreas de bosque se incendiaron en el Nevado de Colima presuntamente debido a productores de aguacates. (Escamilla H., 2019)

Monocultivos

La expansión de los monocultivos ha amenazado las prácticas agroforestales, especialmente debido a la escasez de agua, que está siendo monopolizada por empresas agrícolas, en su mayoría transnacionales. Esto ha llevado a las comunidades a optar por prácticas ecotecnológicas. En los últimos años, la frontera agrícola se ha extendido en más de 30 mil hectáreas en los municipios ubicados en las faldas del Nevado de Colima, que incluyen a Tuxpán, Zapotlán el Grande, Zapotitlán de Vadillo y San Gabriel. Tanto el cambio de uso de suelo como la deforestación constituyen una grave amenaza para la biodiversidad del Complejo Volcánico de Colima (CVC).

Cultivo de aguacate

Los cultivos de aguacate se están expandiendo rápidamente, lo que ha llevado a la pérdida de áreas importantes de bosque. Tanto especialistas como comunidades están buscando impulsar proyectos de ecoturismo y conservación dentro del Parque Nevado de Colima para contrarrestar el interés económico que existe detrás del cultivo de aguacate.

Un caso de estudio es la catástrofe en San Gabriel, Jalisco, que se dio por la deforestación descontrolada y los incendios intencionales. El desbordamiento del río Salsipuedes, atribuido a las intensas lluvias o, según algunas afirmaciones, a una presa construida por productores de aguacate, resultó en la liberación de numerosos troncos de pino que habían sido derribados previamente en la región. Estos troncos cayeron en la zona urbana, causando daños significativos a viviendas y pérdida de vidas humanas. Este incidente se ha considerado como el primer desastre de origen humano en el sur de Jalisco, resultado de la obsesión por convertir bosques en plantaciones de aguacate. (Macías, A, Sevilla, Y., 2007)

Cultivo de agave

En el Nevado de Colima se pueden identificar 30 especies diferentes locales de agave. Esto representa una enorme diversificación genética que merece ser conservada, tanto por la biodiversidad de agaves mezcaleros como por su importancia biocultural. El occidente de México ha sido una de las principales regiones de Mesoamérica en la domesticación y diversificación genética del agave mezcalero, mediante largos procesos de continua selección genética. Por lo tanto, es de suma importancia conservar el bosque debido a las especies y variedades locales de agave, además de su larga historia de domesticación y su importancia para la cultura indígena-campesina en la conservación y el mantenimiento de esa diversidad. (Lucio, C., 2015)

Los productores de mezcal actuales utilizan prácticas bio-sociales, bio-productivas y bio-culturales, es decir, "producir conservando y conservar produciendo". Adaptan sus características culturales y sistemas de producción tradicionales a las condiciones ambientales para conservar y mantener la funcionalidad ecológica y la sustentabilidad de sus actividades productivas. Utilizan la reproducción por semilla del agave mezcalero y técnicas de siembra que retienen la humedad y protegen la fertilidad del suelo, además de utilizar hornos cónicos bajo tierra y alambiques de cobre con monteras de madera hechas a partir de troncos ahuecados conocidos como destiladores filipinos o asiáticos. (Lucio, C., 2015)

Es de vital importancia impulsar este tipo de prácticas entre los nuevos productores que se asientan en las faldas del Nevado de Colima que tienen como objetivo deforestar para después plantar, ya que las prácticas de producción mencionadas con anterioridad son benéficas tanto para el ecosistema del Nevado de Colima, como para las comunidades locales. (Lucio, C., 2015)

Cambio climático

El cambio climático es una fuerte amenaza para los bosques de altura, como los del Nevado de Colima, ya que uno de sus principales rasgos es desarrollarse en climas con temperaturas bajas. El cambio climático incide directamente en el aumento de la temperatura media global,

lo que dificulta la supervivencia de las especies que requieren bajas temperaturas para su propagación, tal como el *Abies colimensis* o el *Pinus hartwegii*. Además, se presenta la pérdida de valores sustentables en la sociedad, donde se ve a la naturaleza como un bien comercial y explotable.

En los límites del Nevado de Colima se encuentran los municipios de Zapotitlán de Vadillo, Tuxcacuesco, Tuxpan, Zapotlán el Grande y Gómez Farías, donde se han implementado diferentes programas sociales que contribuyen a la educación y concienciación sobre la problemática del cambio climático. Estos programas también proporcionan capacidades adaptativas al cambio climático que son útiles para reducir la vulnerabilidad de las comunidades a prácticas corruptas y en violación de las leyes federales y las normas de México. Entre las consecuencias que tienen las prácticas corruptas y poco conscientes sobre el ambiente se pueden encontrar la pobreza, la desigualdad, los bajos niveles de educación y la degradación ambiental. De esta manera, se instruye a las comunidades a hacer un uso racional de los bienes y servicios ecosistémicos de la región, donde las comunidades indígenas y los pobladores de los municipios son los principales beneficiados. (Michel, G., et al., 2019)

Iniciativas sociales que buscan preservar la salud del bosque del Nevado de Colima

La comunidad de San José del Carmen, en Zapotitlán de Vadillo, estaba colaborando con los investigadores del parque para establecer alternativas productivas amigables con la naturaleza, pero la expansión de los cultivos de aguacate puso fin a esta colaboración. (Del Castillo, 2020)

La comunidad de Huescalpa, que abarca un área de 1,200 hectáreas, se dedica a la preservación de los bosques umbrosos y húmedos de pino, oyamel y mesófilo de montaña a pesar de la tentación de plantar aguacate. Además, han rechazado ofertas de la industria forestal para la compra de sus territorios. (Del Castillo, 2020)

Se están promoviendo acciones de ecoturismo para que comunidades como Huescalpa obtengan opciones económicas que no impliquen la explotación de la madera. Se busca preservar el parque como un recurso para la contemplación, el disfrute, la preservación de

servicios ambientales y la investigación. Sin embargo, existe un reto mayor que implica la división de intereses en las comunidades de la zona, donde algunos tienen interés en la explotación de la madera y otros en la conservación. (Del Castillo, 2020)

Algunos de los programas bioculturales que apoya la administración del Parque Volcán Nevado de Colima son (Del Castillo, 2020):

- Centro ecoturístico Puerta de la Hacienda: producción de agave.
- Comunidad de Tetapán: producción de agave.
- Comunidad El Tecuán: producción orgánica de huevos de mesa.

Impactos sociales a tres niveles (micro, meso y macro)

De esta forma, se pueden clasificar los impactos sociales dentro del Parque Nacional Nevado de Colima como sigue:

1. Nivel micro:

Personas asentadas en la periferia del Parque Nacional Nevado de Colima que aprovechan los servicios ambientales que éste les provee, como la producción de alimento, la purificación del agua, la regulación del clima, la purificación del aire, y las áreas de recreación. Se busca resguardar la integridad y salud del bosque dado que los principales afectados ante un desequilibrio ecológico son dichas personas, quienes no podrían seguir abasteciéndose de los servicios ambientales.

2. Nivel meso:

Comunidades que residen en las faldas del parque que se aprovechan de los recursos naturales que el sistema ambiental les provee. Se destacan los municipios de Tuxpán, Zapotlán el Grande, Zapotitlán de Vadillo, San Gabriel, Zapotiltic y Ciudad Guzmán, dentro de los cuales se encuentran comunidades que aprovechan la tierra fértil para plantar agave y/o aguacate en extensas áreas de terreno. Asimismo, como se expuso anteriormente, suelen vender sus terrenos a la industria forestal para que se explote el recurso maderero. Se han duplicado los esfuerzos por parte del gobierno y sociedades

civiles para implementar actividades de producción sustentables en el área de estudio que permitan que las personas obtengan ingresos económicos ambientalmente responsables. Asimismo, se busca abonar a la información científica basada en estudios de campo y en bases de datos para respaldar la importancia sobre la regulación de las actividades de producción insostenibles, tal como la que se elabora en el presente trabajo.

3. Nivel macro:

Formar parte de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, en los que se busca “erradicar la pobreza, proteger al planeta y asegurar la prosperidad para todos” los cuales son (ONU, 2015):

- I. Fin de la pobreza
- II. Hambre cero
- III. Salud y bienestar
- IV. Educación de calidad
- V. Igualdad de género
- VI. Agua limpia y saneamiento
- VII. Energía asequible y no contaminante
- VIII. Trabajo decente y crecimiento económico
- IX. Industria, innovación e infraestructura
- X. Reducción de las desigualdades
- XI. Ciudades y comunidades sostenibles
- XII. Reducción y consumo responsables
- XIII. Acción por el clima
- XIV. Vida submarina
- XV. Vida de ecosistemas terrestres
- XVI. Paz, justicia e instituciones sólidas
- XVII. Alianzas para lograr los objetivos

Estos objetivos se cumplirán siempre y cuando se gestione de manera adecuada el bosque. Los beneficiados, en este caso, son tanto las personas de los municipios

cercanos, así como los habitantes más alejados y la flora y fauna que forma parte del bosque en cuestión. Como se mencionó, el Nevado de Colima es un gran productor de agua, purificador del aire y regulador del clima, por lo que estos servicios trascienden a una macro-escala donde se busca que las medidas de conservación y preservación dentro del área se traduzcan a factores que logren contribuir a la disminución del cambio climático y eviten el aumento de la temperatura media anual.

1.4. Planeación de alternativa(s)

A partir de las problemáticas identificadas y el enfoque del proyecto de aplicación profesional, se determinó que los productos a presentar son dos reportes con análisis e interpretación de resultados. Estos documentos servirán de apoyo informativo para el manejo, cuidado y preservación del Parque Nacional del Nevado de Colima ante las afectaciones antropogénicas que se han presentado en la zona.

El primer reporte es de laboratorio referente a las muestras de suelo tomadas dentro del Parque Nacional Nevado de Colima. Las pruebas que se realizaron en el laboratorio e interpretaron en el reporte son las siguientes:

- Contenido de materia orgánica.
- Nitrógeno total.
- pH del suelo y conductividad eléctrica.
- Fósforo total.
- Capacidad de intercambio catiónico del suelo.
- Humedad.

El segundo reporte es del análisis e interpretación de mapas representativos de los siguientes índices de vegetación donde se utilizaron imágenes satelitales multiespectrales del área de estudio.

- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)
- Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)
- Índice de Clorofila Verde (GCI)
- Índice de Infrarrojo Cercano (CIC)

El plan de trabajo para realizar ambos reportes comenzó a partir del 31 de agosto al 30 de diciembre. Se identificaron tareas y actividades a realizar programadas cada semana como se muestra a continuación.

- Del 31 al 6 de septiembre:
Descarga de imágenes satelitales del año 1984 a 2023.
Descarga del modelo digital de elevación (DEM por sus siglas en inglés).
Generación y delimitación de área de estudio a partir de los 3,000 msnm.

- Del 7 a 13 de septiembre:
Generación de cartografía con respecto al índice de vegetación seleccionado para el área de estudio.
Colección de muestras en salida de campo.

- Del 14 al 20 de septiembre:
Secado de muestras y cuantificar contenido de humedad.
Continuación de trabajo en índices de vegetación.

- Del 21 al 27 de septiembre:
Cuantificación de pH y conductividad eléctrica.
Continuación con trabajo de mapeo con índices de vegetación.

- Del 28 al 4 de octubre:
Cuantificación de materia orgánica.
Finalizar índices de vegetación.

- Del 5 al 11 de octubre:
Cuantificación de nitrógeno por método de Kjeldahl.
Comenzar con procesamiento estadístico de datos.

- Del 12 al 18 de octubre:
Cuantificación de fósforo.

Continuación de procesamientos estadístico de datos.

- Del 19 al 25 de octubre:

Continuación de procesamiento estadístico de datos.

- Del 26 al 1 de noviembre:

Semana de reevaluación de prácticas de laboratorios y resultados.

- Del 9 al 15 de diciembre:

Procesamiento de datos estadísticos.

- Del 16 al 22 de noviembre:

Elaboración de reporte de laboratorio.

Elaboración de reporte de interpretación y análisis de índices de vegetación.

- Del 23 al 29 de noviembre:

Continuación con reportes.

Elaboración de presentación final.

- Del 30 al 6 diciembre:

Presentación final PAP.

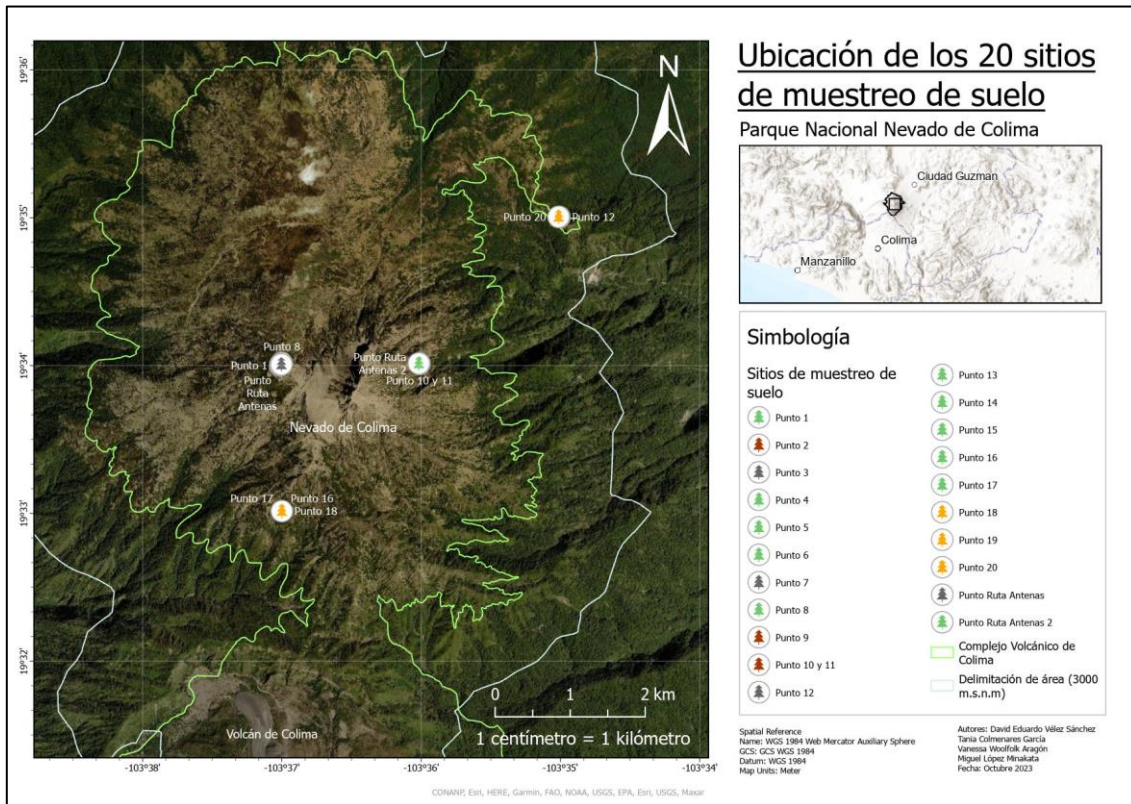
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

Recolección de muestras

Se tomaron 20 muestras compuestas dentro del Área Natural Protegida (ANP) Nevado de Colima. Los sitios de muestreo se exponen en el Mapa 1. Dado que los puntos fueron tomados de forma alejada entre ellos, se elaboraron los mapas A, B, C.1, C.2 y D para mostrar el acercamiento a los sitios de recolección. Estos puntos darán una perspectiva de comparación al analizar las muestras en laboratorio, siendo una representación visual de la precisión de donde fueron extraídas las muestras.

-  Arbolado verde
-  Arbolado muerto en pie
-  Arbolado con impacto humano
-  Arbolado en transición

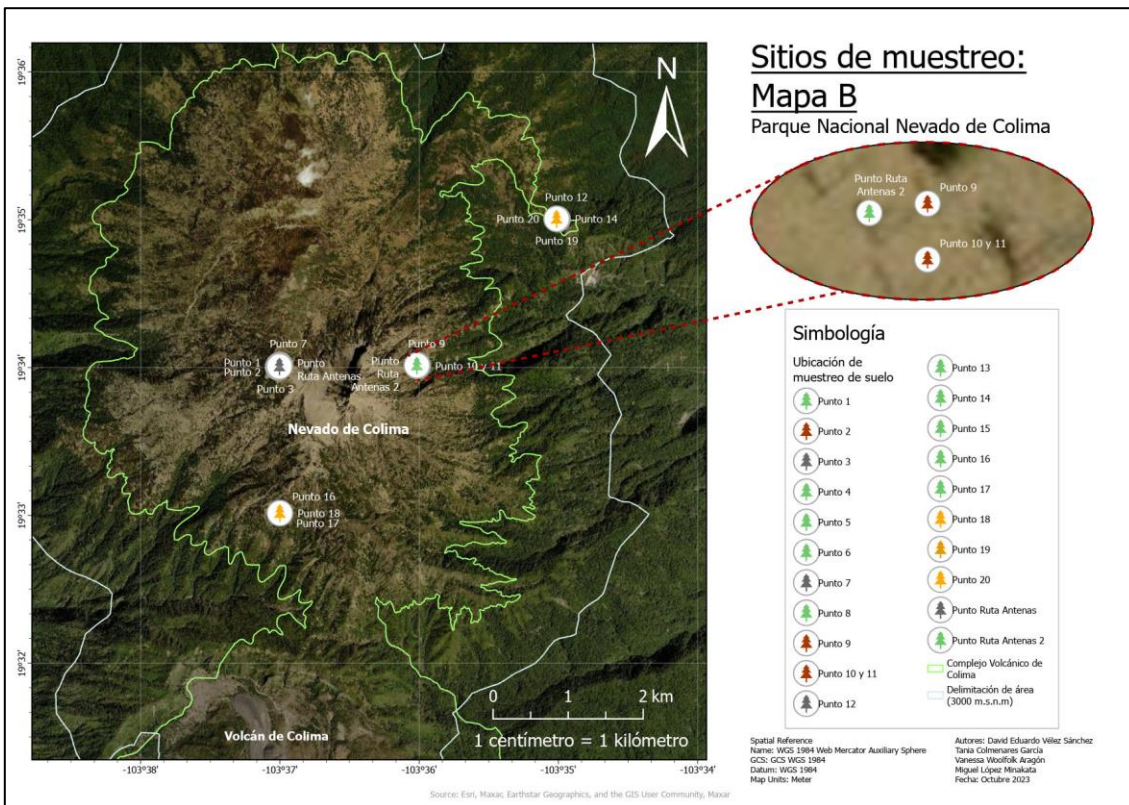
Figura 1. Simbología de los mapas



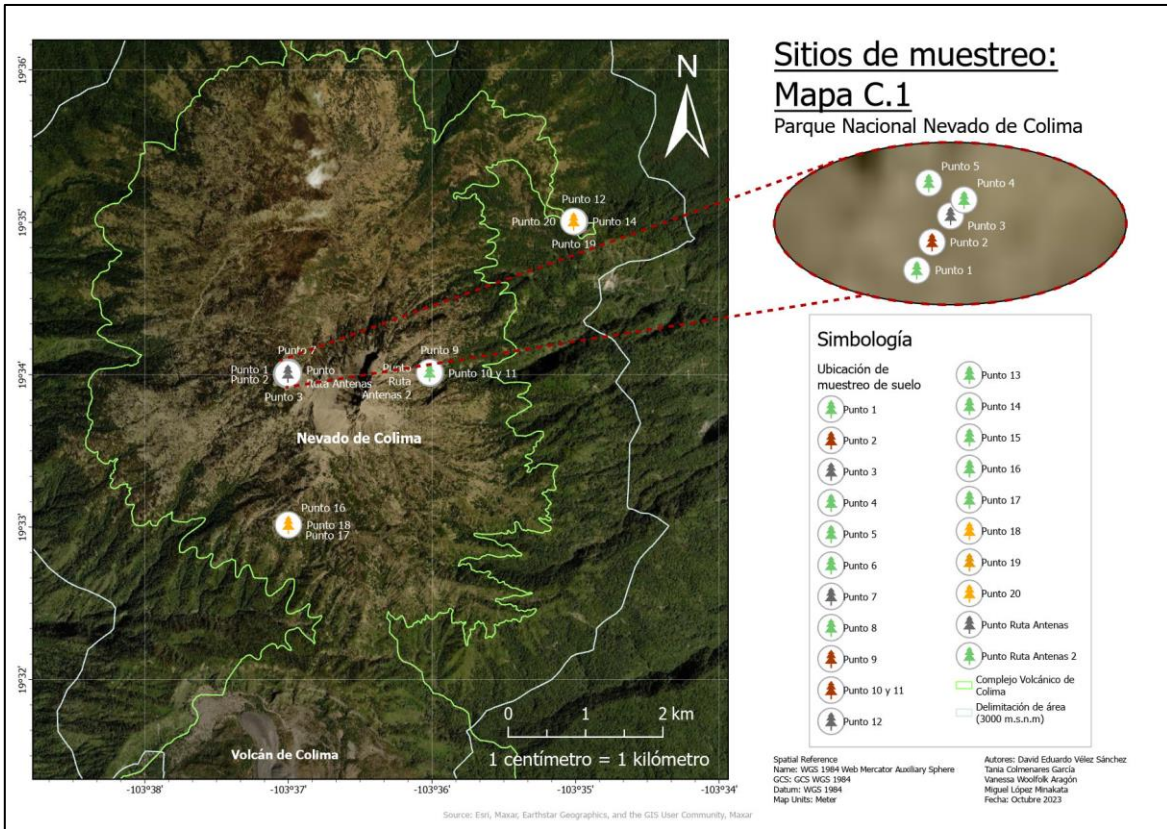
Mapa 1. Recolección de muestras en área de estudio



