

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto:

ESTUDIO BIOGÉNICO DE LAS EMISIONES DE LAS ESPECIES *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* Labill Y *Alnus acuminata* EN EL CANTÓN RIOBAMBA

Autores:

Carrera Ramírez Lucero Katherin

Cruz Carrasco Marco Rubén

Tutor:

Ing. Benito Mendoza PhD.

Riobamba - Ecuador

2019

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **ESTUDIO BIOGÉNICO DE LAS EMISIONES DE LAS ESPECIES *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* Labill Y *Alnus acuminata* EN EL CANTÓN RIOBAMBA**

Presentado por: Lucero Katherin Carrera Ramírez y Marco Rubén Cruz Carrasco.

Dirigido por: Ing. Benito Mendoza PhD.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Benito Mendoza PhD.
Tutor del proyecto



Firma

Ing. Iván Ríos PhD.
Presidente del Tribunal



Firma

Ing. Mauro Jiménez MsC.
Miembro del Tribunal



Firma

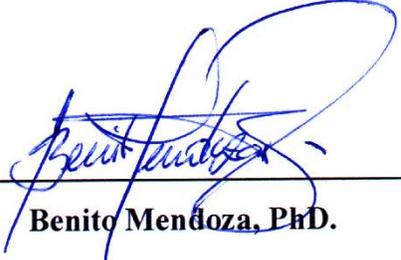
Ing. Juan Carlos Caicedo MsC.
Miembro del Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el Tema: “**ESTUDIO BIOGÉNICO DE LAS EMISIONES DE LAS ESPECIES *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* Labill Y *Alnus acuminata* EN EL CANTÓN RIOBAMBA**”, ha sido elaborado por los señores: LUCERO KATHERIN CARRERA RAMÍREZ y MARCO RUBÉN CRUZ CARRASCO, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con participación directa y contribuciones permanentes de mi persona en calidad de Tutor y director del proyecto, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva. Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



Benito Mendoza, PhD.
Tutor del proyecto

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, LUCERO KATHERIN CARRERA RAMÍREZ, con cédula de identidad N° 092846672-1 y MARCO RUBÉN CRUZ CARRASCO con cédula de identidad N° 172477630-5 somos responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizada en la presente investigación, titulada: “**ESTUDIO BIOGÉNICO DE LAS EMISIONES DE LAS ESPECIES *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* Labill Y *Alnus acuminata* EN EL CANTÓN RIOBAMBA**” dirigida por el Tutor del proyecto, Ing. Benito Mendoza, PhD.

En virtud de ello, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referido adecuadamente en el contenido del documento.



Lucero Katherin Carrera Ramírez

C.I. 092846672-1



Marco Rubén Cruz Carrasco

C.I. 172477630-5

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, a mis padres por guiarme por el buen camino y por apoyarme a estudiar esta hermosa carrera.

A mis docentes que me supieron guiar y ayudarme a resolver las inquietudes a lo largo de estos 5 años de estudio y por compartirme sus conocimientos.

Especialmente al Ing. Franklin Cargua y al Dr. Benito Mendoza por guiarme en la realización del presente proyecto de investigación.

Lucero Katherin Carrera Ramírez

Mi eterna gratitud a Dios por ser un guía espiritual y fuente de fortaleza y sabiduría.

A mis padres Mélida y Marco por el apoyo incondicional que me han brindado y han hecho posible alcanzar esta importante meta en mi vida.

A los docentes e investigadores que durante toda la carrera supieron impartir sus conocimientos, orientación y experiencia; de manera especial al Ing. Benito Mendoza PhD. Ing. Franklin Cargua quienes fueron una ayuda esencial en la realización de esta investigación.

Marco Rubén Cruz Carrasco

DEDICATORIA

Esta meta obtenida en mi vida se les dedico a las personas más importante en mi vida, a mis padres: Jonny y Monserrat y a mi hermano Roger por ser el pilar fundamental en mi vida por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas apoyándome incondicionalmente, logrando cumplir este sueño permitiéndome salir adelante.

A mi familia que de una u otra manera me apoyaron en este camino y por ese cariño que me brindan cada día.

Lucero Katherin Carrera Ramírez

Con especial cariño dedico el fruto del esfuerzo a mis padres: Mélida Carrasco y Marco Cruz por el apoyo desinteresado y por todos los consejos brindados.

A mis hermanos Cristian y Pablo por la ayuda brindada en momentos cruciales, soy afortunado de contar con ustedes.

Marco Rubén Cruz Carrasco

SIGLAS Y ABREVIATURAS

COV:	Compuestos Orgánicos Volátiles.
COVB:	Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos
OCOV:	Otros Compuestos Orgánicos Volátiles.
MAE:	Ministerio del Ambiente
COSUDE:	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
MAG:	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
MAGAP:	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca
NDVI:	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
SIG:	Sistemas de Información Geográfica.
USGS:	Servicio Geológico de los Estados Unidos.
GPS:	Sistemas de Posicionamiento Global.
Ppbv:	Partes por billón en volumen
nm:	Nanómetro
Ton:	Toneladas
Tg:	Teragramos
µg:	Microgramos
g:	Gramos

ÍNDICE

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA	III
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	VII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problemática.....	2
1.2 Justificación.....	3
2. OBJETIVOS	4
2.1. General	4
2.2. Específicos	4
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
3.1. Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos (COVB)	4
3.1.1. Monoterpenos	5
3.1.2. Otros Compuestos Orgánicos Volátiles (OCOV)	6
3.2. Influencia de los factores ambientales sobre los COVB	7
3.2.1. Temperatura	7
3.3. Efectos de los COVB	7
3.3.1. Modificación del Clima	8
3.3.2. Formación de Ozono Troposférico	8
3.4. Teledetección	9
3.4.1. Firmas Espectrales	9

3.4.2.	Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI	11
3.4.3.	Clasificación de Imágenes Satelitales	11
3.4.4.	Estudio Multitemporal	12
3.5.	Especies forestales.....	12
3.5.1.	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	12
3.5.2.	<i>Pinus radiata</i>	13
3.5.3.	<i>Alnus acuminata</i>	14
4.	METODOLOGÍA	14
4.1.	Definición de las parcelas de monitoreo	14
4.2.	Obtención de Firmas Espectrales	15
4.2.1.	Recolección de las firmas espectrales.....	15
4.2.2.	Obtención de las firmas espectrales representativas	16
4.3.	Estudio Multitemporal.....	16
4.3.1.	Pre-Procesamiento de imágenes satelitales.....	16
4.3.2.	Evaluación del NDVI.....	17
4.3.3.	Clasificación supervisada.....	17
4.3.4.	Cálculo de la Deforestación Bruta Anual Promedio (R)	18
4.3.5.	Calculo de la Tasa Anual de Deforestación Bruta (q)	18
4.4.	Estudio de Temperatura	18
4.5.	Cálculo de las Emisiones de COVB.....	19
4.5.1.	Monoterpenos	19
4.5.2.	Otros compuestos orgánicos volátiles biogénicos	20
4.6.	Medición de compuestos orgánicos volátiles y Dióxido de Nitrógeno	21
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1.	Definición del Área de Estudio.....	22