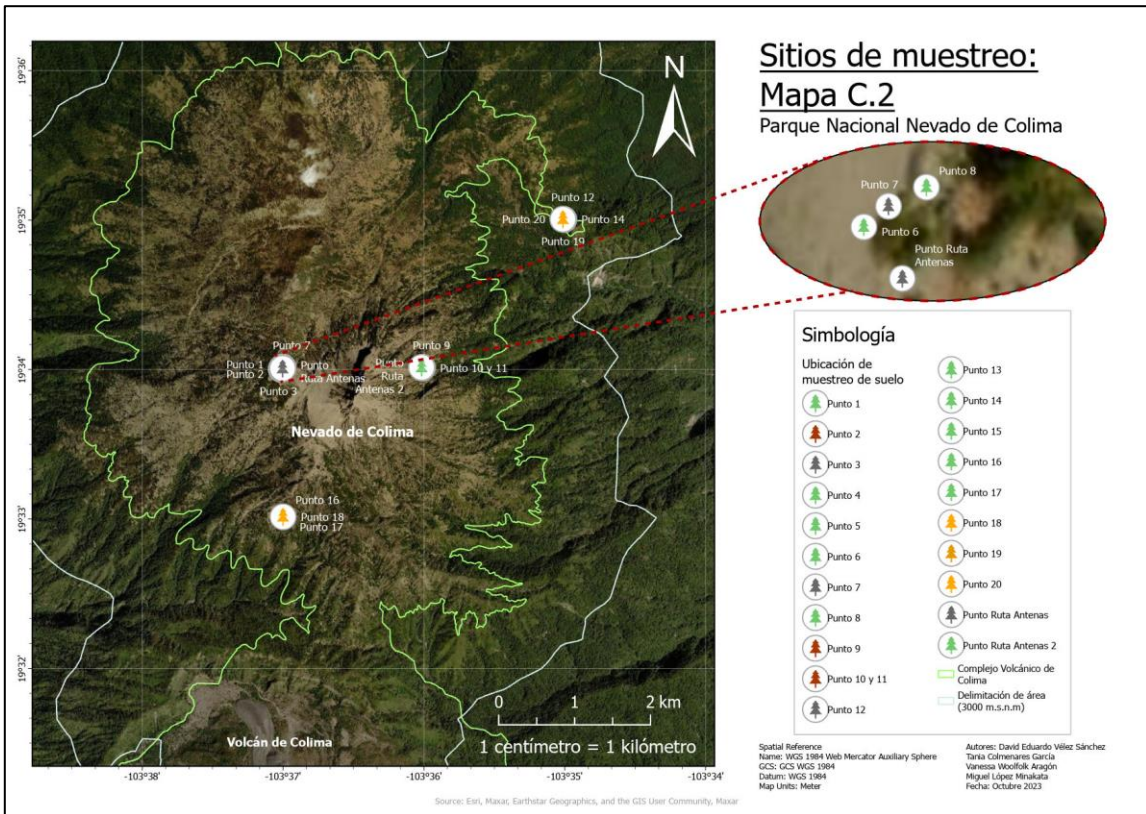
Mapa 2. Sitios de muestro A



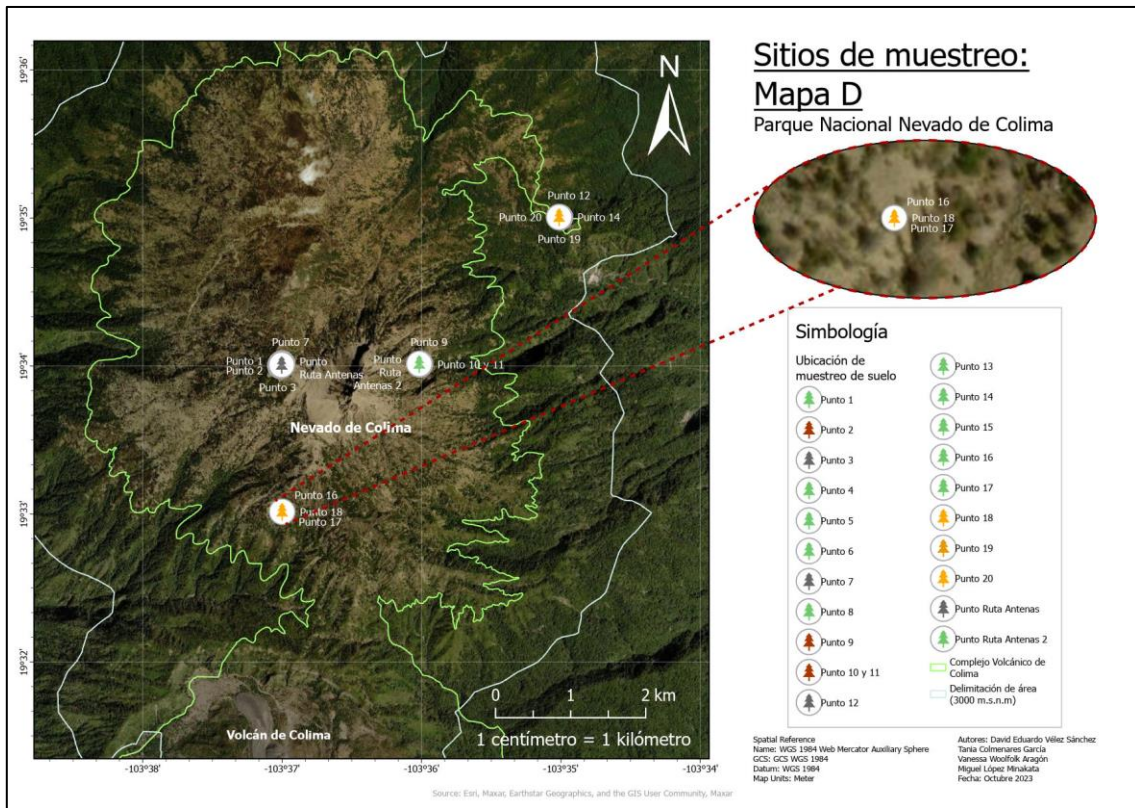
Mapa 3. Sitios de muestreo B



Mapa 4. Sitio de muestreo C.1



Mapa 5. Sitio de muestreo C.2



Mapa 6. Sitio de muestreo D

Cartografía

La metodología que se utilizó para la cartografía del complejo volcánico de Colima fue generar varios mapas con diferentes índices y un compuesto de bandas para poder determinar el patrón ecológico del bosque. Esto se desarrolló con imágenes que se obtuvieron de las misiones espaciales Landsat que son satélites lanzados por la NASA en donde se van capturando imágenes satelitales alrededor del planeta que se pueden obtener gratuitamente en su sitio web oficial. En la figura 2 se presentan las misiones Landsat a través del tiempo.

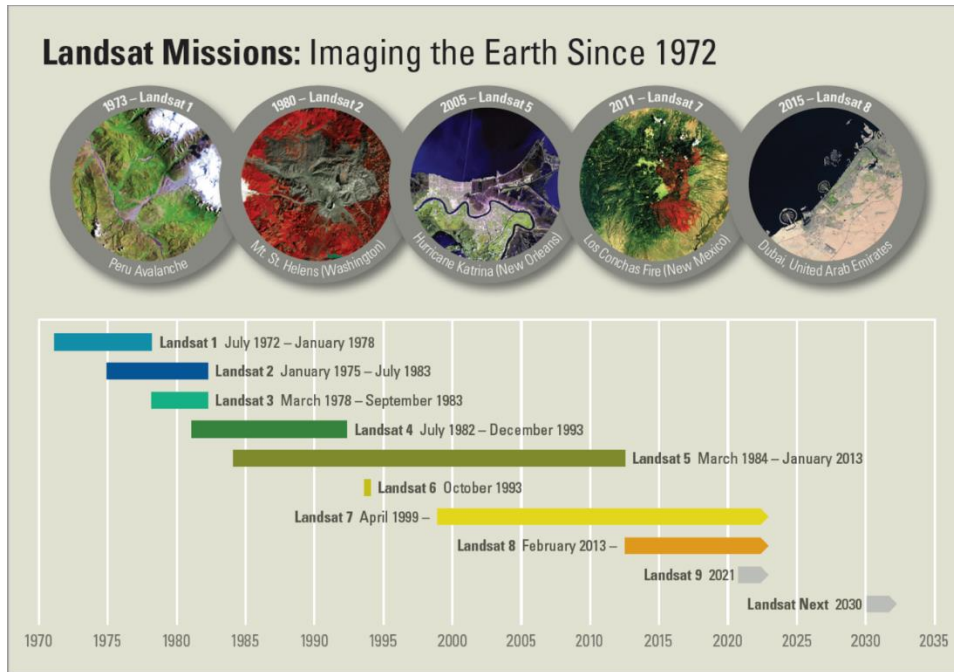


Figura 2. Misiones Landsat. Fuente: USGS

Las imágenes satelitales fueron descargadas de la base de datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) del complejo volcánico de Colima. La descarga de imágenes comenzó en el año 1989 hasta 2022, con un espacio temporal de 3 años. En la siguiente tabla se comparte el año y el satélite Landsat que se utilizó para obtener la descarga de las imágenes. Sin embargo, primero se desarrolló un modelo digital de elevación (MDE) en donde se desarrollaron curvas de nivel para poder conseguir la curva de nivel de 3000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), el complejo volcánico nevado de Colima (CVC) y la curva de nivel de los 2400 m.s.n.m. Se obtuvo una curva de nivel de 2400 m.s.n.m. porque a esa altura empieza el bosque de altura y se puede hacer una mejor comparación en la visualización de los 2400 a los 3000 m.s.n.m. (Rawal, 1994). A continuación, se presenta una tabla de las imágenes descargadas junto con su respectivo satélite (tabla 1).

Tabla 1. Recopilado de información de descarga de imágenes satelitales.

Año	Satélite
1989	Landsat 4-5 TM C2 L2 23/05/1989
1993	Landsat 4-5 TM C2 L2 10/01/1993
1995	Landsat 4-5 TM C2 L2 08/05/1995
1998	Landsat 4-5 TM C2 L2 09/02/1998
2001	Landsat 7 TM C2 L2 29/03/2001
2004	Landsat 7 ETM+ C2 L2 18/02/2004
2007	Landsat 7 ETM+ C2 L2 10/02/2007
2010	Landsat 4-5 TM C2 L2 25/01/2010
2013	Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 03/12/2013
2016	Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 14/03/2016
2019	Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 08/04/2019
2022	Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 31/03/2022

Es importante mencionar que las imágenes que se descargan de las misiones Landsat son separadas en “bandas” y, dependiendo de la misión del satélite, es el orden de bandas que se descargan (véase las tablas 2 y 3). Cada banda está en un rango específico de longitud de onda del espectro electromagnético que son capturados por diferentes sensores. En otras palabras, cada banda corresponde un rango del espectro electromagnético que tienen características y aplicaciones particulares. Esas bandas individuales o sencillas, se pueden denominar también banda ráster. Dependiendo del tipo de satélite, es la banda que se utiliza para los términos de luz roja y luz infrarroja. Para el satélite de Landsat 4 a 7, la Banda 4 se clasifica como NIR y la Banda 3 como R (Figura 3). En Landsat 8 a 9 la Banda 5 se clasifica como NIR y la Banda 4 como R (USGS, 2022).

Tabla 2. Bandas de landsat 4 a 5. Fuente: Google Earth Engine.

Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Blue	0.45-0.52	30
Band 2 - Green	0.52-0.60	30
Band 3 - Red	0.63-0.69	30
Band 4 - Near Infrared (NIR)	0.76-0.90	30
Band 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55-1.75	30
Band 6 - Thermal	10.40-12.50	120 (30)
Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.08-2.35	30

Tabla 3. Bandas del landsat 8 a 9. Fuente: Google Earth Engine.

Landsat 8-9 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Coastal aerosol	0.43-0.45	30
Band 2 - Blue	0.45-0.51	30
Band 3 - Green	0.53-0.59	30
Band 4 - Red	0.64-0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	30
Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.57-1.65	30
Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.11-2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50-0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36-1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.6-11.19	100
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50-12.51	100

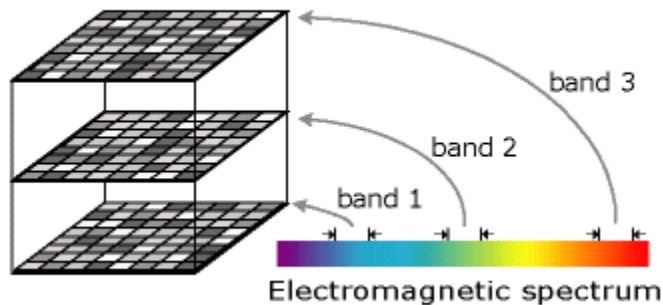


Figura 3. Bandas 1,2 y 3 junto con su respectivo rango del espectro electromagnético. Fuente: ESRI ArcGIS Pro.

Se descargaron siete bandas ráster sencillas/simples (siete rangos diferentes de longitudes de onda diferentes del espectro electromagnético) para cada año (1989-2022) que fueron: azul,

verde, rojo, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta, infrarrojo de onda corta 2 y térmico, éste último son datos recolectados de la parte térmica del infrarrojo (ESRI, s.f.).

La primera cartografía que se realizó, y que también fungirá de introducción para los índices explicados más adelante, fue la cartografía infrarroja, que es un compuesto de bandas ráster sencillas (figura 4). Esto se realizó en el software ArcGIS Pro-3.1.3,

Una vez creada el compuesto ráster, se combinaron las bandas para que se lograra ver el infrarrojo cercano donde hay tres espacios disponibles para la visualización que son rojo, verde y azul.

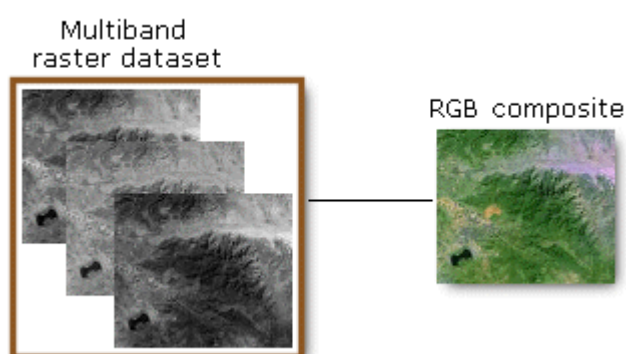


Figura 4. Generación de un compuesto RGB. Fuente: ESRI ArcGIS Pro.

En este estudio, la banda ráster de infrarrojo cercano se puso en el espacio rojo, rojo en el espacio del verde y verde en el espacio del azul. Para visualizar la cartografía del infrarrojo cercano, diríjase a la *sección 1.6*. La importancia del compuesto infrarrojo es para saber qué tanta luz infrarroja cercana se refleja en una planta, entre más refleja, más saludable es la planta. Esto no se puede visualizar a simple vista, es por esta razón por la combinación de bandas que se realizó previamente, en la siguiente figura se presenta un ejemplo (figura 5).

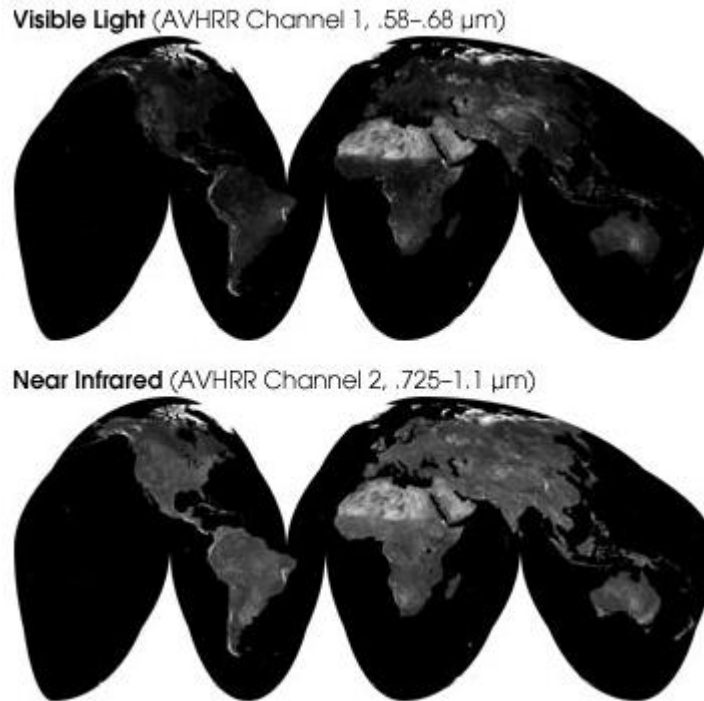


Figura 5. Comparación de luz visible y luz infrarrojo cercano. Fuente: NASA Earth Explorer.

En la figura 5, la imagen en la parte superior muestra el mundo con luz visible y de una forma más tenue, en comparación con la imagen inferior. Sin embargo, en la imagen inferior se puede visualizar eficientemente la luz infrarroja cercana reflejada en todo el planeta, que el ojo humano no podría ver sin ayuda de esta tecnología. Entonces, una vez teniendo la cartografía del infrarrojo cercano en diferentes años, se obtuvieron índices para poder correlacionar todas las cartografías con el estudio.

Los índices que se utilizaron en este estudio fueron: índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI, por sus siglas en inglés), y índice de clorofila verde (GCI, por sus siglas en inglés).

Estos índices son útiles para poder evaluar la salud y densidad de la vegetación. Esto se obtiene bajo un algoritmo de bandas y cada índice tiene un algoritmo diferente para su teledetección (NASA, 2000).

Empezando con el NDVI su fórmula es como se presenta a continuación:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde:

- NIR = banda de Infrarrojo cercano por sus siglas en inglés

- R = banda roja

El rango de valores para el NDVI va de -1 a 1 . Entre más cercano el valor está de 1 , significa que hay vegetación saludable y densa en la zona. Si los valores se encuentran cercanos a -1 quiere decir que hay muy poca vegetación y/o la vegetación no se encuentra saludable. Esto se puede visualizar en anexo 3 en la parte de NDVI.

El segundo índice es el SAVI y su ecuación se muestra a continuación:

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} \times (1 + L)$$

Donde:

- NIR = banda infrarrojo cercano
- R = banda roja

El factor L ayuda a amortiguar y diferenciar la vegetación en desarrollo, es decir, los resultados del índice diferencian a valores altos (cercaos a 1) donde existe vegetación en desarrollo y los valores bajos (cercaos a -1) indicarán ausencia de vegetación y/o únicamente el reflejo del suelo (GEOU,2019). Sus rangos, al igual que el NDVI, tienen el mismo valor de -1 a 1 con las mismas indicaciones.

Por último, la ecuación del GCI se muestra a continuación:

$$GCI = \frac{G-R}{G+R}$$

Donde:

- G = banda verde
- R = banda roja

Este índice es específicamente sensible a la cantidad de clorofila presente en las hojas de las plantas. Esto ayuda a detectar la salud de la planta y si hay cambios de niveles de clorofila, permite también entender el estrés de las plantas (EOS Data Analytics, 2023). Estos índices se ven reflejados en la sección de productos (2. *Productos*), y están ordenados por compuesto de infrarrojo cercano, NDVI, SAVI, GCI, respectivamente.

Prácticas Analíticas

La metodología utilizada se enfocó en un análisis de la relación entre la sucesión ecológica del bosque y los parámetros fisicoquímicos que se involucran en este fenómeno. Principalmente se tomaron 20 muestras de suelo en distintos tipos de arbolado dentro del bosque de altura en el Patronato del Nevado de Colima, estas representativas de los distintos niveles de sucesión ecológica estudiados dentro de la zona altitudinal (3000 msnm). Cada muestra se compuso de 5 núcleos de extracción de diferentes lugares del sitio y se almacenaron en 20 bolsas de plástico, cada una rotulada con su respectiva muestra.

Además, se realizaron distintas pruebas de laboratorio para la obtención de los valores de parámetros fisicoquímicos como: % de humedad, pH, conductividad eléctrica, fósforo total, contenido de materia orgánica y nitrógeno.

% de Humedad:

10 gramos de suelo tamizado de 2 mm se secaron en cribeles en un horno Felisa a 100 grados centígrados por 24 horas y se pesaron con una balanza Sartorius.

$$\text{Contenido de humedad}(\%) = (\text{Peso húmedo} - \text{Peso en seco}) * \frac{100}{\text{Peso húmedo}}$$

Ecuación 1. Contenido de humedad.



Imagen 1. Secado de muestras para evaluar el contenido de humedad en cada una.

Materia Orgánica:

Como primera parte de la práctica se pesaron los crisoles en la balanza analítica para conocer el peso de estos. Posteriormente, se introdujeron los crisoles con muestras a un horno

precalentado a 100°C, en donde permanecieron a temperatura constante por 24 horas. Como segunda parte, se llevaron los crisoles con el contenido de muestra a una mufla a 300°C por una hora, al transcurrir el periodo de tiempo fueron pesados nuevamente para evaluar la pérdida de masa y conocer así la materia orgánica presente en cada una de las 20 muestras.



Imagen 2. Incinerado de materia orgánica en 20 crisoles con muestras

pH y Conductimetría:

Para preparar las soluciones se pesaron 20 gramos de cada muestra, colocando posteriormente cada alícuota en su respectivo matraz rotulado. Al tener todos los matraces con el contenido de muestra, se les añadió 40 mL de agua destilada a cada uno y se colocaron en el agitador orbital por 30 minutos. Pasado este tiempo, se retiraron para tomar mediciones de pH con un potenciómetro y conductividad eléctrica con el CONDUCTRONIC-PC18 en cada una de las muestras. Se registraron los valores en una base de datos para realizar un análisis.



Imagen 3. 20 muestras de suelo en agitador orbital.



Imagen 4. Mediciones de conductividad y pH.

Cuantificación de fósforo:

Se prepararon cuatro soluciones como sigue:

1. Solución de extracción: se añadió 30 mL de NH_4F 1 N y 50 mL de HCl 0.5 N en un matraz aforado de 1 L con agua destilada.
2. Solución de molibdato de azufre: se añadió 40 g de molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 500 mL de agua destilada. Se disolvió 0.972 g de tartrato de antimonio y potasio y se agregó 492 mL de H_2SO_4 concentrado en un matraz de 2 L con agua destilada.
3. Solución de trabajo: 60 mL de molibdato de azufre se añaden en 800 mL de agua destilada. Se disolvió 1.056 g de ácido ascórbico y diluyó en matraz volumétrico a un litro. La solución debe prepararse cada día que se cuantifican las muestras.
4. Solución estándar de fósforo (100ppm): Se añadió 0.4394 g de fosfato de potasio (KH_2PO_4) a 20 mL de la solución extractora con dos gramos de suelo previamente secado y tamizado (2mm). Se agitó a 180 rpm por 10 minutos y se filtró con un filtro Whatman #2. Posteriormente, se transfirieron 2 mL de este extracto a un tubo colorimétrico, agregando 8 mL de la solución de trabajo y esperando por lo menos 10 minutos para la formación de color.



Imagen 5. Reactivos para cada solución.

La absorbancia de intensidad se midió en un espectrofotómetro a 882 nm para ser utilizada posteriormente en la ecuación de transmitancia.

$$T = \frac{I}{I_0} * 100$$

Ecuación 2. Transmitancia.

Posteriormente se tomaron las mediciones de transmitancia para cada muestra y así obtener la absorbancia mediante la ecuación de absorbancia.

$$A = -\text{Log}(T)$$

Ecuación 3. Absorbancia.

Cuantificación de nitrógeno:

a) Curva de calibración

1. Preparar una solución madre de 100 ppm: pesar 0.7216 g de KNO_3 y añadirlos a 1 L de agua destilada.
2. Preparar 8 soluciones a partir de la solución madre de 100 ppm con la fórmula:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Ecuación 4. Fórmula para la dilución de soluciones.

a. Solución de 1 ppm en 50 mL de agua destilada

Tomar 0.5 mL de la solución madre de 100 ppm y verterlos en 49.5 mL de agua destilada.

$$\begin{aligned} C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * V_1 &= 1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.050 \text{ L} \rightarrow V_1 = \frac{1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.050 \text{ L}}{100 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \\ &= 5 \times 10^{-4} \text{ L} = 0.5 \text{ mL} \end{aligned}$$

b. Solución de 2 ppm en 50 mL de agua destilada

Tomar 1 mL de la solución madre de 100 ppm y verterlos en 49 mL de agua destilada.

$$\begin{aligned} C_1 V_1 = C_2 V_2 \rightarrow 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * V_1 &= 2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.050 \text{ L} \rightarrow V_1 = \frac{2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.050 \text{ L}}{100 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \\ &= 1 \times 10^{-3} \text{ L} = 1 \text{ mL} \end{aligned}$$

c. Solución de 3 ppm en 50 mL de agua destilada

Tomar 1.5 mL de la solución madre de 100 ppm y verterlos en 48.5 mL de agua destilada.

$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow 100 \frac{mg}{L} * V_1 = 3 \frac{mg}{L} * 0.050 L \rightarrow V_1 = \frac{3 \frac{mg}{L} * 0.050 L}{100 \frac{mg}{L}}$$

$$= 1.5 \times 10^{-3} L = 1.5 mL$$

d. Solución de 5 ppm en 50 mL de agua destilada

Tomar 2.5 mL de la solución madre de 100 ppm y verterlos en 47.5 mL de agua destilada.

$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow 100 \frac{mg}{L} * V_1 = 5 \frac{mg}{L} * 0.050 L \rightarrow V_1 = \frac{5 \frac{mg}{L} * 0.050 L}{100 \frac{mg}{L}}$$

$$= 2.5 \times 10^{-3} L = 2.5 mL$$

e. Solución de 7 ppm en 50 mL de agua destilada

Tomar 3.5 mL de la solución madre de 100 ppm y verterlos en 46.5 mL de agua destilada.

$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow 100 \frac{mg}{L} * V_1 = 7 \frac{mg}{L} * 0.050 L \rightarrow V_1 = \frac{7 \frac{mg}{L} * 0.050 L}{100 \frac{mg}{L}}$$

$$= 3.5 \times 10^{-3} L = 3.5 mL$$

f. Solución de 10 ppm en 50 mL de agua destilada

Tomar 5 mL de la solución madre de 100 ppm y verterlos en 45 mL de agua destilada.

$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow 100 \frac{mg}{L} * V_1 = 10 \frac{mg}{L} * 0.050 L \rightarrow V_1 = \frac{10 \frac{mg}{L} * 0.050 L}{100 \frac{mg}{L}}$$

$$= 5 \times 10^{-3} L = 5 mL$$

g. Solución de 15 ppm en 50 mL de agua destilada

Tomar 7.5 mL de la solución madre de 100 ppm y verterlos en 42.5 mL de agua destilada.

$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow 100 \frac{mg}{L} * V_1 = 15 \frac{mg}{L} * 0.050 L \rightarrow V_1 = \frac{15 \frac{mg}{L} * 0.050 L}{100 \frac{mg}{L}}$$

$$= 7.5 \times 10^{-3} L = 7.5 mL$$

h. Solución de 20 ppm en 50 mL de agua destilada

Tomar 10 mL de la solución madre de 100 ppm y verterlos en 40 mL de agua destilada.

$$C_1V_1 = C_2V_2 \rightarrow 100 \frac{mg}{L} * V_1 = 20 \frac{mg}{L} * 0.050 L \rightarrow V_1 = \frac{20 \frac{mg}{L} * 0.050 L}{100 \frac{mg}{L}} = 0.01L$$
$$= 10 mL$$

3. Mezclar 1 mL de cada una de las 8 soluciones con 1 mL de difenilamina y vaciar los 2 mL resultantes en celdas de espectrofotómetro. El blanco serán 2 mL de difenilamina:

Soluciones preparadas (ppm NO ₃)	Volumen a tomar de NO ₃ (mL)	Volumen a tomar de difenilamina (mL)
1	1	1
2	1	1
3	1	1
5	1	1
7	1	1
10	1	1
15	1	1
20	1	1

4. Verificar que sí se hayan coloreado de azul. Dejar en pausa esto y pasar al inciso b).

b) Barrido espectral

1. Se realizó un espectro de emisión utilizando la solución de 7 ppm. Para esto, se necesitará hacer uso del espectrofotómetro GENESYS. Lo que se quiere conocer con esto es el pico de absorción de la solución de 7 ppm. El nivel más alto de absorbancia que arroje (en nm) será la longitud de onda a la cual se leerán en el espectrofotómetro tanto las 8 soluciones para la curva de calibración, como las 20 muestras de suelo.
2. Teniendo la longitud de onda máxima, proceder a leer las soluciones preparadas para la curva de calibración a la longitud de onda determinada anteriormente. Graficar entonces concentración (eje x) vs. absorbancia (eje y). Obtener la ecuación de la gráfica.

c) Extracción de nitratos de las 20 muestras de suelo

1. En un vaso de precipitados de 150 mL, poner 100 mL de agua destilada y 5 g de muestra de suelo seco, adicionar 0.2 g de KCl. Poner el vaso de precipitados con la solución a agitar con pastilla magnética durante 30 minutos. Hacer simultáneamente este procedimiento para 3 muestras de suelo.
2. Transcurridos los 30 minutos, filtrar la solución agitada usando un embudo Buchner con filtros Whatman #2. En caso de ser posible, hacer simultáneamente este procedimiento para las 3 muestras de suelo que fueron agitadas previamente.
3. Transferir el líquido filtrado (nitratos) al vaso de precipitados previamente utilizado de 150 mL. Asegurarse de que esté bien lavado.
4. Repetir este procedimiento hasta acabar con las 20 muestras.

d) Leer muestras de suelo en el espectrofotómetro

1. A partir del líquido ya filtrado de las muestras de suelo, tomar 1 mL de cada una de las 20 muestras y mezclarlo con 1 mL de difenilamina. Vaciar los 2 mL resultantes en celdas para el espectrofotómetro. El blanco serán 2 mL de difenilamina.

Número de muestra de suelo	Volumen a tomar de la muestra (mL)	Volumen a tomar de difenilamina (mL)
1	1	1
2	1	1
3	1	1
...	1	1
17	1	1
18	1	1
19	1	1
20	1	1

2. Leer la absorbancia de las muestras a la longitud de onda que se determinó en el barrido espectral. Haciendo uso de la ecuación obtenida a partir de la curva de calibración, determinar la concentración de nitratos en cada una de las muestras de suelo.

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Se llevó a cabo una caracterización de los componentes fisicoquímicos encontrados en el suelo del Complejo Volcánico de Colima, México. El estudio se realizó en diferentes

estructuras forestales representativas de la sucesión ecológica que se deriva de la dinámica natural pino-escarabajo (*Dendroctonus Adjunctus-Pinus Hartwegii*). Se definieron los tipos de estructuras forestales respecto a las áreas con alta densidad de pino vivo como bosque verde, áreas que se encuentran afectadas por la presencia del escarabajo denominadas como bosque en transición y finalmente áreas que pasaron por el estado transitorio hace tiempo y se pueden encontrar como el arbolado muerto en pie. La composición geoquímica del suelo en cuanto a cada estructura y se reflejó en los resultados al establecer que la materia orgánica, la conductividad eléctrica y la humedad tuvieron valores más altos en el arbolado muerto en pie, mientras el pH y el fósforo tuvieron su valor máximo en arbolado en transición. Se concluye que se comprobaron las interconexiones de las estructuras forestales por medio de prácticas analíticas y a su vez se comprobó la interrupción del dinamismo del bosque debido al escarabajo *Dendroctonus Adjunctus*.

Sección de índices espectrales

Los análisis espectrales permiten conocer la evolución de masas de vegetación a través de los años; estos se obtienen a partir de la combinación de las bandas satelitales que provienen de los satélites de teledetección. A partir de los índices enfocados a la vegetación, se puede realizar la cobertura vegetal dependiendo de su emisión de ondas espectrales para detectar momentos de perturbación en las plantas. (Diego Alonso, 2023)

El fundamento teórico de los índices de vegetación radica en el álgebra de mapas, es decir, a partir de una serie de cálculos donde se involucran las bandas espectrales, se pueden obtener resultados que otorguen información valiosa para el análisis de la vegetación, como lo puede ser la densidad de cobertura vegetal o la salud de las plantas. (Diego Alonso, 2023)

Dado que la calidad de los resultados depende enteramente de la calidad de las imágenes satelitales las cuales están expuestas a aspectos como el porcentaje de cobertura de las nubes, el brillo de la atmósfera o la resolución de los píxeles que las componen, todo índice de vegetación va a tener algún tipo de limitación en su uso. Por lo tanto, se han desarrollado índices generales y específicos dependiendo del objetivo que se desee lograr. (Diego Alonso, 2023)

Para el presente análisis, se emplearon las combinaciones de bandas necesarias para lograr un compuesto infrarrojo cercano (CIC), un índice de vegetación de diferencia normalizada

(NDVI), un índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) y un índice de clorofila verde (GCI). Estos se especifican a continuación:

- **Compuesto Infrarrojo Cercano (CIC):** la combinación de las bandas satelitales del espectro infrarrojo cercano, el rojo y el verde visible, da lugar a lo que se conoce como "compuesto de infrarrojo cercano". Esta configuración permite una representación visual nítida de la cobertura vegetal, cuerpos de agua y zonas urbanas, en función de los criterios evaluativos aplicados. En lo relativo a la vegetación, se subraya que el estado de salud de una planta se manifiesta de manera significativa en su capacidad para reflejar la luz infrarroja cercana. De acuerdo con investigaciones anteriores (NASA, 2000), se establece que una planta saludable exhibe una reflectancia sólida de la luz infrarroja cercana, y la cantidad de hojas en una planta guarda una relación directa con la magnitud de esta reflectancia, tal como se ilustra en la figura 6. Asimismo, se hace hincapié en que, a medida que la salud de la planta se incrementa, la reflexión de la luz infrarroja cercana se intensifica proporcionalmente.

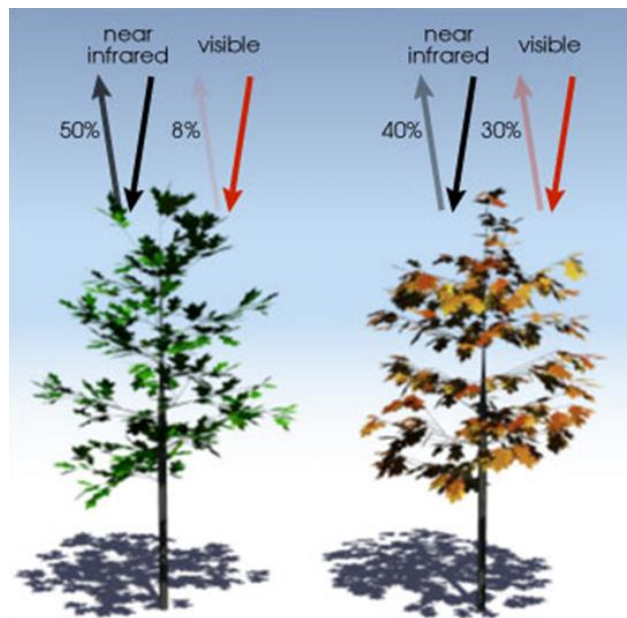


Figura 6. Luz visible absorbida y luz infrarroja cercana reflejada en una planta saludable a una débil. Fuente: NASA Earth Explorer

- **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI):** cuantifica e indica la vegetación existente dentro de un área determinada, esto se fundamenta a partir de la luz infrarroja de la superficie (la reflectancia que emite la vegetación intensamente) y la luz roja (la absorbancia que tiene la vegetación) a partir de un espectro electromagnético (USGS, 2022). Estos valores de luz roja e infrarroja se identifican como "R" y "NIR" respectivamente, por sus nombres en inglés Red y Near Infrared. Los resultados que arroja este índice son valores en una escala numérica de -1 a 1 con una gama de colores representativas a un cambio de color. Este cambio de color

representa la salud de la vegetación, dándose a entender que los valores cercanos a -1 (valores bajos) representan la ausencia o falta de vegetación en el área y de manera inversa, si se obtiene valor cercano a 1 (valores altos) representa áreas con vegetación, entre más alto sea el valor, la vegetación es más saludable (GISGeography, 2023).

- **Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI):** se deriva a partir del Índice de Vegetación Normalizada, ya que sirve de misma forma para cuantificar la vegetación existente dentro de un área determinada, sin embargo, se agrega un factor para eliminar y corregir la influencia del brillo del suelo en sitios donde la cobertura vegetal es baja. El Índice SAVI permite diferenciar la baja densidad vegetal de la superficie de suelo. Al igual que el NDVI, SAVI utiliza la luz roja e infrarroja que se identifican como “R” y “NIR” respectivamente, por sus nombres en inglés Red y Near Infrared. Además, agrega un factor de corrección de brillo de suelo nominado como “L”, que normalmente se adapta con un valor de 0.5 para la mayoría de los tipos de cobertura terrestre (USGS,2022). El resultado de este índice arroja valores en una escala numérica de -1 a 1 con una gama de colores representativas a un cambio de color. El factor L ayuda a amortiguar y diferenciar la vegetación en desarrollo, es decir, los resultados del índice diferencian a valores altos (cercaos a 1) donde existe vegetación en desarrollo y los valores bajos (cercaos a -1) indicarán ausencia de vegetación y/o solamente el reflejo del suelo (GEOU,2019).
- **Índice de Clorofila Verde (GCI):** permite conocer el estado sanitario de la vegetación, es decir, la salud de las plantas. Este índice combina las bandas verdes y rojas de las imágenes satelitales, las cuales son especialmente sensibles a la variación de contenido de clorofila. Las aplicaciones más comunes de este índice es el de distinguir algún tipo de plaga o enfermedad que esté afectando a la planta. A medida que el valor arrojado por el índice se acerca a 0, se trata de un contenido bajo en clorofila y, por ende, es posible que se trate de un estado de salud precario en caso de presencia de vegetación, o bien, puede tratarse de un sitio donde no existe vegetación. Debido a esto, es importante corroborar la información que se obtiene de este método con visitas en campo.

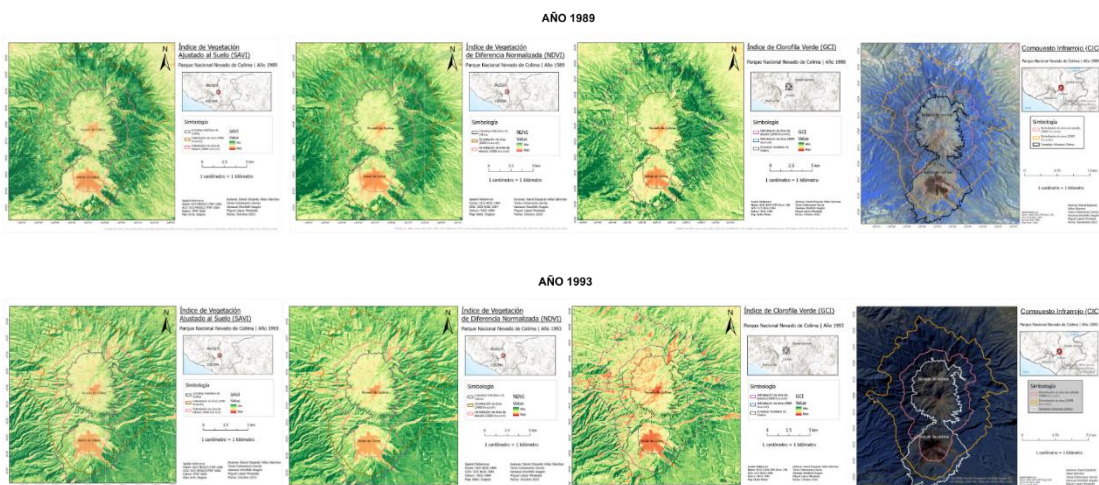
Como se puede apreciar, los cuatro índices están estrechamente correlacionados. Esto es de utilidad dado que se puede rescatar información de calidad y precisión. El CIC funge, en este

caso, como una introducción sobre dónde se espera encontrar vegetación, ya sea o no sana. En segundo lugar, el NDVI dará pista sobre donde se encuentra la vegetación sana y donde se puede encontrar vegetación en estado desfavorable, sin embargo, dado que el NDVI es sensible al brillo de la atmósfera, así como a aspectos propios del suelo (como su color, su humedad y su tipo), se decidió integrar así el SAVI, el cual ofrece una corrección para este tipo de aspectos. Por lo tanto, SAVI otorgará con mayor detalle las superficies expuestas 100% al suelo, así como mayor precisión en los cultivos jóvenes. Por último, el índice de clorofila verde mostrará las áreas donde se presente un mayor bienestar en las plantas. Dado que el contenido de clorofila disminuye a medida que el estrés de la planta aumenta, suele usarse como un indicativo de la vitalidad de la vegetación.

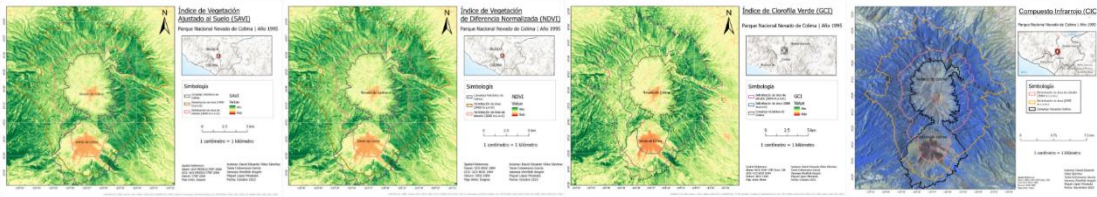
Resultados de índices espectrales

La cartografía para el área de estudio de interés del presente trabajo fue elaborada a partir de imágenes satelitales que comprenden del año 1989 hasta 2022, con un espacio temporal de 3 años, de acuerdo con la metodología detallada en la sección 1.5 *Desarrollo de la propuesta de mejora*.

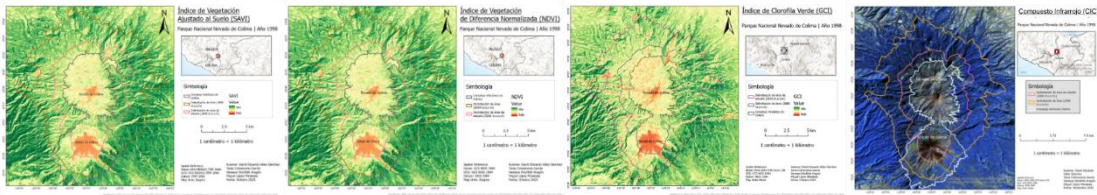
A continuación, se presenta la cartografía sobre los índices espectrales obtenidos de acuerdo con su año. Se especifica con antelación que para el caso de los años 2013 y 2016 fueron insatisfactorios los resultados obtenidos para el GCI y para el CIC, respectivamente, dado que las imágenes satelitales descargadas de la fuente USGS contenían información poco útil para los propósitos del trabajo presente. En otras palabras, la información que contienen los píxeles que conforman la imagen satelital de dichos años provocó un error al momento de ejecutar la metodología propuesta para los índices GCI y CIC.