5.2.	Evaluación de Firmas Espectrales Representativas	22
5.2.1.	Evaluación de la Firma Espectral del <i>Eucalyptus globulus L.</i> (Eucalipto).....	23
5.2.2.	Evaluación de la Firma Espectral del <i>Pinus radiata</i> (Pino).....	24
5.2.3.	Evaluación de la Firma Espectral del <i>Alnus acuminata</i> (Aliso)	24
5.3.	Análisis comparativo del NDVI.....	25
5.4.	Clasificación de Coberturas Vegetales.....	26
5.4.1.	Variación de la cobertura vegetal en los años 2014 y 2017	28
5.5.	Análisis del comportamiento de la Temperatura en los años 2014-2017	30
5.6.	Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos	32
5.6.1.	Emisiones Mensuales de Monoterpenos en el año 2014	32
5.6.2.	Emisiones Mensuales de OCOV en el año 2014	32
5.6.3.	Emisiones Mensuales de Monoterpenos en el año 2017	33
5.6.4.	Emisiones Mensuales de OCOV en el año 2017	34
5.6.5.	Emisiones de Monoterpenos y OCOV del <i>Pinus radiata</i> (2014 - 2017).....	35
5.6.6.	Emisiones de Monoterpenos y OCOV del <i>Eucalyptus globulus</i> (2014 - 2017)	36
5.6.7.	Emisiones de Monoterpenos y OCOV del <i>Alnus acuminata</i> (2017).....	37
5.7.	Análisis de las concentraciones COV	37
5.7.1.	Concentraciones de COV en plantaciones de <i>Pinus radiata</i>	38
5.7.2.	Concentraciones de COV en plantaciones de <i>Eucalyptus globulus L.</i>	38
5.7.3.	Concentraciones de COV en plantaciones de <i>Alnus acuminata</i>	39
5.8.	Análisis de las concentraciones de NO ₂	39
6.	CONCLUSIONES	41
7.	RECOMENDACIONES.....	42
8.	BIBLIOGRAFÍA	43
9.	APÉNDICES O ANEXOS	47

9.1. Anexo 1. Comportamiento de la Reflectancia de las especies forestales	47
9.2. Anexo 2. Evaluación de Firmas Espectrales Mínima, Media y Máxima.....	48
9.3. Anexo 3. Variación de los rangos del NDVI para los años 2014 y 2017	50
9.4. Anexo 4. Mapas de Temperatura mensual del año 2014	50
9.5. Anexo 5. Mapas de Temperatura mensual del año 2017	53
9.6. Anexo 6. Emisiones Mensuales de COVB por especies para el año 2014	55
9.7. Anexo 7. Emisiones Mensuales de COVB por especies para el año 2017	56
9.8. Anexo 8. Valores críticos del coeficiente de correlación de Pearson r.....	57
9.9. Anexo 9. Relación entre concentraciones de NO ₂ con variables climáticas.....	58
9.10. Anexo 10. Fotográfico	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de los Monoterpenos	5
Tabla 2. Propiedades de Otros Compuestos Orgánicos Volátiles.....	6
Tabla 3. Descripción taxonómica del <i>Eucalyptus globulus L.</i>	13
Tabla 4. Descripción taxonómica del <i>Pinus radiata</i>	13
Tabla 5. Descripción taxonómica del <i>Alnus acuminata</i>	14
Tabla 6. Densidad de biomasa y factores de emisión para Monoterpenos y OCOV	19
Tabla 7. Descripción de las parcelas de monitoreo.....	22
Tabla 8. Valores calculados del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	25
Tabla 9. Valoración del coeficiente kappa.....	26
Tabla 10. Matriz de Confusión del <i>Pinus radiata</i> y <i>Eucalyptus globulus L.</i> (2014-2017).....	27
Tabla 11. Matriz de Confusión para <i>Alnus acuminata</i> (2017).....	28
Tabla 12. Temperatura promedio mensual de los años 2014 y 2017.....	31
Tabla 13. Análisis de varianza para concentraciones de NO ₂	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Reacciones de COVs y producción de ozono troposférico	8
Figura 2: Representación gráfica de una firma espectral.....	9
Figura 3: Patrón generalizado de reflectancia de una hoja	10
Figura 4: Unidad de muestreo a utilizarse en bosques.....	15
Figura 5: Componentes de un árbol y muestreo foliar.....	16
Figura 6: Estándar de la Firma espectral de <i>Eucalyptus globulus</i> L.	23
Figura 7: Estándar de la Firma espectral promedio del <i>Pinus radiata</i>	24
Figura 8: Estándar de la Firma espectral promedio del <i>Alnus acuminata</i>	25
Figura 9: Valoración de la cobertura vegetal en los años 2014 y 2017	29
Figura 10: Comportamiento horario de la temperatura de un día promedio en el 2014-2017.....	30
Figura 11: Variación de la temperatura media mensual de los años 2014 y 2017.....	30
Figura 12: Emisiones Mensuales de Monoterpenos en el año 2014.....	32
Figura 13: Emisiones Mensuales de OCOV en el año 2014.....	33
Figura 14: Emisiones Mensuales de Monoterpenos en el año 2017.....	34
Figura 15: Emisiones Mensuales de OCOV en el año 2017.....	34
Figura 16: Correlación entre COV y variables meteorológicas en <i>Pinus radiata</i>	38
Figura 17: Correlación entre COV y variables meteorológicas en <i>Eucalyptus globulus</i> L.	39

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Variación de uso de suelo por especies forestales en los años 2014 y 2017	28
Mapa 2: Emisiones de Monoterpenos y OCOV por <i>Pinus radiata</i> en Riobamba (2014-2017)	35
Mapa 3: Emisiones de Monoterpenos y OCOV por <i>Eucalyptus globulus</i> L. en Riobamba (2014-2017).....	36
Mapa 4: Emisiones de Monoterpenos y OCOV por <i>Alnus acuminata</i> en Riobamba (2017)	37

RESUMEN

La contaminación atmosférica es uno de los mayores problemas tanto a escala global como local, generada por la producción industrial, flujo vehicular y uso de combustibles fósiles, pero se ha dejado de lado otras fuentes importantes de emisiones como la vegetación, que representa un porcentaje considerable de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles químicamente reactivos añadidos a la atmósfera.

Por este motivo la presente investigación se enfoca en una cuantificación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen natural producido por las especies forestales: *Eucalyptus globulus L.*, *Pinus radiata* y *Alnus acuminata*, que se localizan dentro del cantón Riobamba. El estudio comprende la identificación de coberturas vegetales en los años 2014 y 2017, complementado con la aplicación del modelo de Guenther para el cálculo de monoterpenos y otros compuestos orgánicos volátiles. Por otro lado, se analiza la influencia de las variables meteorológicas sobre las concentraciones de gases emitidas por cada especie.

El cálculo matemático de emisiones en el cantón Riobamba ha demostrado que el *Eucalyptus globulus L.* registra mayores emisiones en los años 2014-2017, seguido por *Pinus radiata* y *Alnus acuminata*, estas emisiones están sujetas a la cobertura vegetal que cubre cada especie. El análisis de compuestos orgánicos volátiles en plantaciones forestales en aire ambiente está directamente relacionadas a las emisiones representadas de manera espacial y correlacionadas con las variables meteorológicas: temperatura, radiación solar global y velocidad del viento.