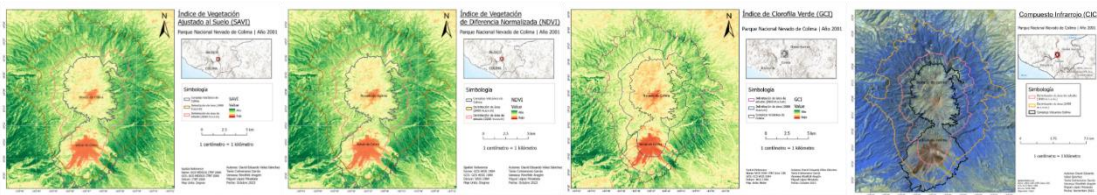
AÑO 1995



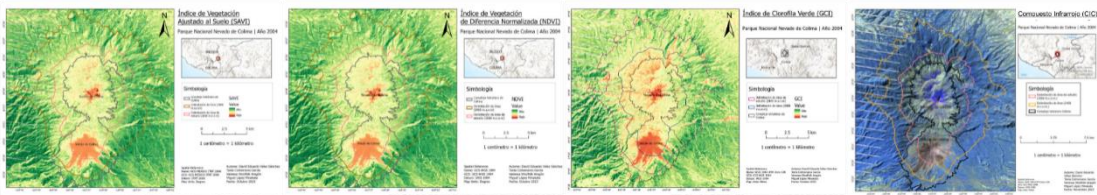
AÑO 1998



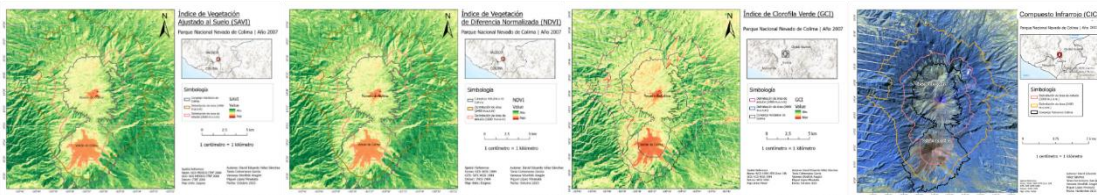
AÑO 2001



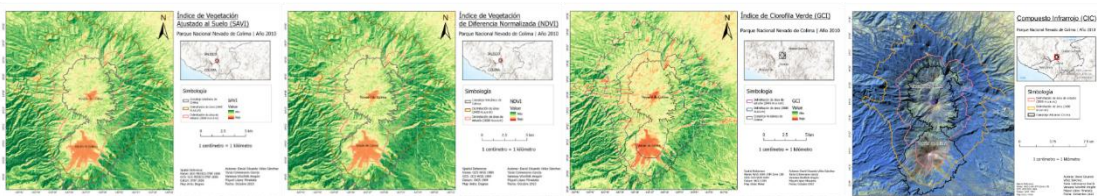
AÑO 2004



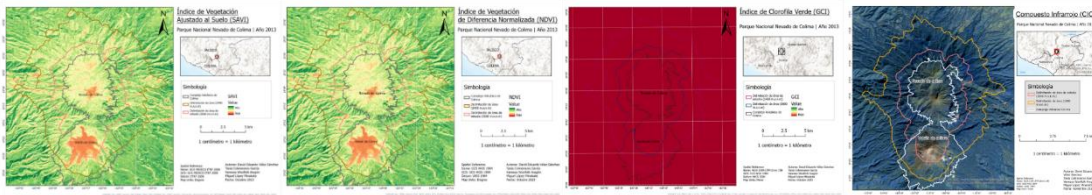
AÑO 2007



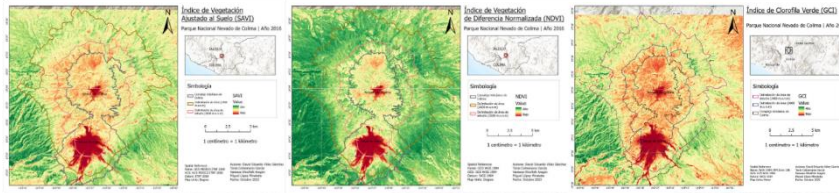
AÑO 2010



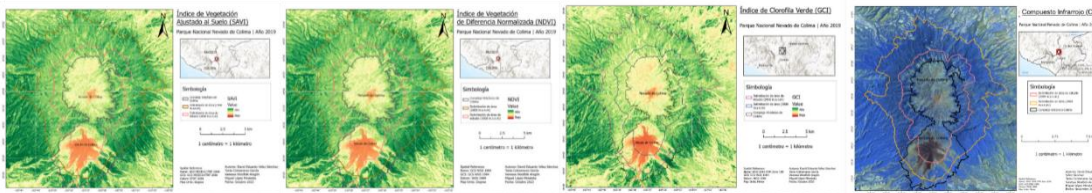
AÑO 2013



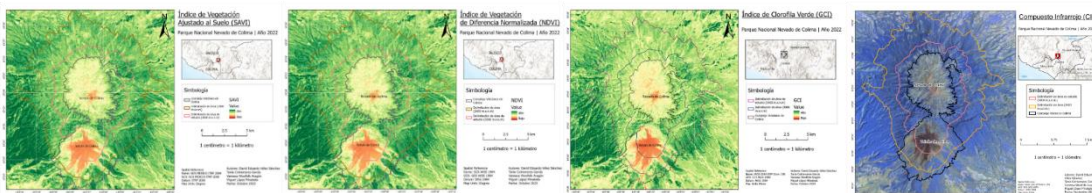
AÑO 2016



AÑO 2019



AÑO 2021



Se sugiere analizar los archivos adjuntos al presente reporte (listados a continuación) para una mayor calidad y nitidez en la cartografía presentada:

- Análisis de Mapas Compuesto Infrarrojo Cercano (CIC)
- Análisis de Mapas Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)
- Análisis de Mapas Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)
- Análisis de Mapas Índice de Clorofila Verde (GCI)

Análisis de los índices espectrales

El compuesto infrarrojo cercano muestra satisfactoriamente toda el área cubierta con vegetación; se representa en tonalidades de azul, llegando a un azul intenso cuando existe gran densidad de vegetación. Por otro lado, tanto el NDVI, el SAVI, y el GCI, se presentan en un mismo rango de colores para facilitar su comparativa.

A lo largo de los años, se observa claramente la forma en la que el bosque del Nevado de Colima presenta oscilaciones entre la densidad de vegetación, así como su salubridad. Para el año 1989 se resalta que hay gran densidad de vegetación, gracias al CIC. El NDVI y el SAVI, para el mismo año, muestran una similitud entre ellos, ambos mostrando un alto contenido de masa vegetal, incluso con las correcciones de brillo y suelo aplicadas. La diferencia es notoria cuando se analiza el valor de un mismo píxel; el SAVI va a proporcionar un valor de mayor exactitud que el que presentaría el NDVI, sin embargo, para los propósitos de este trabajo, no es de mayor relevancia analizar cada píxel, dado que la resolución de la imagen es muy baja (píxeles de gran tamaño que abarcan áreas de 900 m²).

El GCI para el año 1989, por otro lado, indica en qué magnitud (de toda el área resaltada en color verde por el SAVI) la vegetación está más sana o tiene mayor contenido de clorofila. De esta forma, si se analiza detalladamente tanto al SAVI como al GCI en la figura 7, se percibirá que, aunque el área circulada con color rojo muestre que hay gran densidad de vegetación, se observa en el área circulada con color negro que no necesariamente es vegetación sana, dado que el GCI expone tonalidades menos intensas de verde.

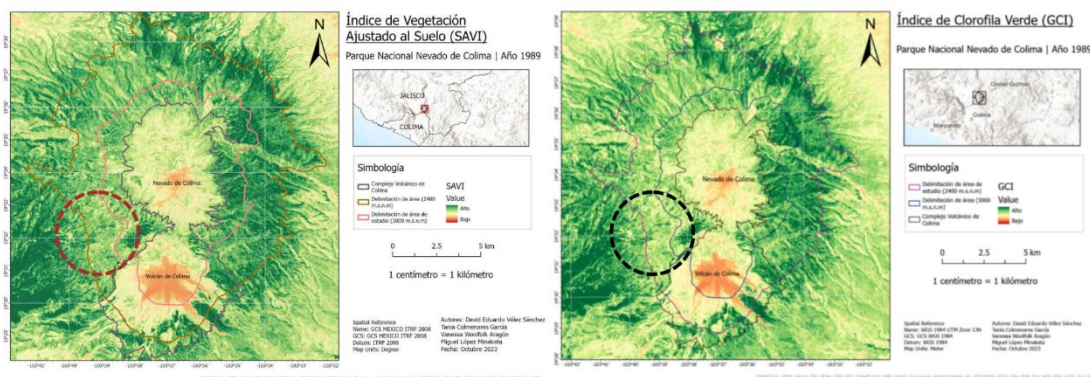


Figura 7. Comparativa GCI y SAVI 1989

De forma generalizada, la mayor concentración de vegetación se observa por debajo de los 2,400 m.s.n.m., y por encima, se observa una disminución de la concentración de vegetación. Esto es debido a que incrementa la altitud y las especies de vegetación van reduciendo. La principal área de interés para el estudio es a partir de los 3,000 m.s.n.m. donde se logra distinguir vegetación dentro del área. Asimismo, se hace notar que en el año 1993 la salud del bosque se ve afectada considerablemente, mostrando colores verdes más tenues en toda la periferia del área de estudio. En los mapas de los años 1995 a 2016 se aprecia una

recuperación paulatina del bosque del Nevado de Colima, sin embargo, a partir del 2016 es cuando descienden drásticamente las tonalidades de verde en toda el área de estudio. Por último, a partir del 2019 hasta el 2022 se observa una gran recuperación de la vegetación. Existe una serie de eventualidades que sucedieron a lo largo de los 33 años de estudio, los cuales pueden ser de ayuda para explicar lo visto a través de los mapas.

La Universidad de Guadalajara, en el 2010, a través de un artículo publicado en La Gaceta, reveló que la Compañía Industrial Atenquique había estado explotando hasta 5 veces la capacidad de regeneración del bosque mesófilo del Nevado de Colima, desde 1943 y terminando sus actividades de tala en el año 1993. Es decir, 50 años de sobreexplotación del recurso maderero en la zona para la producción de papel (Universidad de Guadalajara, 2010). Esto puede ser una explicación congruente sobre el por qué en 1993 el bosque se observa altamente deteriorado con respecto a 1989. Chávez Hernández, A., geógrafo de la Universidad de Guadalajara, mencionó en una entrevista hecha en el 2008 por el periódico ambiental Verde Bandera que, en 1992, cuando la Compañía Industrial Atenquique perdió la concesión de aprovechamiento forestal, se dedicaron a “realizar una última devastación para recuperar la inversión”; posteriormente, en 1993, pasó a manos de la compañía privada Grupo Industrial Durango. (Del Castillo, A., 2008)

En 1997, la gestión del Parque Nacional pasó a manos de los gobiernos de Jalisco y de Colima siendo que, en el pasado, la administración estaba a cargo de varias dependencias del gobierno federal. A raíz de este cambio de administración, se lograron reconocer “problemáticas de orden social, legal y ecológico que permanecieron por más de seis décadas” (CONANP, 2006). Fue así como la CONANP creó un Programa de Trabajo 2001 – 2006 el cual fuera congruente con los objetivos de conservación, restauración y manejo del parque.

En el Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Volcán Nevado de Colima, publicado en el 2006 por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONAFOR), se detalla que entre la primavera del 2004 y la primavera del 2005, hubo 5,250 árboles intervenidos por cortas sanitarias con la finalidad de disminuir la población del escarabajo descortezador para mantener así bajos niveles de afectación a las masas arboladas. Sin embargo, Ortega, A., *et al.*, (2015), menciona que los efectos de degradación considerados de alto impacto que se derivan de los ataques de los organismos que inciden sobre la cubierta

vegetal usualmente son “resultado de un inadecuado manejo de los recursos maderables, de la demora para el tratamiento sanitario y de los esquemas de saneamiento que favorecen la formación de paisajes fragmentados y poco saludables”.

Dentro de la cartografía elaborada para el año 2004 (figura 8), se observa que el área que demuestra menor salubridad (tonalidades verdes más tenues y rojos más intensos en comparación con el año 2001, circuladas en color negro) coincide con los sitios donde la CONAFOR informa que se realizaron las actividades de saneamiento. Es decir, a pesar de que el objetivo de las actividades de saneamiento era mantener los niveles bajos de escarabajo descortezador, se afectó seriamente la salud del arbolado remanente dado que se retiraron aquellos que ya se encontraban en un estado denominado “muerto en pie”, interrumpiendo así la dinámica ecológica del parque donde los árboles muertos en pie ceden sus nutrientes y materia orgánica para el crecimiento de nuevos brotes. La recuperación de la salud del bosque se aprecia notablemente hasta el 2019, después de la fuerte erupción que tuvo el Volcán de Colima en el 2016. En otras palabras, le tomó al bosque alrededor de 15 años recuperarse de las actividades de saneamiento, en adición a las afectaciones por el fenómeno ambiental del 2016.

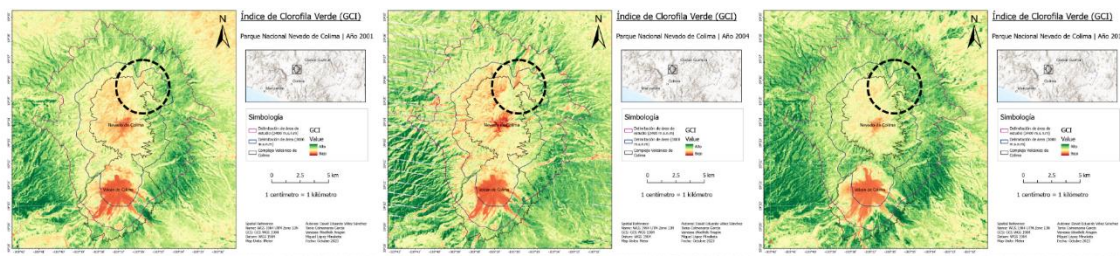


Figura 8. Comparativa GCI años 2001, 2004, 2019

Para el 2008, los esfuerzos por erradicar cualquier tipo de actividad que perjudicase la salud y bienestar ecológica del parque se intensificaron. En 2009, se declaró Área Natural Protegida el Parque Nacional Volcán Nevado de Colima, lo cual trajo consigo los aspectos mencionados a continuación (Patronato del Nevado de Colima y Cuencas Adyacentes, 2023):

- Expulsión del ganado vacuno.
- Regeneración del suelo a través de elementos como la materia orgánica proveniente de los árboles muertos.
- Reforestación con especies endémicas.
- Programa de monitoreo de la biodiversidad con la Universidad de Guadalajara.

- Reinterpretación de la legislación ambiental para respetar los ciclos evolutivos del bosque de altura.
- Control del turismo.
- Incorporación de la participación civil a partir de la asociación Patronato del Nevado de Colima y Cuencas Adyacentes, A.C.

En el año 2010 la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable emitió protección adicional al bosque del Nevado de Colima lo que también abonó a que se comenzaran a recuperar alrededor de 7 mil hectáreas de terreno afectado. Dicha recuperación se estimaba que tardaría 20 años en verse reflejada por completo, lo cual se ve reflejado en los mapas de 2019 en adelante. (UdG, 2010)

Una fuerte erupción volcánica del Volcán de Colima es lo que provocó que el GCI del mismo año arrojara valores tan bajos de clorofila en la vegetación. Tal como se muestra en los mapas creados para el 2016 (figura 9), medios oficiales reportan un derrame de lava de medio kilómetro por la ladera del sur, además de expulsiones de gases de más de 3 km. Dado que las cenizas expulsadas por el volcán son excesivamente contaminantes, estas ocasionaron efectos similares a los de los herbicidas, provocando pérdidas importantes de vegetación (INFOBAE, 2016).

Este fenómeno se ve con claridad en la figura 9, y la comparativa entre el NDVI, SAVI y GCI es un gran ejemplo de la utilidad de los índices creados. El NDVI muestra toda la vegetación existente, el SAVI muestra el suelo desnudo a raíz de la erupción volcánica, y el GCI muestra que las plantas fueron fuertemente perturbadas por las cenizas que actuaron como herbicidas. Además, se logra observar con detalle el derrame de lava que se dio por el sur del Nevado.

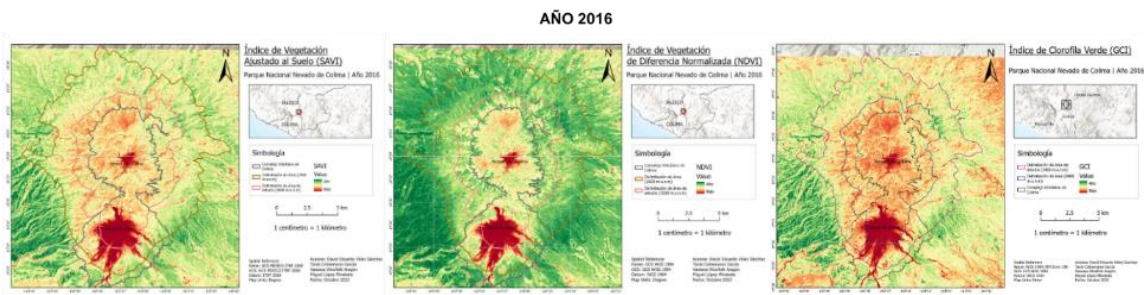


Figura 9. Índices para el año 2016

En el 2021 se celebraron 12 años de protección estatal al Nevado de Colima; en dicho año, “se destinaron 11,500 plantas de pino y oyamel para 38 hectáreas del bosque mesófilo” (García, A., 2021). Actividades de reforestación y regulación de actividades en la zona se han visto favorecidas desde la declaración de la zona como Área Natural Protegida, lo cual puede verse reflejado en los mapas expuestos en el presente trabajo.

Conclusiones de la sección de índices espectrales

Dentro del estudio llevado a cabo a través de los 33 años por medio de imágenes satelitales se puede resaltar lo siguiente:

1. La importancia de la regulación de la tala forestal y su aprovechamiento.
2. Para tener una gestión integral del bosque, es necesario dividir los esfuerzos entre organizaciones civiles, instituciones privadas, e instituciones gubernamentales.
3. Se requiere una visión amplia del bosque donde sea visto más como un patrimonio ambiental y menos como un bien comercial.
4. Ser conscientes de los fenómenos ambientales, como las erupciones volcánicas, y las consecuencias que estos puedan traer consigo.
5. Para llevar a cabo una reforestación valiosa, es necesario hacerlo con especies endémicas del sitio.
6. Los estudios y monitoreos continuos sobre la flora y la fauna son de vital importancia para conservar la salubridad del bosque.
7. Las actividades de saneamiento que buscan erradicar factores ambientales bióticos, como el escarabajo descortezador, deben de tener un fundamento teórico y estar fuertemente sustentadas, de lo contrario, dañan el ecosistema.

Los índices espectrales otorgaron una pauta para revelar los hitos que han marcado el dinamismo ecológico del bosque mesófilo del Parque Nacional Volcán Nevado de Colima en las últimas 3 décadas. Es recomendable fundamentar la importancia de preservar el arbolado muerto en pie dentro del sitio de estudio con visitas en campo y análisis de laboratorio sobre distintos tipos de suelo para detectar el contenido de nutrientes y materia orgánica en cada uno de ellos, lo cual permitirá conocer cómo han impactado hoy en día los esfuerzos de gestión del bosque evaluados en esta sección.

El Complejo Volcánico de Colima constituye un ecosistema significativo para la biodiversidad y dinámica climática de la región, por lo que el análisis de suelo desempeña un papel fundamental en el cuidado y salud del bosque de montaña, y uno de los métodos para llevar a cabo tal análisis es por medio de prácticas analíticas donde se determinan los componentes geoquímicos encontrados en muestras de suelo. Esto permite entender el comportamiento del ecosistema y la dinámica interrelacional entre distintos tipos de estructuras forestales en función de las características del suelo de montaña.

El análisis consiste en 5 parámetros representativos de la salud del ecosistema y de la calidad de vida de la vegetación del Patronato, los cuales se analizan por medio de técnicas analíticas en laboratorio:

- **Materia orgánica:** Es producto de la descomposición química de las plantas, microorganismos o la excreción de animales. Esta se clasifica en compuestos húmicos y no húmicos y está compuesta por carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre, entre otros macronutrientes. En los últimos aún se encuentra la composición química y en ocasiones la estructura física de los tejidos animales o vegetales originarios. Asimismo, la materia orgánica forma parte del suelo al ser producto de la desintegración de residuos orgánicos vegetales, su concentración es mayor en los estratos superficiales y menor en la profundidad del suelo.
- **Humedad:** La humedad se refiere a la cantidad de agua que existe en un sólido El contenido de humedad en una muestra sólida usualmente se utiliza como indicador clave de la salud del ecosistema, ya que influye en la liberación de nutrientes en el suelo y ayuda a comprender el comportamiento del suelo.
- **pH:** Proporciona información acerca de las propiedades geoquímicas que hay en el suelo, influyendo en la disponibilidad de nutrientes y la salud del sistema ambiental. El pH del suelo afecta la disponibilidad nutrimental y la forma en la que los nutrientes interactúan y reaccionan entre sí. En pH bajo el fósforo y el magnesio se ven menos presentes, mientras que el aluminio y el hierro tienen una disponibilidad alta, llegando a niveles tóxicos para las plantas. Cuando el pH es mayor a 7.5, la cantidad de fósforo

es preocupante al presentarse en pequeñas cantidades, afectando el crecimiento y desarrollo de la flora.

- **Conductividad:** La conductividad eléctrica del suelo mide la capacidad del suelo para conducir una corriente eléctrica y está relacionada con la cantidad de sales disueltas en el suelo. Una alta conductividad puede indicar la presencia de altas concentraciones de sales, lo que puede ser perjudicial para las plantas si es excesivo. La medición de la conductividad eléctrica también es importante en la gestión de la irrigación, ya que puede ayudar a determinar la cantidad de agua necesaria para evitar la acumulación de sales tóxicas en el suelo.
- **Fósforo:** el fósforo es un nutriente clave para el crecimiento de las plantas y desempeña un papel crucial en procesos biológicos como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis de ácidos nucleicos. La investigación sobre la cuantificación de fósforo en el suelo busca comprender la dinámica de este nutriente en diferentes tipos de suelos y condiciones ambientales para conocer el estado de la vegetación en un ecosistema.
- **Nitrógeno:** Es esencial para la vida, como en el crecimiento de plantas y microorganismos en el suelo. Su disponibilidad influye directamente en la salud y productividad de un ecosistema y participa en todos los procesos químicos del suelo.

Dentro del bosque también se pueden encontrar distintos tipos de insectos, sin embargo, se han encontrado algunas especies invasoras que interrumpen la dinámica del bosque y afectan directamente al pino de altura. Inicialmente los daños se presentan en la parte inferior del tronco en forma de grumos de color claro, esto siendo indicador de una infestación de la especie.

El análisis de suelo, considerando los parámetros mencionados con anterioridad y la presencia del escarabajo, es una herramienta sustancial para la comprensión integral de los procesos químicos del suelo que forman la montaña del nevado de Colima, y además aporta a la ciencia que estudia la conservación y gestión de bosques.

Resultados de laboratorio

Se registraron los resultados de la totalidad de las prácticas de laboratorio para cada parámetro analizado en la tabla 4 respecto a su tipo de arbolado.

Muestra	Tipo de árbolado	pH	C. Eléctrica	Materia orgánica (g)	% Humedad	Fósforo (mg/L)
1	Bosque Verde	5.4	38.0	8.00%	22.03	5.3
2	Bosque en Transición	5.6	47.3	6.67%	18.17	7.4
3	Muerto en pie	4.7	36.3	8.04%	22.81	3.8
4	Bosque Verde	6.8	19.8	6.30%	17.32	6.6
5	Bosque Verde	5.1	80.7	9.30%	24.18	36.9
6	Bosque Verde	4.8	41.0	7.95%	25.84	13.4
7	Muerto en pie	4.7	52.6	13.46%	25.25	21.7
8	Bosque Verde	5.2	22.5	6.83%	18.00	32.1
9	Bosque en Transición	6.6	39.8	6.46%	21.52	53.8
10	Bosque en Transición	6.4	39.3	7.41%	17.91	93.2
11	Bosque en Transición	5.2	54.6	9.51%	21.19	12.4
12	Muerto en pie	5.2	49.6	11.39%	20.03	2.2
13	Bosque Verde	6.0	21.6	4.33%	18.27	49.9
14	Bosque Verde	5.9	22.2	7.43%	21.74	15.1
15	Bosque Verde	4.4	19.3	5.99%	19.37	8.5
16	Bosque Verde	5.5	30.6	3.17%	16.06	3.8
17	Muerto en pie	4.6	46.2	6.54%	22.13	24.8
18	Reforestado	5.2	21.1	2.13%	14.22	30.0
19	Reforestado	5.5	18.2	6.39%	-	19.5
20	Reforestado	5.4	17.3	6.07%	17.37	7.1

Tabla 4. Resultados crudos de parámetros fisicoquímicos obtenidos por medio de prácticas analíticas.

Estos datos se ordenaron/clasificaron en 4 categorías, de acuerdo con su tipo de arbolado y no por su orden de muestra en la tabla 5.

Muestra	Tipo de árbolado	pH	C. Eléctrica	Materia orgánica (%)	% Humedad	Fósforo(mg/L)
2	Bosque en Transición	5.6	47.3	6.673	18.17	7.4
9	Bosque en Transición	6.6	39.8	6.465	21.52	53.8
10	Bosque en Transición	6.4	39.3	7.410	17.91	93.2
11	Bosque en Transición	5.2	54.6	9.511	21.19	12.4
1	Bosque Verde	5.4	38.0	8.005	22.03	5.3
4	Bosque Verde	6.8	19.8	6.303	17.32	6.6
5	Bosque Verde	5.1	80.7	9.304	24.18	36.9
6	Bosque Verde	4.8	41.0	7.950	25.84	13.4
8	Bosque Verde	5.2	22.5	6.826	18.00	32.1
13	Bosque Verde	6.0	21.6	4.334	18.27	49.9
14	Bosque Verde	5.9	22.2	7.431	21.74	15.1
15	Bosque Verde	4.4	19.3	5.985	19.37	8.5
16	Bosque Verde	5.5	30.6	3.175	16.06	3.8
3	Muerto en pie	4.7	36.3	8.035	22.81	3.8
7	Muerto en pie	4.7	52.6	13.461	25.25	21.7
12	Muerto en pie	5.2	49.6	11.389	20.03	2.2
17	Muerto en pie	4.6	46.2	6.537	22.13	24.8
18	Reforestado	5.2	21.1	2.129	14.22	30.0
19	Reforestado	5.5	18.2	6.393	-13.36	19.5
20	Reforestado	5.4	17.3	6.075	17.37	7.1

Tabla 5. Resultados crudos ordenados por su tipo de arbolado.

Utilizando como base la tabla anterior, se promediaron los valores por categoría y se registraron en la tabla 3, llegando a desarrollar un análisis estadístico para obtener una conclusión aproximada en cuanto al del dinamismo del bosque. Entiéndase “áreas previamente saneadas” como tipo de arbolado reforestado.

	pH	C. Eléctrica	Materia orgánica (g)	% Humedad	Fósforo(mg/L)
Arbolado verde	5.5	32.9	6.59	20.3	19.1
Arbolado en Transición	6.0	45.3	7.51	19.7	41.7
Arbolado Muerto en Pie	4.8	46.2	9.86	22.6	13.1
Áreas previamente Saneadas	5.4	18.9	4.87	6.1	18.9

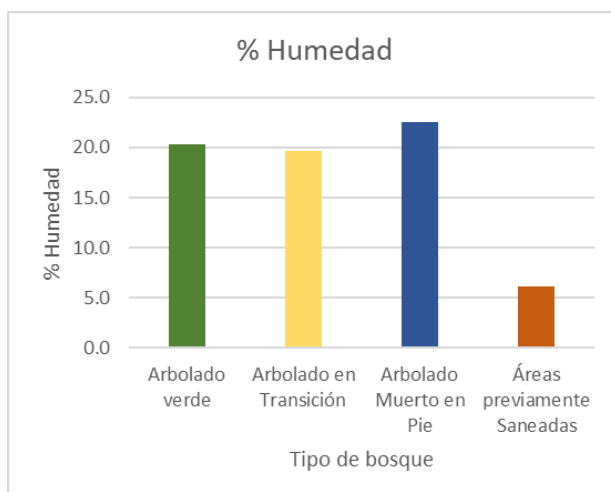
Tabla 6. Promedios de cada parámetro por cada tipo de arbolado.

A continuación, se presentan los resultados por cada una de las prácticas realizadas en laboratorio:

% de Humedad:

# Crisol	Peso Crisol (g)	Peso muestra (g)	Peso después de 24 horas de secado (g)	Peso Seco (g)	Humedad en muestra (g)	Contenido de humedad (%)
1	24.51	10.15	32.42	7.91	2.24	22.03
2	31.71	10.48	40.28	8.57	1.90	18.17
3	27.02	10.31	34.98	7.96	2.35	22.81
4	27.41	10.57	36.14	8.74	1.83	17.32
5	30.27	10.34	38.11	7.84	2.50	24.18
6	26.89	10.22	34.47	7.58	2.64	25.84
7	25.39	10.20	33.02	7.63	2.58	25.25
8	26.85	10.75	35.67	8.82	1.94	18.00
9	26.58	10.83	35.07	8.50	2.33	21.52
10	22.34	10.30	30.79	8.46	1.85	17.91
11	25.36	10.33	33.50	8.14	2.19	21.19
12	27.11	10.56	35.55	8.44	2.11	20.03
13	26.08	10.70	34.82	8.74	1.96	18.27
14	26.63	10.15	34.58	7.95	2.21	21.74
15	21.74	10.68	30.35	8.61	2.07	19.37
16	30.67	10.01	39.08	8.41	1.61	16.06
17	31.71	10.19	39.64	7.93	2.25	22.13
18	24.69	10.09	33.35	8.65	1.43	14.22
19	23.31	10.07	34.72	11.42	-1.35	-
20	23.88	10.70	32.72	8.84	1.86	17.37

Tabla 7. Contenido de humedad por muestra.

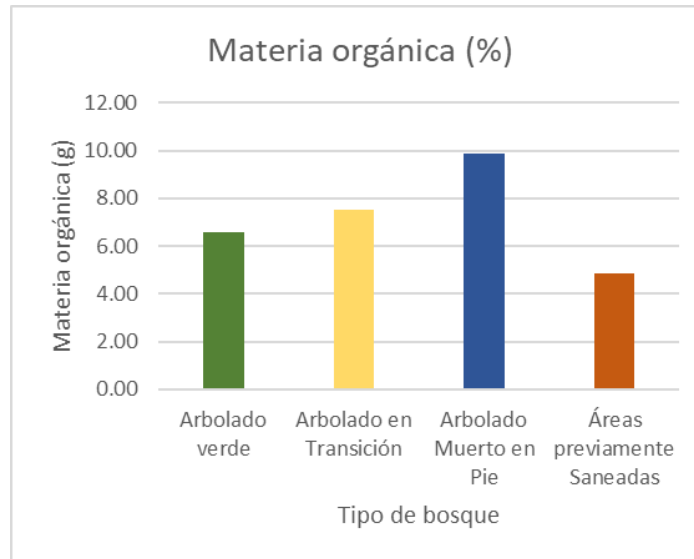


Gráfica 1. Porcentaje de humedad respecto a su tipo de bosque.

Materia orgánica:

Muestra	Pesos crisoles antes de mufla (g)	Peso materia orgánica antes de mufla (tarada) (g)	Peso muestra y cápsula (g)	Peso después de 3 horas de mufla (g)	Materia Orgánica Volatilizada (g)	Contenido de materia orgánica dentro de cada muestra (g)
1	31.706	15.0337	46.7397	45.5363	-1.2034	8.00%
2	30.2733	15.1978	45.4711	44.457	-1.0141	6.67%
3	26.5785	15.0683	41.6468	40.436	-1.2108	8.04%
4	26.6298	15.078	41.7078	40.7575	-0.9503	6.30%
5	24.692	15.1613	39.8533	38.4427	-1.4106	9.30%
6	27.1071	15.0884	42.1955	40.996	-1.1995	7.95%
7	27.0162	15.0325	42.0487	40.0252	-2.0235	13.46%
8	21.7381	15.2231	36.9612	35.9221	-1.0391	6.83%
9	30.6717	15.0807	45.7524	44.7775	-0.9749	6.46%
10	22.3353	15.384	37.7193	36.5793	-1.14	7.41%
11	25.3935	15.107	40.5005	39.0637	-1.4368	9.51%
12	26.0773	15.0853	41.1626	39.4446	-1.718	11.39%
13	27.4075	15.0485	42.456	41.8038	-0.6522	4.33%
14	25.3553	15.4182	40.7735	39.6277	-1.1458	7.43%
15	24.509	15.091	39.6	38.6968	-0.9032	5.99%
16	26.3037	15.0975	41.4012	40.9219	-0.4793	3.17%
17	23.8799	15.0244	38.9043	37.9222	-0.9821	6.54%
18	34.3319	15.0374	49.3693	49.0491	-0.3202	2.13%
19	31.7115	15.1449	46.8564	45.8882	-0.9682	6.39%
20	26.8516	15.4441	42.2957	41.3575	-0.9382	6.07%

Tabla 8. Porcentaje de materia orgánica por muestra.

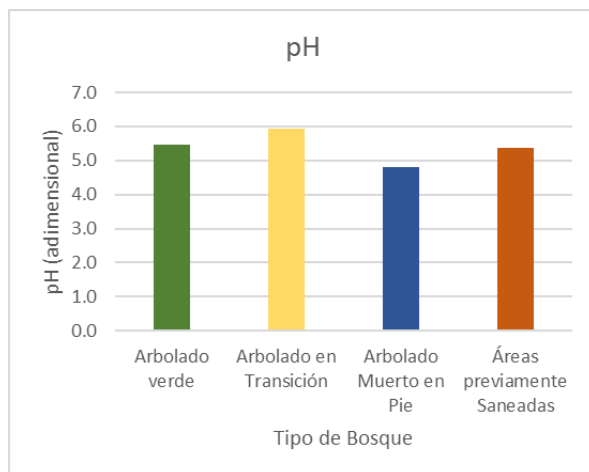


Gráfica 2. Porcentaje de materia orgánica respecto al tipo de bosque.

pH:

Muestra	Peso muestra (g)	pH
1	20.36	5.40
2	20.50	5.60
3	20.05	4.70
4	20.41	6.80
5	20.40	5.10
6	20.13	4.80
7	20.63	4.70
8	20.03	5.20
9	20.80	6.60
10	20.22	6.40
11	20.34	5.20
12	20.75	5.20
13	20.76	6.00
14	20.74	5.90
15	20.00	4.40
16	20.37	5.50
17	20.88	4.60
18	20.13	5.20
19	20.28	5.50
20	20.28	5.40

Tabla 9. Datos teóricos de pH por muestra.

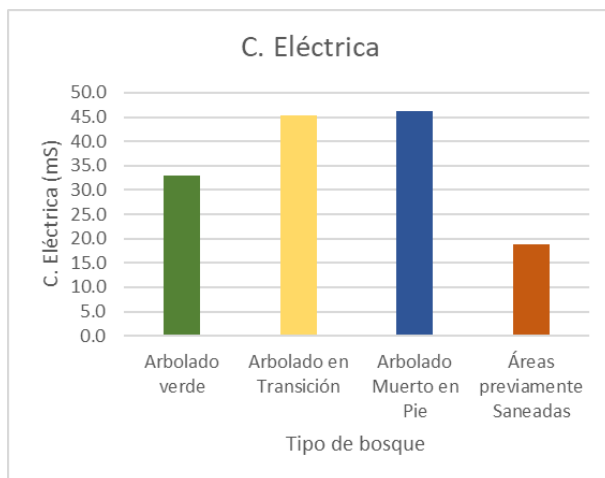


Gráfica 3. Promedios de pH respecto al tipo de bosque.

Conductimetría:

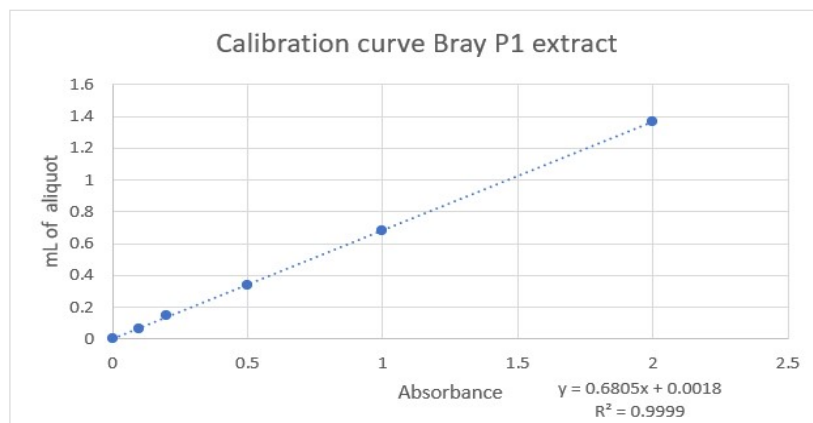
Muestra	Peso muestra (g)	Conductividad (μS)
1	20.36	38.00
2	20.50	47.30
3	20.05	36.30
4	20.41	19.80
5	20.40	80.70
6	20.13	41.00
7	20.63	52.60
8	20.03	22.50
9	20.80	39.80
10	20.22	39.30
11	20.34	54.60
12	20.75	49.60
13	20.76	21.60
14	20.74	22.20
15	20.00	19.30
16	20.37	30.60
17	20.88	46.20
18	20.13	21.10
19	20.28	18.20
20	20.28	17.30

Tabla 10. Datos teóricos de conductividad por muestra.



Gráfica 4. Promedios de la Conductividad eléctrica en función del tipo de bosque.

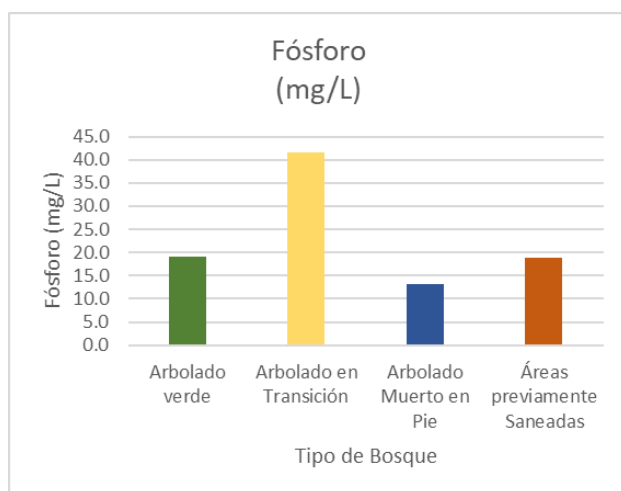
Cuantificación de fósforo:



Gráfica 5. Curva de calibración para cuantificación de fósforo.

Muestra	Reagent C (ml)	Volumen flotante de muestra después de centrifugadora	Transmitancia %	Transmitancia	Absorbancia	Fósforo ppm
1	2.0	0.5	84	0.84	0.08	5.33
2	2.0	0.5	78.3	0.783	0.11	7.41
3	2.0	0.5	88.4	0.884	0.05	3.82
4	2.0	0.5	80.6	0.806	0.09	6.55
5	2.0	0.5	28.9	0.289	0.54	36.87
6	2.0	0.5	63.9	0.639	0.19	13.42
7	2.0	0.5	48.2	0.482	0.32	21.75
8	2.0	0.5	34	0.34	0.47	32.06
9	2.0	0.5	16.3	0.163	0.79	53.79
10	2.0	0.5	4.3	0.043	1.37	93.17
11	2.0	0.5	66.2	0.662	0.18	12.37
12	2.0	0.5	93.5	0.935	0.03	2.17
13	2.0	0.5	18.6	0.186	0.73	49.89
14	2.0	0.5	60.3	0.603	0.22	15.13
15	2.0	0.5	75.4	0.754	0.12	8.52
16	2.0	0.5	88.6	0.886	0.05	3.76
17	2.0	0.5	43.4	0.434	0.36	24.85
18	2.0	0.5	36.5	0.365	0.44	29.97
19	2.0	0.5	52	0.52	0.28	19.51
20	2.0	0.5	79	0.79	0.10	7.15

Tabla 11. Concentraciones teóricas de fósforo por muestra.



Gráfica 6. Promedios de concentraciones de fósforo respecto al tipo de bosque.

Cuantificación de nitrógeno:

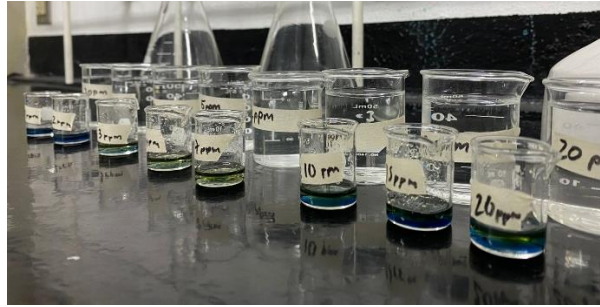


Figura 10. Soluciones para curva de calibración de nitrógeno.

Análisis de resultados de laboratorio

% de Humedad:

La humedad del suelo aumentó en lugares donde hubo la dinámica escarabajo-pino en todas las sucesiones ecológicas excepto la reforestación (áreas previamente saneadas). El contenido de humedad más alto se encontró en el arbolado muerto en pie y el más bajo en el arbolado verde, sin embargo, no se ve mucha varianza entre los 3 tipos de bosque. El aumento de humedad en el arbolado muerto en pie puede relacionarse con procesos como la disminución de pH y el aumento de materia orgánica en este mismo tipo de bosque, debido a que la transpiración de los árboles disminuye después de su muerte, observando una tendencia elevada en el contenido de humedad en este tipo de bosque.

Materia orgánica:

En la gráfica 1 se ven representados los promedios de las muestras de materia orgánica respecto al tipo de bosque encontrado en el Nevado. A primera instancia se observa un valor alto en el arbolado muerto en pie, con un decremento significativo en el arbolado en transición y aún más en el arbolado verde. Asimismo, las áreas previamente saneadas (áreas reforestadas) tienen el promedio menor en contraste a los otros tipos de bosque.

Según Molina, E. (2006) un arbolado saludable mantiene su porcentaje de materia orgánica alrededor de 5% y 7%. Este porcentaje indica una buena proporción de nutrientes, retención de agua y actividad biológica en el suelo; si se cuenta con un porcentaje mayor (alrededor de 10%) existe un exceso de materia orgánica lo cual no siempre es óptimo ya que se da un

proceso de retención excesiva de agua, generando problemas en las raíces y empezando una descomposición continua, agotando el oxígeno del suelo y a su vez la calidad de vida del árbol.

En la gráfica 1 esto también se ve representado, ya que en el arbolado verde se tienen porcentajes que rondan entre 4% y 8%, a diferencia del arbolado muerto en pie que tiene porcentajes entre 8% y 13.5%

pH:

Tomando en cuenta los límites propuestos por J.Z. Castellanos (2000), no se obtuvieron valores de pH por debajo de 4; el pH más bajo encontrado es el de la muestra #15, zona de arbolado verde, muerto en pie y oyamel, seguido de la muestra #17 que se sitúa en una zona de arbolado muerto en pie con puntos de reforestación cerca.

Por otro lado, las muestras con pH alto son las #4 y #9: La primera se tomó de una zona con arbolado verde y muerto en pie sin pendiente, mientras la segunda se tomó de una zona en estado de transición, próspero a ser arbolado muerto en pie con una pendiente arriba suroeste. En cuanto a la totalidad del pH, en las muestras del 15-18 (Tabla 2) se tienen valores de pH que varían desde el 4.4 hasta el 5.2, donde los minerales como el hierro, nitrógeno, fósforo, manganeso y boro están presentes. En este rango de pH se encuentra la mayor parte del arbolado muerto, infiriendo que a menor pH existe menor vida forestal. En la gráfica 1 se presenta que el nitrógeno disminuye en este rango de pH: considerando que el nitrógeno se contiene en la materia orgánica del suelo.

Se observa un aumento en este parámetro en las muestras 1-10 (Tabla 2) predominando en zonas de arbolado verde o en reforestación: entre más reforestación esté presente, el pH es cada vez más alto, al estar entre un rango de 5.4 – 6.4. En relación con los límites, se rescata la presencia de aluminio intercambiable, nitrógeno, potasio, calcio y hierro dentro del rango anterior.

Las muestras 4, 9 y 10 tienen un pH de 6.4 a 6.8; con relación a la tendencia observada, se esperaría que en estos niveles de pH al estar muy cercano a un pH neutro se estarían situando en el tipo de arbolado verde con reforestación, sin embargo, se presentan en tipo de arbolado muerto en pie o en transición, donde se puede encontrar niveles altos de calcio, nitrógeno y magnesio.