Palabras Clave: compuestos orgánicos volátiles biogénicos, *Eucalyptus globulus L.*, *Pinus radiata*, *Alnus acuminata*, firmas espectrales, Dióxido de Nitrógeno

ABSTRACT

Air pollution is one of the biggest problems at both a global and local scale, generated by industrial production, car traffic and the use of fossil fuels, but other important sources of emissions have been ignored, such as vegetation, which represents a considerable percentage of the emissions of chemically reactive volatile organic compounds added to the atmosphere.

For this reason, the present investigation focuses on a quantification of the emissions of volatile organic compounds of natural origin produced by the forest species: *Eucalyptus globulus* L., *Pinus radiata* and *Alnus acuminata*, which are located within the canton Riobamba. The study includes the identification of vegetation cover in 2014 and 2017, complemented with the application of the Guenther model for the calculation of monoterpenes and other volatile organic compounds. On the other hand, the influence of meteorological variables on the concentrations of gases emitted by each species is analyzed.

The mathematical calculation of emissions in the canton Riobamba has shown that *Eucalyptus globulus* L. records higher emissions in the years 2014-2017, followed by *Pinus radiata* and *Alnus acuminata*, these emissions are subject to the plant cover that covers each species. The analysis of volatile organic compounds in forest plantations in ambient air is directly related to the emissions represented spatially and correlated with the meteorological variables: temperature, global solar radiation and wind speed.

Keywords: biogenic volatile organic compounds, *Eucalyptus globulus* L., *Pinus radiata*, *Alnus acuminata*, spectral signatures, Nitrogen dioxide

Translation reviewed by:

Msc. Elisabeth Diaz



1. INTRODUCCIÓN

La atmósfera contiene varios gases que; al presentarse en concentraciones mayores a las normales, son venenosos para los seres humanos, animales y dañinos para las plantas. Gases como: óxidos de nitrógeno (NO_x), de azufre (SO_x), hidrocarburos, el monóxido de carbono (CO) y una gran variedad de compuestos orgánicos volátiles (COV) son considerados contaminantes primarios porque son emitidos directamente de una fuente, mientras los contaminantes secundarios se forman por medio de reacciones químicas a partir de los primarios y en este grupo se encuentra el ozono (O₃) (OMS, 2004).

El ozono troposférico se forma a partir de emisiones de fuentes fijas, móviles y naturales, que reaccionan a la presencia de éstos contaminantes con los rayos ultravioleta y tiene repercusión sobre la calidad del aire, conllevando a afectaciones al ser humano (MAE, 2015), también afectan al proceso metabólico de las plantas y corrosión en materiales.

Las zonas industriales y áreas urbanas son las responsables de las principales fuentes de contaminación atmosférica producto de las actividades antropogénicas, pero, en los últimos años se ha determinado que, además las actividades biológicas de las plantas emiten contaminantes denominados biogénicos como: los compuestos orgánicos volátiles biogénicos (COVB). Estos contaminantes emitidos a la atmósfera reaccionan con los elementos propios de la capa gaseosa, dando lugar a la formación de contaminantes fotoquímicos como el ozono troposférico (Camargo, Bolaño, & Álvarez, 2010).

Estudios desarrollados en América Latina, demuestran que la vegetación emite gases en grandes cantidades, es así que, en el año 2003 se determinó que el valle de México emitió 28080 ton/año de COVB (Velasco & Bernabé, 2004); y en países aledaños como Colombia se ha estimado que el Parque Nacional Natural Tayrona emite 310000 ton/año únicamente de monoterpenos, representando una cantidad elevada producto de radiaciones solares constantes a lo largo del año y temperaturas superiores a 28 °C (Bolaño, Camargo, & Vélez, 2015).

En los últimos años, en Ecuador se ha prestado mayor interés por las emisiones de origen natural, dando lugar a inventarios de compuestos orgánicos volátiles a nivel nacional, obteniendo 1855600 ton/año en el 2010 (Viteri, 2012) y el MAE ha desarrollado inventarios de emisiones en los

cantones: Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro, dando un espacio a las emisiones biogénicas que representan un 3,3 % del total de emisiones del cantón Riobamba (MAE, 2014).

Debido a los pocos avances sobre el análisis de este tipo de contaminantes provenientes de fuentes naturales, se dará lugar al estudio biogénico de las emisiones de dos especies exóticas: *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* L. y una especie nativa: *Alnus acuminata*; éste estudio ayudará a determinar una aproximación a la cantidad de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen natural en el cantón Riobamba.

1.1 Problemática

El aire es considerado una mezcla de varias sustancias las mismas se encuentran en mayor o menor medida, esta mezcla puede verse alterada por la presencia de contaminantes que pueden llegar a la atmósfera a través de fuentes naturales o antropogénicas (Ballesteros & Rotter, 2014).

La mayoría de las emisiones biogénicas de COV provienen de áreas montañosas y de tierras de cultivo (Cheng & Chang, 2009), por tanto, las emisiones de la vegetación desempeñan un papel importante en la atmósfera, alterando la composición química y características físicas, provocado por la alta reactividad que muestran la mayoría de estos compuestos, cuando interactúan con aquellas sustancias que se encuentran en mayor proporción en la atmósfera. Uno de los efectos principales provocados por los compuestos orgánicos volátiles corresponde a la formación de ozono troposférico (Camargo et al., 2010, p. 77).

La población de las zonas rurales de la serranía ecuatoriana se ha dedicado a los cultivos agroforestales con fines comerciales (MAGAP, 2013), algunas de estas especies vegetales son exóticas, que además de traer efectos negativos al suelo emiten gases contaminantes que reaccionan en la atmósfera dando lugar a la formación de nuevos compuestos que pueden llegar a ser perjudiciales al ser humano, (MAE, 2015).

En nuestro país la cuantificación de emisiones de fuentes antropogénicas ha sido mayormente estudiadas, destacando los inventarios producidos por el Distrito Metropolitano de Quito y el Municipio de Cuenca, pero no se ha prestado el debido interés a las emisiones provenientes de

fuentes naturales, a pesar de que nuestro país tiene vastas extensiones de cultivos y plantaciones forestales (MAE & COSUDE, 2010).

En la ciudad de Riobamba las emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de la vegetación representa un 3,3 %, siendo superior al sector industrial que alcanza el 1,1 % (MAE, 2014), pero uno de los inconvenientes de la cuantificación está representado por la generalización de la vegetación al momento de realizar un inventario de emisiones, otorgando de esta manera la posibilidad de caer en errores al no brindar la importancia adecuada al cambio de coberturas vegetales.

1.2 Justificación

El actual desconocimiento del papel que juega la vegetación en la dinámica atmosférica ha impedido la ejecución de estudios profundos, limitando de esta manera la información sobre las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen natural, que en condiciones de temperatura ambiente o elevadas, son emitidos en forma de gases y vapor, que mediante reacciones químicas pueden formar compuestos perjudiciales como el ozono troposférico (Camargo et al., 2010).

Por este motivo, el presente estudio biogénico empleará el modelo de emisiones planteado por Guenther, apoyado en SIG para estimar las emisiones de monoterpenos y otros compuestos orgánicos volátiles de las especies forestales *Eucalyptus globulus* L., *Pinus radiata* y *Alnus acuminata*, para obtener una idea del impacto de la vegetación sobre la calidad de aire del cantón Riobamba.

La cuantificación aproximada de emisiones presentada en esta investigación permitirá que los organismos competentes den mayor importancia a las emisiones de fuentes naturales, asignando un espacio a estas emisiones en los estudios y modelos de dispersión fotoquímica, al igual que podrían ser tomados en cuenta al momento de ejecutar planes de forestación y reforestación dentro del cantón.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Realizar el estudio biogénico de las emisiones de las especies *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* Labill y *Alnus acuminata* en el cantón Riobamba.