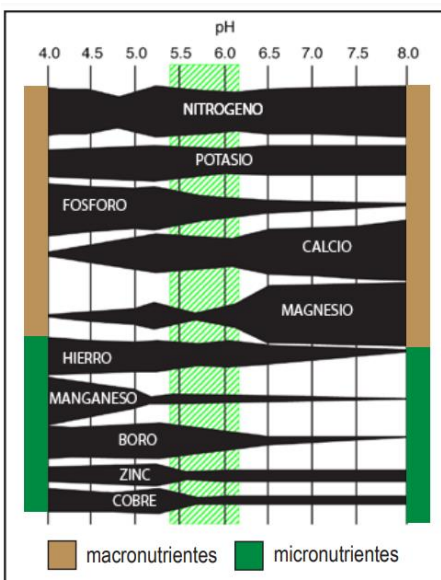
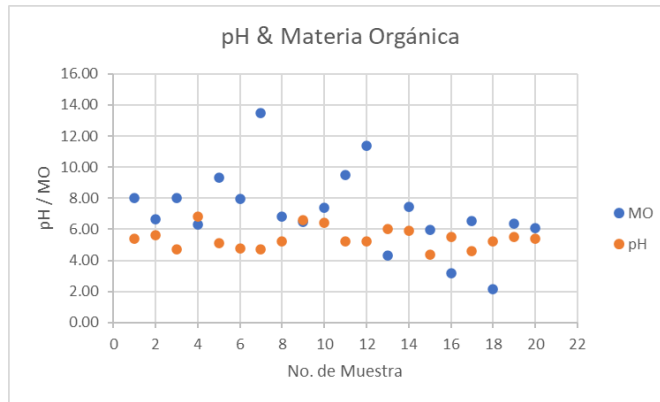


Figura 11. Parámetros y límites en valores de pH en cuanto a los nutrientes correspondientes.

Asimismo, la materia orgánica forma parte del suelo al ser producto de la desintegración de residuos orgánicos vegetales, su concentración es mayor en los estratos superficiales y menor en la profundidad del suelo. Según Mora J. (2016) el pH y la materia orgánica tienen una relación directa al ser indicadores de la fertilidad del suelo; el pH es más ácido donde la materia orgánica es mayor y viceversa (esto depende también de la composición del suelo). Dicho lo anterior, al observar la tabla 9, no se observa un comportamiento parecido en ambos parámetros, siendo que en la muestra número 7 se tiene un valor de materia orgánica sumamente cerca del 14% (siendo este el valor más alto) y asimismo se tiene un pH de 4.7, siendo este uno de los valores de pH más bajos entre las 20 muestras. Una posible explicación a este fenómeno puede ser dada por el tipo de sustrato y la humedad existente en la zona, ya que entre más húmedo esté el sustrato existe una alta probabilidad de la acumulación de materia orgánica y a su vez el tipo de pino esté liberando ácidos orgánicos que permita la descomposición de la materia en condiciones anaeróbicas.

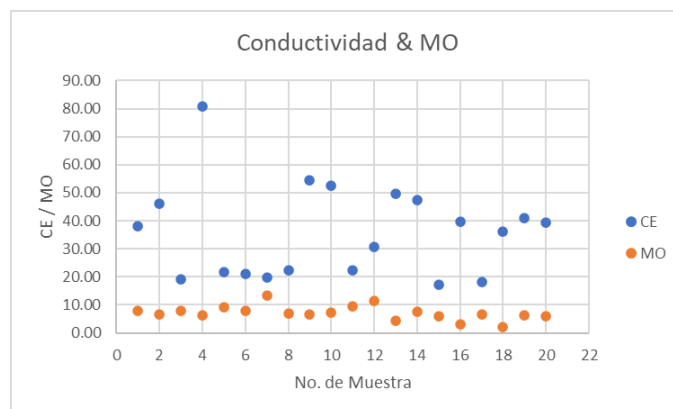


Gráfica 7. Comparación de materia orgánica y pH.

En la gráfica 7 se puede observar que los valores de MO y pH no siguen un mismo comportamiento estrictamente, aunque sí se puede observar en las primeras y últimas muestras cierta tendencia y similitudes en ambos parámetros.

Conductimetría:

Respecto a la conductividad eléctrica, Florián A. establece que el aumento de esta variable se le atribuye a la mineralización de la materia orgánica, la cual incrementa con la concentración de nutrientes y, por ende, la concentración de las sales. En caso de que se presente el fenómeno de lixiviación de la masa se puede dar el caso de que se tengan altos niveles de materia orgánica con bajos niveles de sales; se infiere que la conductividad eléctrica es directamente proporcional a esta propiedad del suelo.



Gráfica 8. Comparación de materia orgánica y pH.

Así como en el pH, se encuentran múltiples datos atípicos en donde las muestras con un valor mayor de conductividad eléctrica presentan valores bajos de materia orgánica y viceversa, la

muestra #6 tiene un mayor % de materia orgánica que el resto, y a su vez cuenta con una conductividad eléctrica muy baja. Como se menciona anteriormente esto lo puede causar la cantidad de minerales encontrados en el sustrato, específicamente la concentración de nitratos, potasio, sodio, fósforo, sulfato y amonio. En todas las muestras se tienen concentraciones relativamente iguales de nitrógeno y potasio, por lo que no debería ser motivo de alteración de estos parámetros. (Florián A., 2020)

Cuantificación de fósforo:

El fósforo actúa como un indicador de las condiciones de la vegetación en el bosque de altura, siendo que esta concentración puede variar dependiendo de las características del bosque y de la composición del suelo. Una concentración admisible de fósforo alcanza los 50 ppm, sin embargo, normalmente se reduce hasta 20 ppm, por otro lado, si existe un flujo continuo de distintos nutrientes en el sustrato, esta concentración baja significativamente a 1-2 ppm. (García S., 2020)

Fundamentando con el párrafo anterior, los valores de fósforo (mg/L [=] ppm) para el arbolado verde y las áreas previamente saneadas (reforestación) se promedian en un valor de 19.06 ppm, llegando a ser lo ideal específicamente en este tipo de arbolado ya que indica que existe vegetación sana al mantener un equilibrio químico. Por otro lado, existe un contraste con el arbolado en transición, al tener valores exponenciales de fósforo llegando a tener casi 42 ppm. Mientras este valor se considera saludable aún, se cree que al encontrarse en un estado transitorio están sucediendo distintos cambios en la composición y la estructura del árbol, así como procesos de descomposición de materia que han generado esta alteración en su valor de este parámetro. Por último, se observa en la gráfica también que el arbolado muerto en pie tiene el valor más bajo de fósforo promediado, siendo este de 13.15; esto concuerda con el tipo de arbolado ya que entre menor sea la cantidad de fósforo, menor calidad de vida existe en la zona y podría llegar a un desbalance de nutrientes en el ciclo.

Cuantificación de nitrógeno:

En la práctica de cuantificación de nitrógeno se observó que los resultados no mostraron coherencia ni consistencia, y a pesar de aplicar la metodología de manera correcta y adecuada, las mediciones de nitrógeno en las muestras de suelo presentaron valores dispares, por lo que el análisis no podría ser llevado a cabo dado la casi nula fiabilidad de las mediciones. Este tipo de situaciones se presentan de manera usual en las prácticas de laboratorio y se considera importante señalar las inconsistencias que se han presentado a lo largo de este estudio para abrir el panorama de investigación hacia metodologías viables y accesibles en el análisis de suelos.

Conclusiones de la sección de laboratorio

La presencia de brotes de escarabajos en los bosques se asocia con el aumento de la humedad en las diferentes estructuras forestales. El arbolado muerto en pie muestra el nivel más alto de humedad, mientras el bosque verde y en transición se mantuvieron estables. Esto también es un indicador de que la presencia del escarabajo ha influido en la dinámica general de la humedad de los bosques, considerando las afectaciones que se han tenido en la vegetación en consecuencia de la deficiencia de transpiración en los árboles.

Si un árbol se encuentra en una etapa avanzada dentro de su ciclo de vida, la materia orgánica también incrementa, en otras palabras, entre más viejo esté el arbolado su nivel de materia orgánica será alto y viceversa. Al compararlo con bibliografía, se concuerda que el incremento de materia orgánica está en relación con el ciclo de vida del árbol ya que los procesos de putrefacción de las raíces propician o aceleran la muerte de los árboles.

En la tabla 6 se observa como los valores de pH tienden a ser ácidos, sin embargo, este parámetro va incrementando respecto al estado del arbolado en la zona; Las zonas de mayor acidez (pH: 4.4 - 5.2) tienden a encontrarse en los sitios de arbolado muerto en pie, las zonas con acidez media (pH: 5.2-5.6) se encuentran en los sitios de arbolado en reforestación y las zonas con un pH neutro (pH: 5.8 - 6.8) están en sitios de arbolado verde con poca reforestación. Con lo anterior se concluye que entre más neutral esté el pH, existe mayor vegetación verde.

Por otro lado, la conductividad eléctrica se comportó inversamente al pH: En las zonas con menor conductividad eléctrica (CE: 17.3 – 30.60) predomina el arbolado verde, en las zonas

con una conductividad eléctrica media (CE: 36.3 – 41.0) se encuentra en sitios de transición o reforestación y las zonas con conductividad eléctrica alta (CE: 46.2 – 80.7) está en sitios de arbolado muerto en pie. Con esta información se concluye que entre mayor salinidad o CE exista, existe menor vegetación verde.

Los resultados teóricos de fósforo en el Patronato del nevado de colima concuerdan con el tipo de arbolado en cada una de las muestras y cobran sentido al separarlos tanto por promedios como por tipo de arbolado. Este mineral da a surgir distintos tipos de procesos geoquímicos y acelera el equilibrio de las condiciones e interacciones en el bosque, al estar ligado a distintos componentes bióticos y abióticos.

	pH	C. Eléctrica	Materia orgánica (g)	% Humedad	Fósforo(mg/L)
Arbolado verde	5.5	32.9	6.6	20.3	19.1
Arbolado en Transición	6.0	45.3	7.5	19.7	41.7
Arbolado Muerto en Pie	4.8	46.2	9.9	22.6	13.1
Áreas previamente Saneadas	5.4	18.9	4.9	6.1	18.9

Tabla 12. Valores máximos en los promedios por parámetro.

Al analizar la tabla 12, se resaltaron los valores máximos en cada parámetro medido; llama la atención el ver que la mayoría de los valores más altos se encuentran en el arbolado muerto en pie, a excepción del pH y el fósforo, los cuales se encuentran en el arbolado en transición. La humedad y la materia orgánica están de la mano al acelerar los procesos de putrefacción y liberar sales orgánicas, generando a su vez un aumento en la conductividad eléctrica. En adición, el arbolado en transición le segunda al arbolado muerto en pie cuando se habla de valores altos. Tomando esta información y correlacionarla con lo registrado en el análisis, se puede concluir que el escarabajo *Dendroctonus adjunctus* ha incitado el exceso de contenido de cada uno de los parámetros geoquímicos analizados, comprobando también que las transiciones del bosque originan de la liberación de materia orgánica en el suelo.

El arbolado verde y las áreas previamente saneadas tienen valores coherentes en cada una de las mediciones realizada, al mantener un balance que se posiciona en un nivel medio de acuerdo con las distintas bibliografías consultadas. La salud del suelo va de la mano con las dinámicas de alta montaña, y entender los ciclos de regeneración natural y asistida es de vital importancia para la conservación de los ecosistemas de alta montaña.

Discusión general de los resultados obtenidos

El objetivo de integrar los cuatro índices espectrales (CIC, NDVI, SAVI y GCI) al análisis de laboratorio llevado a cabo dentro del Nevado de Colima es para detectar 1) los momentos de estrés sufridos por el bosque mesófilo y de altura a través de los años 1989-2022; 2) las políticas ambientales / esfuerzos / planes / actividades que se han llevado a cabo para mejorar la calidad del bosque y en qué momento fueron aplicadas; y 3) la relación que guarda la salud del bosque con el arbolado que hay disponible en la zona de estudio. Por último, se desea enlazar las actividades antropogénicas que han provocado el deterioro del bosque con las repercusiones que conlleva el cambio climático.

Se demostró que los valores más altos de conductividad eléctrica, materia orgánica y porcentaje de humedad en los suelos proviene de las áreas donde se encuentra arbolado muerto en pie, mientras que el contenido de fósforo y el valor de pH son más altos en donde hay arbolado en transición.

Giweta, M., (2020) menciona que la disponibilidad de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno son esenciales para el crecimiento de nueva vegetación, donde la caída de hojas y otro tipo de materia orgánica proveniente de la vegetación en deterioro, también llamada hojarasca, juega un papel fundamental en la disponibilidad de dichos nutrientes, así como también es responsable del ciclo de carbono, teniendo un impacto directo en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ya que durante su proceso de descomposición captura y transfiere el carbono al suelo, lo que a su vez tiene un impacto positivo sobre el cambio climático y el aumento de la temperatura media global.

La hojarasca incrementa la calidad del sustrato ya que logra captar los nutrientes presentes en la biomasa ubicada por encima del suelo y transferirlos a las diferentes capas del sustrato, dejándolos disponibles para que nuevos brotes los aprovechen en su crecimiento, además incrementan la capacidad del suelo para intercambiar cationes, así como su capacidad para retener el agua. (Giweta, M., 2020)

Los sitios que fueron muestreados e identificados como arbolado en transición y arbolado muerto en pie son fracciones del bosque donde se encontraron previas intervenciones del escarabajo descortezador. Durante la dinámica escarabajo-pino (*Pinus hartwegii*), el árbol va cediendo su hojarasca a raíz de que el escarabajo limita la transferencia de nutrientes a través de toda la extensión del área basal del pino y sus ramificaciones, teniendo como consecuencia

la transición de los colores del pino de verde a amarillo-rojizo y permitiendo que se complete el ciclo del carbono, así como el ciclo de nutrientes, fundamentando así los resultados encontrados a través de las pruebas realizadas en laboratorio.

Durante la visita en campo, se observaron extensas áreas de bosque que han sido intervenidas por el escarabajo descortezador. La CONAFOR (2022) informa que en el 2021 hubo 955 hectáreas de bosque afectadas por dichos insectos, autorizando así 50 notificaciones de saneamiento que se enfocan principalmente en los insectos descortezadores. Sin embargo, en un estudio hecho por Jonášová, M., (2007) advierte que actividades de saneamiento, como la tala de salvamiento, tiene impactos negativos en los bosques en comparación con el impacto que puede ocasionar una perturbación natural como la del escarabajo descortezador. Menciona además que, cuando se llevan a cabo prácticas de saneamiento, la madera en estado de descomposición es retirada del sitio, impidiendo que ésta sea aprovechada por las especies endémicas para que puedan surgir nuevas.

Al modificar el dosel arbóreo se alteran a su vez una serie de procesos biológicos que ocurren a nivel del suelo. Por ejemplo, menciona Jonášová, M., (2007), la remoción del dosel forestal implica una mayor penetración de luz solar, por lo que el estrato arbustivo, el estrato herbáceo y el estrato de musgo pueden cambiar su composición química. Jonášová, M., (2007) concluye en su estudio que “las perturbaciones naturales promueven regeneraciones naturales de especies originarias, sin tener fuertes repercusiones o cambios significativos en la estructura de la vegetación”.

Como se observó en la cartografía generada para los años 1993 y 2004, las prácticas intensivas de deforestación llevadas a cabo por la Compañía Industrial Atenquique y las de saneamiento por la CONAFOR, provocaron que hubiese recursos limitados (nutrientes) para el crecimiento de nuevas plántulas tanto de pinos como de otro tipo de vegetación. Se logra observar, de esta forma, que en los años subsecuentes (2007 – 2013) no hubo regeneración significativa dado que la salubridad del bosque estaba fuertemente debilitada, aunado a las prácticas de monocultivos que se comenzaban a dar en la zona, la tala ilegal, el turismo excesivo, así como las consecuencias del cambio climático y otras interacciones que tomaban lugar entre la vegetación y los organismos vivos.

Las consecuencias de las actividades listadas en el párrafo anterior se pueden ver reflejadas incluso en el notable decrecimiento de los hábitats de un gran número de especies. Los

árboles muertos en pie representan “refugios, sitios de anidamiento y de alimentación para una gran variedad de especies”, como indica Navarro, S., *et al.*, (2021) (citado de Monterrubio-Rico y Escalante-Pliego, 2006). La sustracción de arbolado muerto en pie fue una de las causas principales que ocasionó la extinción del carpintero imperial; esta ave solía alimentarse de larvas de escarabajos que estaban presentes en dicho tipo de arbolado.

La biodiversidad de arbolado es primordial dentro el ciclo de descomposición de la hojarasca ya que, en contraste con los monocultivos, la biodiversidad arbórea permite que exista una amplia riqueza de especies microbianas que facilitan y aceleran la descomposición de la hojarasca, posibilitando la pronta disponibilidad de nutrientes en el sustrato (Giweta, M., 2020). Por esta razón, los esfuerzos por frenar la tala de oyamel, principalmente, se han visto triplicados, incluyendo incluso a esta especie dentro de las que se encuentran en peligro de extinción en el año 2019, tal como se mencionó en la sección *1.3 Identificación de las problemáticas*. Asimismo, se puede asociar este amparo al oyamel como parte de las acciones positivas que han favorecido la recuperación del bosque que fue observado en la cartografía del mismo año.

A pesar de la labor que han realizado en el Parque Nacional Volcán Nevado de Colima para mantener los recursos forestales dentro del área protegida, la variable que ha sido significativa en todo el mundo es el cambio climático. Específicamente, dentro del área de estudio, se ha observado un aumento promedio de 1 °C en los últimos 7 años, según reportó Quiles, A., (2021), lo cuál es un cambio significativo. Este aumento de temperatura tiene consecuencias graves dentro de la dinámica del bosque. En primera instancia, genera un estado de estrés a la población de pinos de altura, ya que están adaptados evolutivamente para resistir bajas temperaturas, de esta forma debilitándolos y convirtiéndolos en especies menos resilientes a agentes externos, como lo es el escarabajo descortezador. Y, en segundo lugar, el aumento de temperatura permite que el escarabajo descortezador sobreviva a mayores altitudes y por tiempos más prolongados, aumentando a su vez su población.

El cambio climático también ha traído consigo períodos de sequía que han impactado en el Nevado de Colima limitando la precipitación a 1,200 mm en el 2020, 500 mm menos de lo que llovió en el 2013 (Quiles, A., 2021). De esta forma, dentro de las estrategias que ha implementado el Patronato del Nevado de Colima dentro del área de estudio es la reproducción y sembradío de especies de pino endémicas de la región con semillas

provenientes de árboles vigorosos para que se rescaten las cualidades de resiliencia y fortaleza que éstos presentan, de forma que puedan hacer frente a la crisis climática que se ha estado viviendo durante las últimas décadas. (Patronato del Nevado de Colima y Cuencas Adyacentes, 2023)

La importancia de respetar la dinámica del bosque reside en los beneficios ambientales que se obtienen. Como se ha señalado en secciones anteriores, los impactos sociales que se tienen ante una gestión adecuada del Patronato del Nevado de Colima se representan a tres niveles: micro, meso y macro. Se ha impulsado que el bosque sea observado desde una perspectiva de patronato ambiental, más que como un recurso económico, de tal forma que los principales beneficiados sean las comunidades que residen en las faldas del volcán y gozan de los beneficios que el bosque les otorga, como la purificación del aire y del agua, siguiendo con aquellos que desarrollan actividades económicas sustentables y, por último, el aporte que se hace al capturar el dióxido de carbono de la atmósfera, teniendo una repercusión significativa a nivel mundial dado que los bosques logran atenuar el cambio climático en gran medida.

Conclusión general

El Nevado de Colima constituye una de las 37 áreas naturales protegidas dentro del estado de Jalisco la cuál ha sufrido las consecuencias de cinco décadas de tala intensiva, erupciones volcánicas, cambios de administraciones, incendios forestales, cambios de uso de suelo, turismo, cambio climático e implementación de políticas ambientales para su protección en las últimas dos décadas.

La metodología implementada en este estudio dio a conocer satisfactoriamente los hitos que han tomado lugar en el Nevado de Colima, permitiendo revelar las causas detrás de los impactos más significativos detectados a través de una serie de cartografías que relatan la historia del Nevado de Colima a través de los últimos 33 años.

Las muestras de laboratorio proporcionaron información valiosa sobre la calidad actual del suelo del Nevado de Colima, encontrando resultados congruentes con los reportados en la literatura, donde las variables de pH y fósforo tuvieron los valores más altos en el arbolado en transición. La conductividad eléctrica, la materia orgánica y el porcentaje de humedad fue más alto en donde se encontró arbolado muerto en pie. El arbolado verde y los sitios donde hubo reforestación presentaron los niveles más bajos.

Se demostró que la dinámica escarabajo descortezador – *Pinus hartwegii* es valiosa ya que aporta hojarasca al suelo y permite incorporar los nutrientes necesarios para el crecimiento de nuevas plántulas. Además, es fundamental respetar la dinámica del bosque renunciando a las prácticas de saneamiento convencionales donde se retira el arbolado que fue atacado por el escarabajo descortezador dado que también representan un hogar para otro tipo de fauna. Por último, el cambio climático es un fenómeno que ha repercutido en la salud de los ecosistemas a nivel global, por lo que entre las estrategias que se han llevado a cabo para aumentar la resiliencia del bosque ha sido la reforestación con semillas endémicas del sitio. Se busca que estas estrategias sean beneficiosas en los tres niveles de impacto social. Para futuras investigaciones se recomienda indagar qué otras casusas, a parte de las antropogénicas, pueden afectar la cantidad y calidad de la hojarasca disponible dentro del Nevado de Colima para los procesos de descomposición y disponibilidad de nutrientes. Asimismo, sería valioso hacer un estudio donde se modelen distintos escenarios para el Nevado de Colima considerando variables como el cambio climático y sus afectaciones.