2.2. Específicos

- Obtener las firmas espectrales de tres especies vegetales: pino (*Pinus radiata*), eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) y aliso (*Alnus acuminata*).
- Estudiar la temperatura mediante técnicas geoestadísticas en el período 2014 y 2017 que incide en la emisión de compuestos orgánicos volátiles de origen natural.
- Cuantificar las emisiones biogénicas de Monoterpenos y otros compuestos orgánicos volátiles (OCOV) producidos por las tres especies vegetales dentro del cantón Riobamba en los años 2014 y 2017.
- Comparar las emisiones biogénicas obtenidos matemáticamente con los resultados del muestreo In-Situ.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El estudio biogénico permite conocer la cantidad de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen natural; desde las emisiones de monoterpenos y OCOV como la influencia de la temperatura que incide en las emisiones, y su relación con las especies forestales.

Por tanto, los resultados de la estimación pueden ser utilizados en estudios de impacto ambiental o formar parte de las fuentes consideradas para estudios de dispersión fotoquímica con alcance local y nacional (Viteri, 2012).

3.1. Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos (COVB)

Son hidrocarburos emitidos por la vegetación, se presentan en forma de gases y vapor a condiciones de temperatura ambiente o que pueden ser volátiles a esta temperatura. Desempeñan un papel importante en la composición química y características físicas de la atmósfera, debido a la alta reactividad que pueden llegar a presentar la mayoría de estas sustancias cuando interactúan

con aquellas que se encuentran en mayor proporción en la atmósfera. Uno de los efectos más evidentes producidos por los COV corresponde a la formación de ozono troposférico, contribuyendo al aumento de los niveles de contaminación fotoquímica (Camargo et al., 2010).

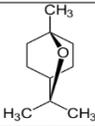
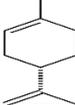
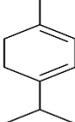
Las plantas emiten una amplia cantidad de compuestos y no se rigen solamente a aquellos que pueden verse u olerse. Además, la cantidad que emiten a la atmósfera es elevada, aproximándose a los 1000 Tg/año a escala global (Ramón et al., 2014) representando cerca del 80% del total de los COV químicamente reactivos añadidos a la atmósfera cada año (Guenther et. al . citado por Viteri, 2012), es decir varias veces superior a la cifra de hidrocarburos de origen antropogénico. (Bustelo, 2011)

El modelo de Guenther agrupa las emisiones en categorías de acuerdo al tiempo de permanencia en la atmósfera.

3.1.1. Monoterpenos

Son compuestos químicos que tienen 10 carbonos en su estructura molecular (Tabla 1), están formados por dos unidades de isopreno (C_5H_{10}); una de sus características es tener un doble enlace olefínico $C=C$, son altamente reactivos en la atmósfera y susceptibles de ser atacados por oxidantes fotoquímicos (Seinfeld & Pandis citado por Ramón et al., 2014; Serrato & Bagett, 2012).

Tabla 1. Propiedades de los Monoterpenos

Categoría	Tiempo	Fórmula	Ejemplo	Estructura
Monoterpenos	0,5 – 3 horas	$C_{10}H_x$	α – pineno (Coníferas) ($C_{10}H_{16}$)	
			Cineol (Eucalipto) ($C_{10}H_{18}O$)	
			Limoneno (Cítricos) ($C_{10}H_{16}$)	
			Terpineno (Pino) ($C_{10}H_{16}$)	

Fuente: (Ramón et al., 2014; Paredes, 2015; Velasco & Bernabé, 2004; Viteri, 2012)

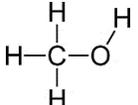
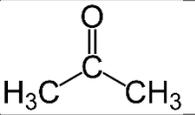
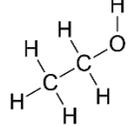
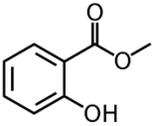
Se les conoce como componentes de las esencias volátiles de las flores y como parte de los aceites esenciales de hierbas y especias, y pueden llegar a conformar hasta el 5 % en peso de la planta seca (Serrato & Bagett, 2012).

Las plantas emiten monoterpenos como mecanismos de defensa ante insectos y plagas, llevando a cabo de dos maneras; la primera de forma directa a través de los cloroplastos en función de la temperatura y de la luz, y la segunda en función de la temperatura de las hojas, a partir de la volatilización de los monoterpenos acumulados en la savia, dependiendo también de su presión de vapor, del área de superficie de interfase entre la hoja y el aire, de los aceites monoterpénicos y de la humedad del aire rodeando a la hoja. (Velasco & Bernabé, 2004)

3.1.2. Otros Compuestos Orgánicos Volátiles (OCOV)

Los compuestos químicos de este grupo tienen una estructura $C_xH_yO_z$ (Tabla 2), su vida media es de aproximadamente un día dado que son oxidados por el radical OH. Las emisiones son notablemente elevadas en la transición de luz a oscuridad, sus concentraciones son bajas y oscilan entre 1 a 2 ppbv (Sanhuenza, Holzinger, Donoso, & Santana citado por Viteri, 2012).

Tabla 2. Propiedades de Otros Compuestos Orgánicos Volátiles

Categoría	Tiempo	Fórmula	Ejemplo	Estructura
Otros Compuestos Orgánicos Volátiles	Mayor a 1 día	$C_xH_yO_z$	Metanol (CH_3OH)	
			Acetona (C_3H_6O)	
			Etanol (Pino) (C_2H_5OH)	
			Salicilato de Metilo (Esencias) ($C_8H_8O_3$)	

Fuente: (Paredes, 2015; Velasco & Bernabé, 2004; Viteri, 2012)

Algunos ácidos orgánicos son emitidos por plantas y microorganismos del suelo, también se generan por oxidación de alquenos biogénicos. Las concentraciones en algunos bosques tropicales son de 0.5 a 2 ppbv (Sanhuenza citado por Viteri, 2012 p. 18), siendo similares a las emisiones producidas por bosques templados caducifolios.

3.2. Influencia de los factores ambientales sobre los COVB

Las emisiones de un área determinada están influenciadas por la masa foliar, factores de emisión y por una dependencia directa de la temperatura. Ésta variable meteorológica influye activamente en la cuantificación de emisiones de monoterpenos y otros compuestos orgánicos volátiles (Camargo et al., 2010).

3.2.1. Temperatura

Loreto, Ciccioli, & Cecinato (citado por Viteri, 2012 p. 22) sostienen que la temperatura aumenta las tasas de emisión de la mayoría de COV, de forma exponencial hasta un valor óptimo, al aumentar las actividades enzimáticas de síntesis, aumenta la presión de vapor de los compuestos orgánicos volátiles y disminuye la resistencia de las vías de emisión. Además, para COV no almacenados la emisión aumenta hasta tres veces cuando la temperatura aumenta desde 20° hasta 30 °C.

La emisión de monoterpenos y OCOV es ocasionada especialmente por la volatilización en los órganos de depósito, considerando la influencia de la temperatura sobre la presión de vapor del gas presentes en el tejido de la planta (Bolaño et al., 2015).