1.7. Bibliografía y otros recursos

CCH Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades. (2017). Dinámica del ecosistema. Portal Académica. Recuperado de: <https://el.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia2/unidad2/ciclosBiogeomicos/dinamicadelecosistema#:~:text=Se%20refiere%20a%20la%20transformaci%C3%B3n,org%C3%A1nica%20como%20hongos%20y%20bacterias.>

CONAFOR. (2022). Programa Operativo Estatal de Sanidad Forestal para el Estado de Jalisco, 2022. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/02%20Informes%20de%20acciones%20operativas/DiagnosticosEstatales/2022/Jalisco.pdf>

Del Castillo, A. (2020). Nevado de Colima: salvar un bosque con la ayuda de las comunidades. Verde Bandera. Recuperado de: <https://verdebandera.mx/nevado-de-colima-salvar-un-bosque-con-la-ayuda-de-las-comunidades/>

- Diego Alonso. (2023). Los 6 índices de vegetación para completar el NDVI. Mapping GIS. Recuperado de: <https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/>
- Escamilla, H. (2019). Incendio en el Nevado de Colima devasta 11 mil hectáreas. Publimetro. Recuperado de: <https://www.publimetro.com.mx/mx/jalisco/2019/05/12/incendio-en-el-nevado-de-colima-devasta-11-mil-hectareas.html>
- ESRI ArcGIS Pro. (s.f.). Raster Bands. Recuperado de <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/imagery/raster-bands-pro-.htm>
- Gallardo-Salazar, J, Lindig-Cisneros, R., Lopez-Toleo, L., Endara-Agramont, A., Blanco-García, A., Sáenz-Romero, C. (2023). Analysis of the Vigor of *Pinus hartwegii* Lindl. Along an Altitudinal Gradient Using UAV Multispectral Images: Evidence of Forest Decline Possibly Associated with Climatic Change. *Forests* 2023, 14, 1176. <https://doi.org/10.3390/f14061176>
- GIS and Earth Observation University (2019). SAVI and NDVI Spectral Index comparison. <https://www.geo.university/pages/savi-and-ndvi-spectral-index-comparison>
- GISGeography. (2023). Landsat 8 Bands and Band Combinations. GISGeography. Recuperado de <https://gisgeography.com/landsat-8-bands-combinations/>
- Giweta, M. (2020). Role of litter production an its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. *Journal of Ecology and Environment*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/s41610-020-0151-2>
- Jiménez, E. (2005). Insectos descortezadores de pino y sus principales depredadores naturales. Universidad Nacional Agraria. Recuperado de: <https://cepanaf.edomex.gob.mx/sites/cepanaf.edomex.gob.mx/files/files/Monte%20Alto/Articulos%20Cientificos/Insectos%20descortezadores%20del%20pino%20y%20depredadores.pdf>
- Jonášová, M., Matejková, I. (2007). Natural regeneration and vegetation changes in wet spruce forests after natural and artificial disturbances. *Canadian Journal of Forest Research*. 37(10): 1907-1914. <https://doi.org/10.1139/X07-062>

- Komorowski, J., Navarro, C. (1997). The Colima Volcanic Complex Traducción. Universidad de Colima. Recuperado de: <https://portal.ucol.mx/cueiv/Volcan-colima.htm>
- Lucio, C., (2015). Mezcales y diversidad biocultural en los alrededores del Volcán de Colima. El caso de los productores tradicionales de Zapotitlán de Vadillo. EntreDiversidades. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades, (5),13-43. ISSN: 2007-7602. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455947927002>
- Macías, A, Sevilla, Y. (2007). Naturaleza vulnerada. Cuatro décadas de agricultura industrializada de frutas y hortalizas en el Sur de Jalisco, México (1980 – 2020). Revista de ciencias sociales y humanidades. Recuperado de: <http://www.entrediversidades.unach.mx/index.php/entrediversidades/article/view/235>
- Measuring Vegetation (NDVI & EVI). (2000). NASA Earth Observatory. Recuperado de https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php
- Michel, G., Montañez, O., Martínez, J., Orendain, T., Cerón, M. (2019). Desarrollo de Capacidades Adaptativas al Cambio Climático en Comunidades Urbanas y Rurales del Sur de Jalisco, México. II CTV 2019 Proceedings: XIII International Conference on Virtual City and Territory: “Challenges and paradigms of the contemporary city”: UPC, Barcelona, October 2-4, 2019. Barcelona: CPSV, 2019, p. 8495. E-ISSN 2604-6512. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/185528>
- ONU. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Cumbre sobre la ODS. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ortega, A., Pinkus, J., Espitia, I. (2015). Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México. Recuperado de: <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1126/1/PUB-CAPITULOS-LIBROS-977.PDF>

Patronato del Nevado de Colima. (2023). Parque Nacional Volcán Nevado de Colima. Recuperado de: <http://www.nevadodecolima.mx/biodiversidad.html>

Patronato del Nevado de Colima y Cuencas Adyacentes. (2023). Biodiversidad y servicios ambientales. Recuperado de: <https://www.nevadodecolima.mx/biodiversidad.html#:~:text=El%20bosque%20de%20oyamel%20del%20nevado%20%28Abies%20religiosa,entre%20los%202900%20y%203500%20m%20de%20altitud>

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. 2022. Día internacional de las montañas. Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/profepa/articulos/dia-internacional-de-las-montanas-318867?idiom=es#:~:text=En%20la%20actualidad%20existen%207,del%2023%25%20del%20territorio%20mexicano.>

Quiles, A. (2021). El Cambio Climático ha afectado la ecología del Parque Nevado de Colima. Colimanoticias. Recuperado de: <https://www.colimanoticias.com/el-cambio-climatico-ha-afectado-la-ecologia-del-parque-nevado-de-colima/>

Villalobos, F., Gómez, J. 2020. Montañas: cómo se definen y su importancia para la biodiversidad y la humanidad. Ciencia Ergo-Sum. Recuperado de: <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/10623/10943>

Rawal, R. S., & Pangtey, Y. P. S. (1994). Distribution and Structural-Functional Attributes of Trees in the High Altitude Zone of Central Himalaya, India. *Vegetatio*, 112(1), 29–34. <http://www.jstor.org/stable/20046419>

Navarro, S., Sánchez, L., Guevara, E. (2021). Árboles muertos en pie y su importancia para la avifauna del Nevado de Colima: estrategias de manejo. Recuperado de: <https://iefectividad.conanp.gob.mx/iefectividad/OyPC/PN%20Nevado%20de%20Colima/COMPONENTE%20DE%20MANEJO/ESPECIES%20END%20C3%89MICAS/Biodiversidad%20y%20valor%20de%20Arboles%20Muertos%20en%20pie.pdf>

Universidad de Jaen. (2017). Materia Organica. 26-12-2017, de Universidad de Jaen Sitio web: http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/materia_organica.htm

JISA. (2016). Materia orgánica y sustancias húmicas. 26/12/2017, de JISA S.A. Sitio web: <http://www.acidoshumicos.com/blog/materia-organica-y-sustancias-humi>

¿Cómo interpretar el resultado de ph del suelo? (s. f.). Recuperado 26 de septiembre de 2023, de ProainShop website: <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/como-interpretar-el-resultado-de-ph-del-suelo>

Castellanos, J.Z. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2a Ed. Intagri. Celaya, Gto. México. 186 p.

Juan Luis Mora Rosas¹ , María Alcalá De Jesús² y María Salud Rosas Murillo³
1 Laboratorio de Edafología UMSNH, 2 Laboratorio de Edafología Martha Bustos Zagal, 3 Laboratorio de Docencia X2

Florián, A. (2020, mayo 13). Conductividad Eléctrica en las enmiendas orgánicas (Compost): Importancia, efecto y recomendaciones. Recuperado 24 de octubre de 2023, de FOSAC website: <https://www.fosacperu.com/conductividad-electrica-en-las-enmiendas-organicas-compost-importancia-efecto-y-recomendaciones/>

1.8. Anexos generales

Anexo 1. Fotos de los sitios de recolección de muestras

En la tabla 1 se muestra la descripción general del sitio donde fueron tomadas las muestras compuestas. Asimismo, se muestran algunas fotos pertenecientes a cada uno de los sitios de muestreo en caso de malfuncionamiento del hipervínculo mencionado.

Tabla Anexo 1. Fotos de los sitios de recolección de muestras

Puntos de Muestreo - Nevado Colima				
Punto	Descripción del Sitio	Coordenadas	Altitud (msnm)	Fotos (hipervínculo)
1	Sitios con árboles verdes y árbol muerto en pie. No es reforestación reciente. Ejemplares más viejos.	N 19° 34' .1347" O 103° 37' .7660"	3,570	Punto 1

	<p>Pastizal abundante. Punto tomado en camino ancho. 100 a 200 m abajo abunda <i>Oyamel</i> y humedad.</p> <p>Misma pendiente, pero dirección arriba empieza a haber más presencia de <i>hwartegii</i> y escarabajo descortezador. Cañada hacia abajo oeste, hacia arriba este.</p>			
2	<p>Bosque en transición, abunda más arbolado muerto en pie. Se observa renuevo (especies juveniles). Pendiente bajada oeste, pendiente subida este</p>	<p>N 19° 34' .1769" O 103° 37' .7430"</p>	3,580	Punto 2
3	<p>Alta pendiente sobre el muestreo. Domina arbolado muerto en pie. Pendiente bajada noroeste, Pendiente subida sureste.</p>	<p>N 19° 34' .2166" O 103° 37' .7152"</p>	3,594	Punto 3
4	<p>Predomina arbolado verde con arbolado muerto en pie a los alrededores. Sin pendiente</p>	<p>N 19° 34' .2407" O 103° 37' .6948"</p>	3,597	Punto 4
5	<p>Bosque en transición mezclado con bosque verde. Sin pendiente.</p>	<p>N 19° 34' .2661" O 103° 37' .7480"</p>	3,602	Punto 5
6	<p>Área con árboles grandes verdes, poco árbol muerto en pie. El sitio cuenta con renuevo y reforestación. Pendiente arriba hay arboles muertos en pie.</p>	<p>N 19° 34' .7430" O 103° 37' .4320"</p>	3,682	Punto 6
7	<p>Predominante muerto en pie muy grandes, se puede decir que eran semilleros (fuertes productores de semilla) Bajada sur-suroeste. Subida noroeste</p>	<p>N 19° 34' .8643" O 103° 37' .2874"</p>	3,725	Punto 7
8	<p>Bosque verde con porciones en transición. Pendiente arriba en dirección Noroeste-norte. Mucha reforestación y más arriba árbol muerto en pie.</p>	<p>N 19° 34' .9762" O 103° 37' .0650"</p>	3,742	Punto 8

9	Última parte de la transición muy marcada hacia bosque con arbolado muerto en pie. Pendiente arriba Suroeste. Arbolado muerto en transición está en la pendiente.	N 19° 34' .8848" O 103° 36' .7045"	3,735	Punto 9
10 y 11	Pendiente inmediata. Tiene presencia de bosque en transición muerto en pie, dirección oeste. Comparar sitios.	N 19° 34' .6233" O 103° 36' .7045"	3,685	Punto 10 y 11
12	Arbolado muerto en pie viejo, abundante reforestación y repuesta del bosque	N 19° 35' .2650" O 103° 35' .4044"	3,320	Punto 12
13	Arbolado verde natural, reforestación en abundancia con muerto viejo en pie.	N 19° 35' .2761" O 103° 35' .4115"	3,335	Punto 13
14	Bosque verde con reforestación.	N 19° 35' .3099" O 103° 35' .4317"	3,325	Punto 14
15	Presencia de arbolado verde, arbolado muerto en pie y Oyamel	N 19° 35' .3390" O 103° 35' .5292"	3,350	Punto 15
16	Arbolado verde Reforestación abundante.	N 19° 33' .8871" O 103° 37' .0105"	3,975	Punto 16
17	Arbolado muerto en pie. Mismo sitio que punto 16	N 19° 33' .8871" O 103° 37' .0105"	4,000	Punto 17
18	Arbolado reforestado más maduro. Abundante acícula cubriendo el suelo.	N 19° 33' .8871" O 103° 37' .0105"	4,000	Punto 18
Punto Ruta Antenas	Pendiente abajo suroeste - oeste Pendiente arriba este - noreste Arbolado muerto en pie. Alta densidad	N 19° 34' .4411" O 103° 37' .2061"	3,848	No hay registro
Punto Ruta Antenas 2	Pendiente hacia arriba con árbol vivo. Noreste - norte	N 19° 34' .8415" O 103° 36' .9770"	3800	No hay registro
19	Zona CODE, hay reforestación, pero no muertos en pie	N 19° 35' 3486" O 103° 35' 7282"	3387	No hay registro
20	Zona CODE, reforestación con muertes en pie	N 19° 35' 3435" O 103° 35' 7747"	3380	No hay registro

Punto 1



Punto 2



Punto 3



Punto 4



Punto 5



Punto 6



Punto 7



Punto 8



Punto 9



Punto 10



Punto 11



Punto 12



Punto 13



Punto 14



Punto 15



Punto 16



Punto 17



Punto 18



Anexo 2. Fotos de las pruebas de suelo hechas en laboratorio

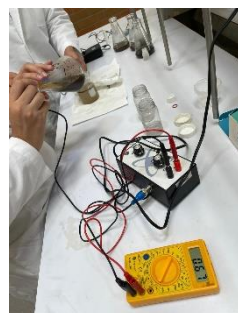
Contenido de humedad



Determinación de materia orgánica



pH y conductividad



Fósforo total



2. Productos

A continuación, se enlistan en fichas los productos entregables del PAP de acuerdo con el plan de trabajo establecido previamente.

Tabla 13. *Productos de Laboratorio.*

Producto 1: Reportes de Laboratorio	
Nombre y código del PAP	4F04 – Mejoramiento de la Calidad, Productividad y Logística en la Industria Regional
Nombre del proyecto	Impacto de las actividades humanas y el cambio climático en el Parque Nacional Nevado de Colima: un estudio sobre la interrupción de su dinámica ecológica
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	<p>Con el fin de determinar los cambios en las concentraciones de distintos componentes geoquímicos del primer horizonte orgánico del suelo (contenido de humedad, contenido de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y fósforo) se llevaron a cabo distintas pruebas de laboratorio que permitieron cuantificar dichos componentes. Estos cambios en concentraciones se refieren a una comparativa entre distintos niveles de sucesión ecológica encontrado en los gradientes altitudinales superiores del bosque de altura del Complejo Volcánico de Colima. Los niveles de sucesión ecológica donde se cuantificaron estos componentes fueron bosque verde, bosque en transición y bosque con arbolado muerto en pie. Esta información es valiosa para el manejo del Parque Nacional y se alinea con el actual programa de manejo del parque, donde se entiende a la sucesión ecológica derivada de la dinámica pino-escarabajo como una interacción clave para la salud del bosque y del ecosistema de altura. Dicho trabajo de laboratorio abonará entonces al programa de investigación y conservación del bosque de <i>pinus hartwegii</i>; buscando demostrar que la resiliencia del bosque, la salud del suelo y la biodiversidad que este alberga depende de la permanencia de la biomasa en su sitio de origen.</p>
Autores:	Tania Colmenares García Vanessa Woolfolk Aragón Miguel López Minakta David Eduardo Vélez Sánchez

Los reportes mencionados en la tabla 13 se encuentran adjuntos a este archivo, los cuales llevan por título los siguientes:

- Reporte de contenido de humedad.
- Reporte de contenido de materia orgánica.
- Reporte de pH y conductividad.
- Reporte de fósforo

Tabla 14. *Productos de mapas.*

Producto 2: Geoprocesamiento de imágenes satelitales	
Nombre y código del PAP	4F04 – Mejoramiento de la Calidad, Productividad y Logística en la Industria Regional
Nombre del proyecto	Impacto de las actividades humanas y el cambio climático en el Parque Nacional Nevado de Colima: un estudio sobre la interrupción de su dinámica ecológica
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	<p>Con el fin de analizar el cambio de vegetación en el área de estudio, se realizaron los siguientes índices mostrados en mapas digitales, a partir del geoprocesamiento de imágenes satelitales de un recuento histórico a partir del año 1989 hasta 2022 para identificar las áreas afectadas dentro del Parque Nacional Nevado de Colima por la interrupción en su dinamismo ecológico.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Índice de Vegetación de Diferencia de Normalizada (NDVI) - Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) - Índice de Clorofila Verde (GCI) - Compuesto de Infrarrojo Cercano (CIC) <p>Esta información es valiosa para el manejo del Parque Nacional y se alinea con el actual programa de manejo del parque, donde se entiende a la sucesión ecológica derivada de la dinámica pino-escarabajo como una interacción clave para la salud del bosque y del ecosistema de altura. Dichos mapas abonarán al programa de investigación y conservación del bosque de <i>pinus hartwegii</i>; buscando demostrar que la resiliencia del bosque, la salud del suelo y la biodiversidad que este alberga depende de la permanencia de la biomasa en su sitio de origen.</p>
Autores:	Tania Colmenares García Vanessa Woolfolk Aragón Miguel López Minakta David Eduardo Vélez Sánchez

Los reportes mencionados en la tabla 14 se encuentran adjuntos a este archivo, los cuales llevan por título los siguientes:

- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
- Índice de Vegetación Ajustado al Suelo
- Índice de Clorofila Verde
- Compuesto de Infrarrojo Cercano

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

Tania Colmenares García:

La experiencia que me brindó este PAP me permitió visualizar el panorama completo de la complejidad de los bosques, principalmente el del Nevado de Colima. Al inicio, no sabía muy bien como se debía ligar lo que nosotros estábamos investigando con el enfoque social que tanto se nos pedía identificar. Sin embargo, con ayuda de la doctora Melissa, me fue posible adentrarme, de forma teórica, dentro de las realidades que viven las comunidades que residen en las faldas del Nevado, quienes se benefician principalmente de los servicios ambientales que el parque otorga.

A inicios de semestre, cuando fuimos a campo, yo iba con la disposición de aprender bastante sobre el ecosistema, dado que nunca había ido. Los temas que se hablaron durante la visita en campo fueron variados, desde las actividades que han hecho las instancias de gobierno dentro del parque, como el saneamiento, así como lo degradado que alguna vez estuvo y cómo se ha visto el aumento de monocultivos en las faldas del área natural protegida.

Cuando se llega al área de estudio, son notorios los monocultivos que llevan algunos años produciéndose en la zona, desde berries y aguacates, hasta agave y otro tipo de producción. Es impresionante ver la cantidad de sembradíos que hay en la zona y a la vez un poco injusto saber que actividades que apenas mantienen a familias enteras, también pueden ser muy perjudiciales ambientalmente hablando.

A raíz de esta visita y con la literatura que se fue consultando, me di cuenta de que hay diferentes realidades que se están viviendo por parte de las comunidades que se aprovechan económicamente de los suelos del Nevado de Colima; por una parte, están aquellos que no se limitan a hacer sus prácticas de cultivo convencionales, pero, por el otro lado, existen aquellas comunidades que trabajan de la mano con organizaciones civiles y gubernamentales que precisamente buscan desarrollar actividades agroecológicas en la zona, lo cual se me

hizo una estrategia excelente para que las familias puedan seguir produciendo ganancia sin afectar de forma significativa la calidad del bosque.

Miguel López Minakata:

No hubo contacto directo con personas en el plano físico, social y cultural durante el proceso del PAP. Sin embargo, tuvimos que buscar bibliografía para dichos planos. Pude concluir que todavía se ve a la naturaleza como un recurso que estará ahí para siempre. Donde se le quieren extraer recursos, mayormente madera y agua y que, además, usar el suelo para monocultivos ya sea de berries, agave, aguacate y hortalizas. Aunque, también en la bibliografía, pude ver que hay prácticas en el que se respeta el bosque, sobre todo en las prácticas para el agave mezcalero, pero por la alta demanda del tequila y del mezcal, esto ha llevado a producir sin frenos y en cantidades enormes, afectando el ecosistema.

Lo que despertó en mí, es que hay poblaciones indígenas desde tiempos mesopotámicos en donde han hecho prácticas agroecológicas que han respetado el equilibrio dinámico del bosque. Pero con el crecimiento acelerado poblacional, ha requerido, como mencioné anteriormente, el uso de tecnologías eficientes en la producción, pero dañando el ecosistema. Aunque, por lo que veo, es que se está volviendo a retomar ciertas prácticas agroecológicas para no perder los servicios ambientales que brinda el bosque.

Por lo que siento y creo, lo mejor que se necesita es mejor información a la gente de lo que está pasando y como sus acciones puede afectar a largo plazo el dinamismo ecológico del bosque. Porque, por ahorita, los monocultivos son los que más predominan que las actividades agroecológicas por falta de información sobre el bosque que la actividad de los monocultivos sigue sin regularizarse.

Habrán momentos en el que será difícil poder evidenciar directamente alguna parte de un proyecto que esté haciendo. Por ejemplo, en este PAP, fue difícil involucrarnos con las personas que están en las faldas del parque. Entonces tuvimos que juntarnos y empezar a buscar bibliografía del bosque. Esto mismo puede suceder en el ámbito laboral, que no se va a poder salir a campo en ciertas ocasiones, por lo que se necesitará de la bibliografía para poder ver qué resultados o qué tipo de evidencia se tiene pensado usar. En caso de que los resultados sean ambiguos, yo creo que es ahí donde ya es necesario realizar una salida de campo. Pude observar que las prácticas sostenibles no tienen mucho interés por ahorita, y se

realizarán acciones como los monocultivos, que se produce mucho en poco tiempo, sin pensar en las consecuencias más adelante. Sin embargo, siento que habrá dos salidas en esto, ya sea por la proactividad o la reactividad. En la proactividad siento que se podrán implementar prácticas sostenibles para poder mantener y cuidar el bosque, aunque requiere de varias partes interesadas y cooperación. Luego está la reactividad, en donde se perderá el valor ambiental y la homeostasis del bosque, en el que no se tenga tiempo para la proactividad y lo que queda es reaccionar al problema e implementar intervenciones que no se llega a la raíz del problema. Es difícil predecir el futuro, pero para mí, lo mejor es que la naturaleza y el equilibrio dinámico del bosque se conserve para futuras generaciones.

David Eduardo Vélez Sánchez:

Durante el desarrollo del Proyecto PAP, pude identificar las problemáticas sociales y éticas a la que nos enfrentamos en el giro de nuestra carrera. No tuvimos contacto directo o alguna involucración con personas del Parque Nacional Nevado de Colima, sin embargo, a partir de nuestra investigación, búsqueda de datos y mismas experiencias del profesor encargado del PAP, nos dimos cuenta de que los temas con el cuidado y manejo de Áreas Naturales en México es complicado, ya que seguimos en la cultura de ver a los recursos naturales o naturaleza en sí como “objeto” y no como “sujeto”, es decir, se gestionan como un almacén de recursos que siempre estarán disponibles para los humanos.