Peñuelas y Llusià (citado por Camargo et al., 2010) afirman que los COV de origen biogénico podrían proteger a las plantas contra las elevadas temperaturas, y posteriormente éstas emisiones que aumentan con el calentamiento, podrían generar tanto una retroalimentación positiva como negativa en la temperatura del planeta.

3.3. Efectos de los COVB

Las emisiones de origen natural son en parte responsables de algunos efectos sobre la dinámica atmosférica dado que son capaces de reaccionar con elementos de la atmósfera y generar nuevos compuestos que se consideran dañinos para los seres vivos.

3.3.1. Modificación del Clima

De acuerdo a Cárdenas & Rehva (citado por Viteri, 2012) los COVB se encuentra en grandes cantidades en la atmósfera, los mismos que son proveniente de la vegetación. Se cree que esto tiene influencia directa con el cambio climático, es decir al aumentar la temperatura externa las plantas crean un mecanismo de protección a través de las membranas vegetales provocando la emisión de estos gases.

Según Hanks & Loughlin (2011), otro efecto de los COVB es la modificación del clima a nivel local y regional, formando los núcleos de condensación que contribuyen al enfriamiento de la atmósfera local, y también se le atribuye el fenómeno del efecto invernadero.

3.3.2. Formación de Ozono Troposférico

El ozono se considera un producto secundario de reacciones químicas y fotoquímicas que se genera a partir de emisiones gaseosas emitidas directamente a la atmósfera. La formación de oxidantes fotoquímicos, de los cuales ozono es uno de los principales componentes, es el resultado de reacciones térmicas y fotoquímicas impulsadas por la luz solar, que involucran radicales libres ($\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{RO}_2$), COVs y óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) (Peralta, 2009 p. 17).

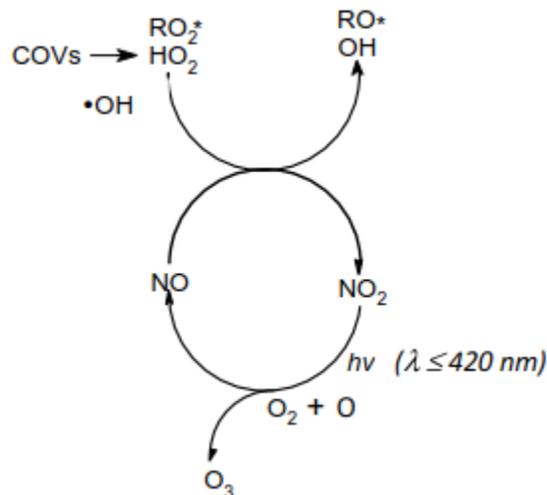


Figura 1: Reacciones de COVs y producción de ozono troposférico

Fuente: (Peralta, 2009)

Los COV actúan en el ciclo fotoquímico del ozono tanto en la formación como destrucción (Figura 1). La elevada reactividad de estos compuestos incide en la formación de radicales peroxialquilos ($\bullet\text{RO}_2$) e hidroxiperoxilo ($\text{HO}_2\bullet$) en presencia de radicales OH; estos radicales actúan en la oxidación del NO a NO_2 . El producto resultante simplificado es 2 moléculas de ozono por cada molécula COV que participe en la reacción (Chameides et al., Bowman y Seinfeld. citados por Peralta, 2009).

3.4. Teledetección

Es una técnica aplicada que facilita obtener información de un objeto, área o fenómeno, mediante el análisis e interpretación de los datos de imágenes de la superficie terrestre desde sensores aéreos o espaciales, es decir que no se encuentra en contacto físico con la superficie terrestre; se requiere que exista un flujo de información, conocida como radiación electromagnética que puede ser por energía solar o de un haz energético artificial, así la tierra y todos los objetos que se encuentran en la superficie reflejan esta radiación, que es recibida por un sensor y almacenada en estaciones receptoras para poder interpretarse según su aplicación. (Carrillo, 2016; Chuvieco, 2008)

3.4.1. Firmas Espectrales

Hernández & Montaner (2009), definen las firmas espectrales como “el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético. Mediante una gráfica se analiza el comportamiento de los datos de reflectancia (%) en el eje Y y la longitud de onda λ en el eje X (Figura 2). Al unir los puntos con una línea continua se origina una representación bidimensional de la firma” (p. 4).

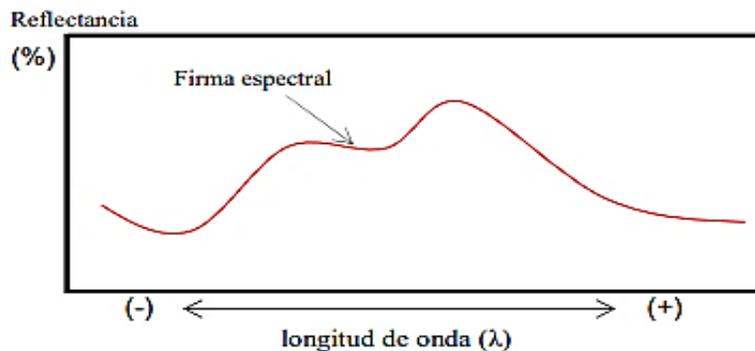


Figura 2: Representación gráfica de una firma espectral

Fuente: (Hernández & Montaner, 2009)

3.4.1.1. Radiancia Espectral ($L\lambda$)

Es el total de energía radiada en una determinada longitud de onda por unidad de área y ángulo sólido de medida. Es cuantificada mediante un sensor que detecta una banda particular del espectro y se expresa en vatios por metro cuadrado o estéreo radián ($W m^{-2} sr^{-1}$). La radiancia de una superficie depende de la longitud de onda, (λ), de la luz. Por ello se define la radiancia espectral como $L(\lambda)$ (Chuvienco, 2008).

3.4.1.2. Reflectancia (ρ)

Es el cociente entre el flujo incidente de energía y la energía transmitida por una superficie (Chuvienco, 2008). De acuerdo a Castro (citado por Carrillo, 2016) la reflectancia ocurre cuando una superficie no transparente interactúa con la energía. La naturaleza de la reflectancia depende de las irregularidades de la superficie, por lo tanto, si la superficie es suave se genera una reflexión especular, mientras que en superficies rugosas se presenta una reflexión difusa.

En la vegetación la reflectancia se relaciona de forma directa con las hojas (Figura 3), que es el componente más abundante, los pigmentos, estructura celular, contenido de humedad, características geométricas de la planta, geometría del dosel, etc. (Chuvienco, 2008).

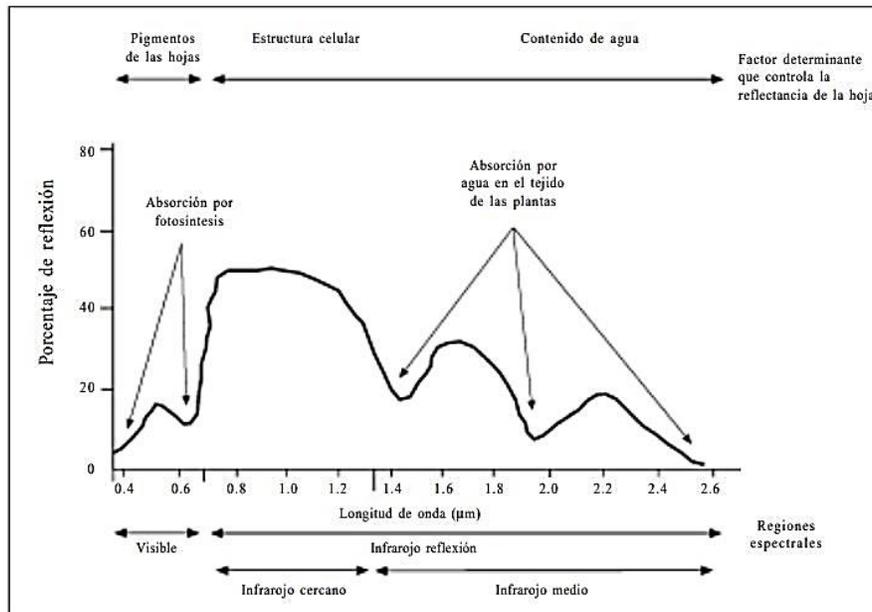


Figura 3: Patrón generalizado de reflectancia de una hoja

Fuente: (Bautista, Delfín, Palacio, & Delgado citado por Carrillo, 2016)

3.4.2. Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI

Es el índice más conocido, por motivo de sencillez de cálculo (Ecuación 1) y dispone de un rango de variación fijo (entre -1 y $+1$), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes (Rouse et. al citado por Gonzaga, 2014).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

Donde: **NIR:** Es la reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al Infrarrojo Cercano;
R: Es la reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al Rojo

A partir de esta ecuación tendremos los niveles correspondientes a praderas, cultivos, forestaciones etc. dependiendo el valor alcanzado.

El agua tiene reflectancia mayor en el infrarrojo que en el rojo, por lo tanto, valores negativos de NDVI.

El suelo descubierto y con vegetación rala presenta valores positivos, aunque no muy elevados. La vegetación densa, sana y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI.

Las nubes presentan valores similares en el R y NIR, por lo que su NDVI es cercano a 0.

Valores muy bajos de NDVI, del orden de 0.1, corresponden a áreas rocosas, arenosas o nevadas.

3.4.3. Clasificación de Imágenes Satelitales

Una imagen satelital es un compendio de píxeles o celdas, que se encuentran ordenadas en filas y columnas. Cada píxel posee un número digital que representa la intensidad de la señal que un área determinada de la superficie terrestre recibe o refleja. La resolución espacial puede variar según las características de cada sensor y es el tamaño de la unidad de terreno (Carrillo, 2016).

3.4.3.1. Clasificación basada en el Píxel

Rodríguez (2011) afirma que esta clasificación “utilizan algoritmos que se basan en los valores espectrales de reflectancia y emitancia, comprendidos en grupos de pixeles, siendo los más utilizados debido a su fácil procesamiento” (p. 24).

Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada se basa en el conocimiento previo de las clases a utilizar y de los estadísticos relacionados a cada clase espectral. Según Lang (citado por Rodríguez, 2011) consta de dos fases: la primera de entrenamiento en la que el investigador reconoce los colores y formas relacionadas a una clase y una segunda que consiste en la asignación de una lista de clases o nombre de los patrones identificados.

3.4.4. Estudio Multitemporal

El estudio permite comparar los procesos dinámicos que se han ido realizando dentro de una zona determinada, a partir de un análisis de dos o más imágenes satelitales de diferentes años, donde se puede observar los cambios ocurridos sobre el territorio (Chuvienco, 2008), y los cambios en los distintos estados fenológicos en la vegetación (Zabala, 2016).

En estos estudios se pueden emplear diversas metodologías, pero conviene tener en cuenta algunas consideraciones (Zabala, 2016):

La intersección de clasificaciones de imágenes pertenecientes a distintas fechas reduce generalmente las clasificaciones erróneas.

La superposición o integración de las imágenes previamente a la clasificación reduce generalmente los errores de clasificación en ambos sentidos.

3.5. Especies forestales

Un país relativamente pequeño como el Ecuador, se estima que tiene cerca de 2.000 diferentes especies de árboles. Muy pocos de éstos han sido objeto de una investigación completa en cuanto a crecimiento, potencial para reforestación y especialmente cuantificación de emisiones a la atmósfera producto de su actividad biológica (Caranqui, 2015).

3.5.1. *Eucalyptus globulus* Labill

Pertenece a la familia Myrtaceae (Tabla 3), llegan a medir hasta los 50 m de altura y 1,20 m de diámetro en estado fustal (adulto), el tronco es cilíndrico y recto; en estado latizal (joven) las hojas son opuesta, sésiles de color gris azulado y en árboles adultos son alternas, pecioladas de 15 a 25

cm de largo. Además, esta especie es muy cotizada en el país para el mercado forestal por su madera fina (MAGAP, 2013).

Tabla 3. Descripción taxonómica del *Eucalyptus globulus L.*

Descripción Taxonómica	
Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae
Género	<i>Eucalyptus</i>
Especie	<i>Eucalyptus globulus</i>
Nombre común	Eucalipto



Fuente: MAGAP, 2013

3.5.2. *Pinus radiata*

Esta especie (Tabla 4) puede alcanzar hasta los 30 m de altura, tiene forma de acículas, su tronco es recto de color café agrietado. Las condiciones ambientales adecuadas son: precipitación de 800 a 1.300 mm, una temperatura de 11 a 17 °C, cultivados en suelos de textura media y livianos se desarrolla correctamente hasta altitudes entre 1.800 – 3.500 msnm (MAGAP, 2013).

Tabla 4. Descripción taxonómica del *Pinus radiata*

Descripción Taxonómica	
Reino	Plantae
Clase	Pinopsida
Orden	Pinales
Familia	Pinaceae
Género	<i>Pinus</i>
Especie	<i>Pinus radiata</i>
Nombre común	Pino



Fuente: MAGAP, 2013

3.5.3. *Alnus acuminata*

El aliso también llamado cerezo o ailes (Tabla 5), se localiza en Centro América y en algunas regiones de Sudamérica, son caducifolios y llegan a medir hasta 30 metros de altura con hojas lisas de coloración café rojizo, hojas oblongas de 7 a 13 cm de longitud y con estróbilos de 1 a 2 cm de longitud. Puede adaptarse a temperaturas de entre 12 a 23 °C y precipitación anual de 1500 a 3000 mm (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2015).

Tabla 5. Descripción taxonómica del *Alnus acuminata*

Descripción Taxonómica	
Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fagales
Familia	Betulaceae
Género	<i>Alnus</i>
Especie	<i>Alnus acuminata</i>
Nombre común	Aliso, ailes, cerezo



Fuente: (CONAFOR, 2015; MAGAP, 2013)

4. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación es diagnóstico-experimental y consiste en un estudio de Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos que se llevó a cabo en el cantón Riobamba, el monitoreo se efectuó en la parroquia Cacha, dado que en la zona se encuentran las tres especies vegetales en estudio, de las cuales se obtuvo las firmas espectrales y determinó la ubicación geográfica de las especies vegetales para su posterior cálculo de las emisiones biogénicas en el cantón.