Esta problemática se frecuente mucho a lo largo de la carrera, ya que estos temas son complicados de tocar o en su caso, poder generar un cambio, sin embargo, es por esto mismo que el llamado a nuestra ética profesional debe de estar claro. No estamos dentro del pesimismo de que nada se puede cambiar, sino todo lo contrario, estamos en la búsqueda frecuente de mejorar y poder generar cambios dentro de nuestra sociedad para mejorar la situación actual con el medio ambiente y los recursos naturales de nuestro planeta. Personalmente, tengo la motivación de aprender nuevas experiencias respecto al manejo y cuidado del medio ambiente para poder ir integrándolo a mi vida personal.

Conforme fue el paso del tiempo dentro del proyecto, me fui preparando de mejorar manera para asimilar los retos a los que constantemente me estaré enfrentando en la vida fuera de la universidad, por lo que, en este aspecto, abonó a mi madurez para un perfil de egresado listo para desafíos éticos.

Vanessa Woolfolk Aragón:

La presente investigación del Nevado de Colima no implicó un posicionamiento personal dentro de la realidad experimentada en el proyecto como tal. En otras palabras, el acercamiento en conjunto tuvo un punto de vista más acercado a la dinámica ecológica del bosque y no en las interacciones socioculturales que se pudieran analizar. Dicho esto, se mantuvo un registro de la bibliografía consultada en la recopilación de datos para la comprensión objetiva de los fenómenos que se presentan en la naturaleza o en este caso en el bosque de montaña, esto para lograr el desarrollo de un análisis de impacto social donde se buscó relacionar la importancia del equilibrio ecológico y el desarrollo de las comunidades humanas.

Lo que sí se pudo rescatar respecto al aspecto social de la problemática es que existe mucha desinformación acerca de los procesos que se llevan a cabo en la naturaleza y lo que es visto como “bueno” o “malo” por las comunidades cercanas a sitios como lo son las Áreas Naturales Protegidas. Como estudiante próxima a profesionista, se espera que se presenten este tipo de situaciones en donde a la gente realmente no le interesa aprender ni ejercer prácticas sustentables u optan creer y retener la información que los partidos políticos difunden acerca de las cuestiones ambientales en un proyecto o una zona determinada, por tanto, tome este contexto social como impulso para realmente generar un cambio significativo acerca de la información que se le presenta al público, especialmente de la manera en la que se pueda comprender hacia diversos sectores de México.

Por el lado de mis creencias y razonamiento, siento que este proyecto en específico tiene el potencial suficiente para generar un cambio completamente significativo si se le atribuye el tiempo adecuado con los recursos necesarios y, mientras un objetivo importante de este PAP es la divulgación de la información hacia las comunidades y la ciencia, considero que al presentar este tipo de investigaciones hacia personas y organizaciones de poder mayor, las actividades antropogénicas en el sitio podrían disminuir en gran dimensión.

Al hablar de actividades antropogénicas y el equilibrio del medio ambiente, a lo largo de mi formación profesional se ha recalcado el hecho de que la sociedad y el medio ambiente siempre entran en un debate ético y moral, donde se llegan a presentar inclinaciones en estos factores de acuerdo a la situación en contexto; existen ciertas situaciones donde gana el ser

humano o viceversa, sin llegar a un equilibrio entre el hombre y la naturaleza y llegando a cuestionar: ¿Cuáles son nuestras prioridades? ¿Realmente que tanto podemos hacer para ayudar? El escenario del Nevado de Colima me ha enseñado exactamente eso, siendo que no podemos salvar concretamente al bosque de altura y existen situaciones que quedan fuera de nuestras manos; Lo que sí podemos hacer es divulgar la información en un nivel alto, donde el poder pase de las personas.

3.2 Aprendizajes logrados

Tania Colmenares García:

Durante el desarrollo del proyecto tuve la oportunidad de reafirmar que el trabajo en laboratorio no es mi área de especialidad, ya que el tiempo que pasábamos dentro no era de mi agrado. Sin embargo, cuando me dediqué a desarrollar el índice espectral de clorofila verde me sentí totalmente en mi zona. Aunque definitivamente hubo momentos de incertidumbre donde tuve que acudir a videotutoriales, información en internet y profesores de la materia, considero que mis habilidades en sistemas de información geográfica se desarrollaron ampliamente. Además, disfruté sobremanera recopilar la información del recuento de lo que fue sucediendo a lo largo de los 33 años de estudio en el Nevado de Colima. También, me di cuenta de que mi área de interés, además de SIG, son las salidas de campo. Cuando fuimos al Nevado de Colima me pude dar cuenta de la condición física que tenía y, además, de lo mucho que disfruto estar en la naturaleza. Por último, la presentación final que tuvimos fue bastante enriquecedora y satisfactoria ya que logramos compartir nuestros descubrimientos principales y me di cuenta de que mis habilidades de oratoria están desarrollándose cada vez más.

Miguel López Minakata:

En la elaboración del PAP tuve que desarrollar competencias disciplinares, sociales y universitarias. Para las competencias disciplinares, tuve que conseguir un cuaderno en el que escribía lo que íbamos haciendo en el PAP y cuándo serían las futuras entregas, para poder ser organizado con mis entregas. Además, nos mandaban el itinerario de la semana en

whatsapp y los anotaba en el cuaderno para no perderlo de vista, al igual que tener abierto el calendario en canvas.iteso.mx para poder ver cómo está distribuido la entrega de tareas en el PAP y ver si no me hizo falta algo en mi cuaderno. Para la parte social, no fue mucho desarrollo ya que nuestro estudio se enfocaba en el dinamismo del bosque. Sin embargo, en la salida de campo, nos encontramos con personas en el que estaban interesados en el tema y ahí tuvimos que hablarles de una manera coloquial para que nos pudieran entender, ya que en el mundo de la academia se utilizan varios tecnicismos que sería un poco difícil que otras personas no nos puedan entender.

La competencia universitaria fue el que más desarrollé porque, como equipo, tuvimos que contactar a varios maestros para hacer diferentes tipos de cosas. Para la disponibilidad de laboratorio, tuvimos que agendarlo con Gerardo y ponernos de acuerdo con él sobre qué días podemos ir. Además, Gerardo nos asesoraba de vez en cuando sobre dudas que teníamos al respecto sobre lo que estábamos viendo/analizando. Un ejemplo claro, fue cuando quisimos analizar fosfatos y la primera muestra que quisimos analizar en vez de salir azul (como se esperaba) salía amarillo y ahí tuvimos que consultar con varios profesores en PTI para ver lo que estaba pasando, lo cual fue una experiencia interesante porque veías a muchos profesores discutiendo sobre lo que estaba sucediendo. Con Richard fue para pedirle instrumentos de laboratorio mientras estábamos en los laboratorios. También, gracias a este PAP pude moverme mejor en laboratorio, conocer los nombres de ciertos instrumentos, los métodos que usamos, lo cual estoy muy agradecido porque fue un PAP de bata y bota. Para la creación de nuestros mapas y sobre los índices que hicimos, consultamos a Edgar Alan y a Hugo de Alba, en donde nos ayudaron a como plasmar mejor las muestras recolectadas y los índices, donde nos juntábamos con los profes ya sea en teams, por mensaje en teams, o en persona.

El reto se sintió tres veces, cuando fuimos al nevado, en el laboratorio y cuando empezamos a elaborar los mapas. En la ida de campo, teníamos que tomar 20 muestras a diferentes elevaciones donde en ciertos lugares era cansado ya que a partir de cierta altura me canso más rápido. Sin embargo, por la emoción de poder estar en campo y que lo que vamos a recolectar será para un análisis de laboratorio, me emocionó y a pesar de estar cansado, hacía todo lo posible de recolectar las muestras esenciales para su análisis. El laboratorio fue un reto porque como ya no teníamos un profesor que nos asesorara, teníamos que aprender a usar ciertas cosas o investigar métodos para el análisis de suelos ácido. La elaboración de los

mapas fue un reto ya que el índice que me tocó elaborar fue el índice de vegetación verde (GVI, por sus siglas en inglés) donde ese índice tiene muy poca bibliografía para saber qué fórmula usar. Tuve que investigar varias fuentes para saber cuál era la correcta, empecé a platicar con mis profesores (Hugo y Edgar) sobre el índice que me tocó, y ellos tampoco habían escuchado sobre dicho índice. Aunque, gracias a ellos pude entender mejor sobre las bandas satelitales. Al final, tuve que platicar con mi equipo para ver qué pensaban sobre hacer una composición ráster del infrarrojo cercano para poder relacionarlo a los demás índices. Tenía pensado que el compuesto infrarrojo sea una introducción para presentar los índices que sí funcionaron y les gustó la idea. Me hubiera gustado sí utilizar el índice que me tocó al inicio, pero siento que esta nueva adaptación se cumple con los requisitos de análisis. Por último, el trabajo en equipo es cansado porque como varias personas tienen diferentes horarios, ponernos de acuerdo para los laboratorios, juntarnos para trabajar en el RPAP y los mapas. Sin embargo, gracias a los horarios PAP de 4 horas pudimos aprovecharlos para hacer nuestras actividades. Aunque gracias a eso pude aprender a comunicarme eficientemente para organizarnos.

David Eduardo Vélez Sánchez:

Durante el proyecto de aplicación profesional (PAP) desarrolle constantemente tres competencias: disciplinarias, sociales y universitarias. Las competencias disciplinarias fueron enfocadas a la responsabilidad y organización, ya que el proyecto involucró el constante trabajo en equipo para realizar los productos mencionados anteriormente. Desarrolle la capacidad de organizar y adaptar mi semana con respecto a las entregas que teníamos, además de ir trabajando semana con semana en los productos finales. Cabe resaltar que no siempre fue fácil ponernos de acuerdo, o inclusive destinar tiempo extra para la elaboración de estos, sin embargo, adapte mi manera de trabajar para que diera frutos el esfuerzo. La disciplina también la noté en mi horario personal, donde levantarme temprano ya era una necesidad, dejé de lado la pereza o flojera para poder desarrollar de mejor manera el proyecto.

La competencia social fue más en contextualizar a las personas que les contábamos de nuestro proyecto y las interacciones que tuvimos con profesores, sin embargo, nuestro

proyecto era más enfocado con el mismo equipo de trabajo ya no que teníamos que ir a empresas o hablar con muchas personas. Nuestro sitio de referencia es el Parque Nacional Nevado de Colima, por lo que no es meramente una empresa a la que visitamos frecuentemente. Si se realizó una salida de campo al Parque, donde la interacción social con las personas encargadas de este fue muy poca.

La competencia universitaria fue la que más desarrollé durante el proyecto, ya que era un constante trabajo en las instalaciones del ITESO donde frecuentamos a profesores para pedir ayuda u opinión, el uso de aulas para trabajo y el uso del laboratorio. Mejoré la manera de comunicar mis ideas al equipo de estudio lo que me dejó bastante satisfecho, ya que es una habilidad que es necesaria desarrollar para distintos momentos en la vida y no solamente en la universidad. Comprendí la manera de trabajar de mis compañeros de equipo, donde establecimos un ritmo de trabajo que nos beneficiara y ayudara a los cuatro. Asimismo, la confianza y los roles dentro del equipo fueron esenciales para el trabajo, ya que desde la primera semana establecimos objetivos y el trabajo que cada uno realizaría. Ayudó bastante que los cuatro nos conocemos de hace tiempo y estamos en la misma generación de ingeniería ambiental, lo que facilitó la comunicación, confianza y ambiente para el trabajo.

Los retos que experimenté durante este proyecto fueron en el trabajo en campo, donde extrajimos 20 muestras de suelo de distintos puntos dentro del Parque, donde utilizamos un barreno para extraerlas lo que demandó trabajo físico, sin embargo, el ambiente que se generó durante la salida fue de gran ayuda para que no se sintiera tan pesado. Otro de los retos fue el trabajo con sistemas de información geográfica, explícitamente en la búsqueda y tratamiento de las imágenes satelitales, ya que no siempre se encuentra fácilmente este tipo de imágenes. Se generaron los índices en el software de ArcGIS Pro, el cual también presentó retos técnicos y de manejo de este, pero a la vez, me dejó más conocimientos y mejoré mi habilidad para usarlo. El trabajo en laboratorio también presentó varios retos, desde la organización, las metodologías a seguir y el equipo necesario para realizar las pruebas. Con la ayuda de Esteban, Ricardo y Gerardo, pudimos lograr la mayoría de las pruebas realizadas, tomando en cuenta nuestras áreas de mejora para el mismo trabajo.

Vanessa Woolfolk Aragón:

Durante mi participación en el escenario del Patronato del Nevado de Colima se desarrollaron diversas competencias, enfrentándome a distintos desafíos integrales donde puedo principalmente decir que aplique en sí la totalidad de mis conocimientos teóricos respecto a la química y las habilidades prácticas de SIG al hablarse de un proyecto interdisciplinario, expandiendo mi perspectiva para la búsqueda de soluciones.

En el ámbito disciplinar, se debió tener constancia en la toma de notas y recopilación de datos tanto en laboratorio como en el área de estudio y, específicamente estando en campo el trabajo en equipo fue esencial, ya que se necesitaron muchas manos para poder tomar las muestras y tomar notas simultáneamente.

A nivel social, fue un aspecto que nos costó bastante más, ya que nuestro entorno realmente consistía en los mismos integrantes del equipo y no contábamos con tantos puntos de referencia, siendo también que el área de estudio no se encuentra lo suficientemente cerca de alguna comunidad. Por tanto, la escasa presencia de población humana dificultó la identificación de los impactos sociales a primera instancia. Con esto se logró llevar a cabo el análisis por medio de bibliografía e investigación.

Mis competencias universitarias brindaron la oportunidad de aplicar cada una de ellas en los distintos tipos de análisis que se desarrollaron en esta investigación, ya que la planificación y ejecución de estos ameritaron la integración de los conocimientos que se han desarrollado a lo largo de la carrera, como lo son el uso del equipo de laboratorio, los sistemas de información geográfica y tanto la interpretación como el análisis expandido de cada uno.

Personalmente, esta experiencia me permitió conectar con mi entorno y los procesos naturales que ocurren día con día; llega a ser impactante la manera en la que la gente vive una rutina o en este caso, extrae los recursos de una zona sin pensar en la dinámica del ecosistema. Con el análisis fisicoquímico me di cuenta de la seriedad y la relación que el bosque tiene en sí, siendo que cada uno de los parámetros están relacionados y afectan cada tipo de arbolado.

Un reto para mí verdaderamente fue el uso y análisis de los Sistemas de información geográfica ya que, no es una aplicación que se me dé mucho, por lo que tuve que investigar por mis medios para comprender el contexto de lo que sucedía dentro del bosque utilizando esta herramienta para describir el comportamiento del nevado a través de los años. Otro fue

que muchas prácticas de laboratorio no dieron el resultado esperado por más tiempo que estuvimos ejecutando la metodología correcta.

3.3 Inventario de competencias Inicial (ingreso del PAP) e Inventario de competencias Final (salida al PAP).

El análisis de las competencias iniciales y finales es una herramienta en la cual nos permite dimensionar e identificar cuales fueron nuestras mejoras a lo largo del proyecto de aplicación profesional. Asimismo, permite identificar las áreas de mejora par próximos trabajos e inclusive para la vida fuera de la universidad.

	Competencia Inicial		Competencia Final
	Tania Colmenares García	Conocimientos	Idioma inglés
Sistemas de Información Geográfica			Descubrimiento e implementación de nuevas herramientas de información geográfica.
Uso de la tecnología			Descarga de información de bases de datos oficiales
Lenguaje científico			Redacción y lectura de artículos y reportes
Legislación y normatividad sobre temas ambientales			Conocimiento sobre la normatividad de especies en peligro de extinción
Uso de laboratorio			Trabajo autónomo dentro de laboratorio / conocimiento de nuevas técnicas
Habilidades		Gestión de tiempo / organizativa	Reafirmación de la técnica que me funciona para organizar mi tiempo: una agenda semanal.
		Inhibición / concentración	Implementación de nuevas técnicas para la concentración cuando tenía que escribir: zonas silenciosas y sin distracciones, así como música para concentrarse
		Comunicación asertiva	Elección correcta de palabras cuando me comunicaba con mi equipo
		Capacidad resolutive	Alta creatividad para resolver los problemas que iban surgiendo a lo largo del desarrollo del proyecto
		Escucha activa	Dar validez a todas las opiniones de mi equipo de trabajo

	Actitudes	Flexible	Práctica de la tolerancia cuando algo nos salía como yo quería
		Proactividad	Búsqueda constante de mi equipo para trabajar en laboratorio y en escritorio
		Motivación / confianza	Alenté a mi equipo en momentos de estrés e incertidumbre.
Miguel López Minakata	Competencia Inicial		Competencia Final
	Conocimientos	Manejar SIG	Pude mejorar mis habilidades de SIG y de cartografía
		Trabajo en equipo	Mejoré mi trabajo en equipo con personas que estaban igual de ocupadas que yo, pero con la buena comunicación, pudimos sacar adelante este PAP.
		Relacionarme con personas diferentes	Mejoré mi relación con otras personas al exponer el tema y de buscar información
		Ingenioso	Pude mejorar en cuanto a las situaciones que estábamos atorados.
		Lo aprendido de mis clases en la carrera	Pude mejorar en moverme en el laboratorio, los conocimientos de química, conocimientos estadísticos, de exponer una idea, aplicar la ética, entender mejor la ecología de un bosque, aplicar mucho SIG, entre otros.
	Habilidades	Aprender rápido	Mejoré en aprender rápido y de guardar información en mi cerebro.
		Manejar diferentes plataformas SIG	Pude aplicar y mejorar ciertas habilidades en google earth engine (GEE) y en ArcGIS Pro.
		Encontrar la raíz del problema	Pudimos encontrar la raíz del problema que presentamos.
		Memorización	Pude memorizar mi PAP gracias a que lo estaba trabajando durante todo el semestre.
		Escuchar activamente	Mejoré mi escucha activa porque requirió de escuchar a profesores y expertos del tema.
	Actitudes	Entusiasmado	Mejoré mi entusiasmo porque es una práctica al que me quiero dedicar que es la academia y hacer este tipo de cosas me entusiasmó mucho, de principio a fin.
		Curioso	Me considero que soy una persona curiosa, y gracias a este PAP pude aplicarlo aún más y gracias a mi

			curiosidad pude saber buscar mejor la información.
		Proactivo	Mejoré en la proactividad porque sí hubo varias veces en el que me quedé estancado por estar trabajando y teniendo otras materias demandantes, sin embargo, pude tomar cartas en el asunto y al final pude ver que sí fue buena proactividad por cómo presenté y la información que pude dar al público.
David Eduardo Vélez Sánchez	Competencia Inicial		Competencia Final
	Conocimientos	Curso de Primeros Auxilios y, Rescate y Búsqueda	No hubo necesidad de usar el conocimiento durante la salida de campo, sin embargo, se estuvo atento en dado caso de ser necesario.
		Curso de Combate de Fuego	No hubo necesidad de usar el conocimiento durante la salida de campo, sin embargo, se estuvo atento en dado caso de ser necesario.
		Guía de Alpinismo	Se utilizó dicho conocimiento en la salida de campo.
		Gran conocimiento del Parque Nevado de Colima	Se utilizó dicho conocimiento en salida de campo.
		Manejo de SIG	Se mejoró la habilidad para el uso de sistemas de información geográfica.
		Principios de Geología	Se utilizó el conocimiento en salida de campo donde se logró identificar los sustratos del suelo.
	Habilidades	Iniciativa y aprendizaje rápido	Aprendizaje basto del tema respecto al dinamismo ecológico dentro del Parque Nacional Nevado de Colima.
		Pensamiento crítico	Ejecución de plan de acción dentro de la salida de campo.
		Liderazgo	Destreza de liderazgo en el trabajo con el equipo.
		Resolución de Problemas	Capacidad de encontrar soluciones rápidas a problemas enfrentados en salida de campo.
	Actitudes	Proactivo	Se mejoró la actitud descrita, debido a que se motivó a realizar las actividades propuestas para la entrega final del PAP.
		Trabajo en equipo	Se mejoró la habilidad para trabajar en equipo, con comunicación clara y asertiva respecto a los trabajos por entregar.

		Colaborador	Se buscó la integración del equipo tanto en la salida de campo como en las juntas para realizar el trabajo final del PAP.
Vanessa Woolfolk Aragón	Competencia Inicial		Competencia Final
	Conocimientos	Uso práctico de excel	Se reforzaron los conocimientos de Excel al utilizar esta herramienta para el análisis fisicoquímico.
		Caracterización de sitios contaminados	Utilizamos distintos métodos de muestreo específicamente para suelo.
		Modelado Ambiental	Mientras no se utilizaron softwares de modelado, las habilidades críticas y la línea de pensamiento se vio involucrada en los análisis.
		Legislación y cumplimiento normativo	Se utilizaron distintos reactivos donde se necesitó consultar las normativas para conocer los límites permisibles.
		Muestreo y análisis de datos.	El trabajo en laboratorio demandó estos conocimientos especialmente en trabajo de campo.
	Habilidades	Creatividad	La elaboración del cartel y el desarrollo del análisis necesitó creatividad.
		Gestión del tiempo	Siendo que se trabajó en equipo, fue necesario poner nuestros horarios en común para desarrollar el proyecto.
		Organización	La extensa información desarrollada en los diferentes análisis ameritó organización.
		Pensamiento crítico	Se ejecutó un plan de acción.
	Actitudes	Proactiva	Se desarrolló el proyecto con motivación al presentar ideas e iniciativa.
		Ética y Responsabilidad Ambiental	Se hizo un análisis para la toma de decisiones en función de la salud del ecosistema del patronato.
		Responsabilidad Laboral	Se desarrollaron los objetivos del PAP con constancia y dedicación.
		Innovación y Orientación al logro	Se buscaron distintos métodos a pesar de las distintas fallas que se presentaron.