4.1. Definición de las parcelas de monitoreo

Se consideró la accesibilidad y abundancia de las especies forestales dentro de la parroquia Cacha, de forma previa se obtuvo la ubicación geográfica en formato shapefile de cada especie a través

del geoportal SIGTIERRAS, basándose en el área ocupada por cada especie se aplicó la ecuación de poblaciones finitas para obtener el tamaño muestral. (López, 2014):

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{(N \times E^2) + (Z^2 \times p \times q)} \quad (2)$$

Donde: **n**: representa el tamaño de muestra; **Z**: nivel de confianza = 95% = 1,96; **N**: población de estudio; **E**: Error de estimación = 0.05; **p**: probabilidad de éxito = 0.5; **q**: probabilidad de fracaso= 0.5

Las parcelas se disponen de forma circular (Figura 4) con una área de 500 m² cada una y para la distribución de las mismas se toma en cuenta la proporción de área ocupada por cada especie vegetal en la zona de estudio (Modificado de: CONAFOR, 2011; MAGAP, 2016).

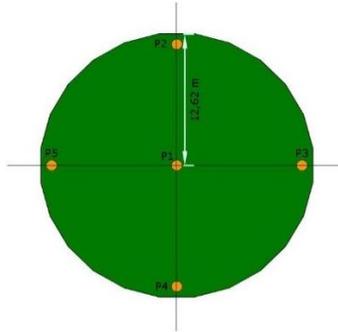


Figura 4: Unidad de muestreo a utilizarse en bosques

Fuente: (modificado de CONAFOR, 2011)

4.2. Obtención de Firmas Espectrales

Comprende la recolección, el análisis estadístico y la obtención de las firmas espectrales características para las especies de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* Labill y *Alnus acuminata*, por ello se ha tomado como referencia la metodología propuesta por Carrillo (2016).

4.2.1. Recolección de las firmas espectrales

Se empleó la sonda de contacto para Plantas del espectro-radiómetro Field Spec 4 para minimizar los errores de medición asociados a la radiación solar, nubes y viento que podrían alterar las mediciones.

El método de muestreo aplicado es el Aleatorio Simple, donde se seleccionaron 5 muestras distribuidas en una parcela, cada muestra representa un árbol, del cual se tomó 5 submuestras foliares de la copa (Figura 5).

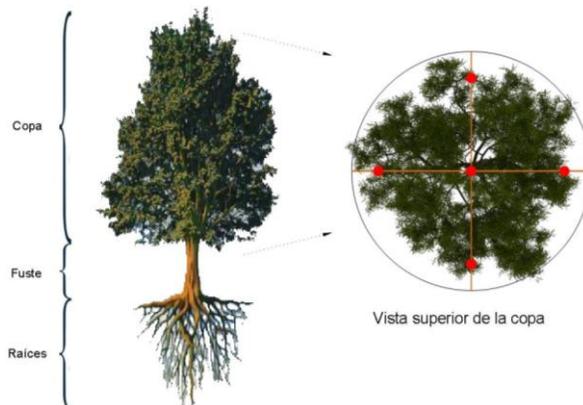


Figura 5: Componentes de un árbol y muestreo foliar

Fuente: (modificado de Áreas & González, 2008)

4.2.2. Obtención de las firmas espectrales representativas

Los datos de campo se agrupan en una base de datos para cada especie, analizando las firmas espectrales con el software View Spec Pro y Minitab 18. En este contexto también se comprueba estadísticamente la consistencia de los niveles de reflectancia de las firmas espectrales utilizando el software SAMS, descartando aquellas que no presentan una tendencia similar al grupo de metadatos; con la función Average del software SAMS se obtiene la firma promedio de cada especie.

4.3. Estudio Multitemporal

Se realizó una comparación de coberturas de las especies forestales, empleando dos imágenes satelitales de Landsat 8 descargadas de la base de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) con una resolución espacial de 30 x 30 m por píxel.

4.3.1. Pre-Procesamiento de imágenes satelitales

La corrección atmosférica permite eliminar el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada por los gases, partículas en suspensión, aerosoles y nubes (Luna, 2011), por tanto se corrigió atmosféricamente las bandas 2, 3, 4, y 5 de las imágenes capturadas

el 30 de octubre del 2014 y 20 de septiembre del 2017, empleando el software QGIS 3, obteniendo un producto de localización geográfica con mayor precisión..

Adicionalmente se combinó las bandas espectrales en el software ArcGIS 10.3, para nuestro caso se utilizó la combinación 4-3-2 permitiendo apreciar un color real de la superficie terrestre ante la vista humana.

4.3.2. Evaluación del NDVI

Para la evaluación del índice NDVI se empleó los valores obtenidos en campo y de las imágenes satelitales con el fin de obtener una mayor fiabilidad en los puntos de control.

4.3.2.1. NDVI de Campo

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se calcula empleando la Ecuación 1, a partir del promedio de la longitud de onda entre 640 a 670 nm y 850 a 880 nm, que corresponde a las bandas 4 y 5 del satélite Landsat 8 respectivamente (Bravo, 2017), de cada submuestra que comprenden las parcelas de monitoreo, finalmente el promedio de las submuestras de cada parcela pertenece al valor del NDVI agrupado según el estado vegetativo de cada especie.

4.3.2.2. NDVI de las Imágenes Satelitales

El cálculo se ejecutó con la herramienta Ráster Calculator del software ArcGIS 10.3, ingresando las bandas 4 y 5 de las imágenes satelitales, extrayendo los valores del índice de cada píxel correspondiente a las parcelas de monitoreo según el estado vegetativo de las especies.

4.3.3. Clasificación supervisada

La clasificación supervisada de las imágenes satelitales se realizó de la siguiente manera:

1. Determinación de los puntos de Control

Las parcelas de monitoreo para cada especie fueron empleadas como puntos de control, determinando su ubicación geográfica con el equipo GPS.

2. Selección de Áreas de Entrenamiento (ROIs)

Las áreas de entrenamiento fueron creadas mediante la herramienta ROIs Tools del software ENVI 5.3, basándose en los valores de NDVI de las parcelas de monitoreo y tomando como referencia la información cartográfica publicada en el Geoportal SIGTIERRAS.

3. Aplicación del Algoritmo Clasificador

Se aplicó el algoritmo clasificador de máxima verosimilitud con el software ENVI 5.3, el cual compara los píxeles de la imagen satelital con aquellos tomados como áreas de entrenamiento, asignando de este modo los píxeles a la clase más probable que pertenezcan. La clasificación resultante fue exportada a formato shapefile.

4.3.4. Cálculo de la Deforestación Bruta Anual Promedio (R)

Se obtuvo mediante la ecuación 3, misma que mide la deforestación total anual en un determinado período, propuesta por Puyravaud (MAE, 2011)

$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Donde: **A₁**: área de bosque inicial; **A₂**: área de bosque final; **t₁**: fecha inicial; **t₂**: fecha final

4.3.5. Calculo de la Tasa Anual de Deforestación Bruta (q)

La tasa de deforestación se obtiene comparando el área cubierta por bosque en la misma región en dos años diferentes, para ello se empleó la siguiente ecuación (Puyravaud citado por MAE, 2011).

$$q = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{\frac{1}{(t_2-t_1)}} - 1 \quad (4)$$

Donde A_1 , A_2 , t_1 , t_2 se definen como en la ecuación 3.

4.4. Estudio de Temperatura

Para la elaboración de mapas de temperatura de los años 2014 y 2017 se emplean los datos de las estaciones meteorológicas automáticas: ESPOCH, UNACH, San Juan, Alao, Tunshi, Quimiag, y Urbina. Al tratarse de una base de datos de temperatura horaria incompleta, para el relleno se

empleó el método de Regresión Lineal de la forma “ax+b”, considerando la relación inversamente proporcional que existe entre la temperatura y la altitud de las estaciones meteorológicas (Serrano et al., 2012).

Los mapas de Temperatura se generan con los datos de un día promedio (0 a 23 horas) de cada mes utilizando el método de interpolación Kriging Universal del software ArcGIS 10.3, debido a los resultados fiables del modelamiento a través de una función determinística polinómica (ESRI, 2018), todo esto con la finalidad de asignar valores de temperatura en toda el área del cantón Riobamba.

4.5. Cálculo de las Emisiones de COVB

Las emisiones se calculan tomando como base los mapas horarios de temperatura generados para cada mes. Se empleó los valores de densidad de biomasa y los factores de emisión para Monoterpenos y OCOV propuestos por Guenther, descritos en la Tabla 6.

Tabla 6. Densidad de biomasa y factores de emisión para Monoterpenos y OCOV

Especie	Densidad de Biomasa [g _{biom} /m ²]	FE Monoterpenos [μg/ g _{biom} h]	FE OCOV [μg/ g _{biom} h]
Pinos (<i>Pinus</i>)	700	3,4	1,85
Eucaliptos (<i>Eucalyptus</i>)	375	3,4	1,85
Aliso (<i>Alnus</i>)	375	0,1133	1,85

Fuente: Guenther et. al. citado por Velasco & Bernabé, 2004 p. 60

4.5.1. Monoterpenos

Las emisiones horarias de Monoterpenos se calcularon mediante las fórmulas planteadas por Guenther (Viteri, 2012).

$$E_{mon}(K, horario) = EF_j^{mon} \times M(T) \times FBD_j \times A \quad (5)$$

Donde: **E_{mon}(k, horario)**: emisión horaria de monoterpenos en cada celda *k* (μg/h); **EF_j^{mon}**: factor de emisión estándar de monoterpenos asociado con la categoría *j* de uso de suelo (μg/g.h); **FBD_j**:

densidad de biomasa foliar de la clase j de uso de suelos (g/m^2); \mathbf{A} : área de cada celda (900 m^2); $\mathbf{M(T)}$: factor de corrección ambiental perteneciente a la temperatura.

Los mapas horarios de temperatura en grados Kelvin fueron utilizados como base para el cálculo de los factores de corrección ambiental mediante la herramienta Ráster Calculator del software ArcGIS 10.3 que genera una malla de celdas de 900 m^2 empleando la ecuación 6 (Viteri, 2012).

$$M(T) = \exp(\beta \cdot (T - T_s)) \quad (6)$$

Donde: β : es un coeficiente empírico ($0.09 \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$); \mathbf{T} : temperatura de la hoja es igual a temperatura ambiental en $^\circ\text{K}$; $\mathbf{T_s}$: temperatura estándar ($303 \text{ }^\circ\text{K}$)

Los valores calculados matemáticamente de Monoterpenos para los años 2014 y 2017, son datos de emisiones horarias, que se aplican en la ecuación 7 para el cálculo de las emisiones diarias.

$$E_{mon}(K, \text{diaria}) = \sum_{h=1}^{24} E_{mon}(k, \text{hora}) \quad (7)$$

Las emisiones diarias de monoterpenos $E_{mon}(K, \text{diaria})$ son utilizadas en la ecuación 8 para el cálculo de las emisiones mensuales.

$$E_{mon}(K, \text{mensual}) = 30 \times E_{mon}(k, \text{diaria}) \quad (8)$$

El cálculo de las emisiones anuales de Monoterpenos son obtenidas mediante la ecuación 9 utilizando los valores mensuales.

$$E_{mon}(K, \text{anual}) = \sum_{m=1}^{12} E_{mon}(k, \text{mensual}) \quad (9)$$

4.5.2. Otros compuestos orgánicos volátiles biogénicos

Son calculados con la ecuación 10 utilizada también anteriormente en el cálculo de monoterpenos, considerando la variación de los factores de emisión (Viteri, 2012).

$$E_{ocov}(K, \text{horario}) = EF_j^{ocov} \times M(T) \times FBD_j \times A \quad (10)$$

Donde: $E_{ocov}(k, \text{horario})$: es la emisión horaria de OCOV en cada celda k ($\mu\text{g/h}$); EF_j^{ocov} : es el factor de emisión estándar de OCOV asociado con la categoría j de uso de suelo ($\mu\text{g/g.h}$)

Las emisiones diarias, mensuales y anuales de otros compuestos orgánicos volátiles son obtenidas mediante las ecuaciones 7, 8 y 9 respectivamente.

4.6. Medición de compuestos orgánicos volátiles y Dióxido de Nitrógeno

Consiste en una aplicación experimental, donde se analizó las concentraciones de COV y NO_2 en 4 parcelas de cada especie, en el caso de *Eucalyptus globulus* L. las parcelas 1, 2, 3 y 6, empleando el equipo analizador de gases Aeroqual S-500; las mediciones se tomaron durante 9 días, entre las 11:00 y 15:00 debido a que se presentan en este intervalo las mayores temperaturas diarias (Modificado de Limonchi, 2010).

Para el uso del analizador de gases se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

Al encender el equipo es necesario esperar durante 3 minutos, tiempo que tarda en calentarse el sensor para quemar cualquier contaminante.

Las mediciones de los gases deben efectuarse a una altura de 1,50 m sobre el suelo (Lin et al., 2015)

El monitor debe mantenerse en modo stand by cuando el equipo está inactivo para mantener el sensor calentado.

Las variables meteorológicas que influyen sobre la parroquia Cacha, se obtuvieron aplicando una interpolación con el método kriging universal de la información recopilada de las estaciones meteorológicas automáticas: ESPOCH, UNACH y San Juan debido a su cercanía.

El análisis de la influencia existente de las variables meteorológicas: Temperatura, Radiación Solar y Velocidad del Viento sobre las concentraciones de COV, emplea el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson (Triola, 2013), relacionando las emisiones biogénicas obtenidas a través del método de Guenther con las concentraciones en condiciones naturales.

Para el análisis estadístico de las concentraciones de NO_2 se empleó el método de prueba ANOVA de dos vías con el software Minitab 18, agrupando las variables temperatura y radiación solar global. Para el análisis gráfico se aplicó el método de media móvil de orden 3 para obtener un suavizado de las curvas, eliminando el ruido y destacando la tendencia (Triola, 2013).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Definición del Área de Estudio

La presente investigación se llevó en el cantón Riobamba, que se encuentra a una altitud de 2750 m.s.n.m., se localiza en la región Sierra Central y constituye la capital de la Provincia de Chimborazo (GADM Riobamba, 2015).

5.2. Evaluación de Firmas Espectrales Representativas

El muestreo se realizó durante 3 días, obteniendo 3750 firmas espectrales de las tres especies en estudio, correspondiendo a 7 parcelas de *Eucalyptus globulus L.*, 4 de *Pinus radiata* y 4 de *Alnus acuminata* (Tabla 7).

Tabla 7. Descripción de las parcelas de monitoreo

Especie	Parcela N	Estado Vegetativo	Coordenadas		
			X	Y	Z
<i>Eucalyptus globulus L.</i>	1	Latizal	755647	9812023	3137
	2	Fustal	755397	9811623	3195
	3	Latizal	756075	9811468	3155
	4	Fustal	756031	9811558	3146
	5	Fustal	755538	9811849	3115
	6	Latizal	755306	9811364	3250
	7	Latizal	755370	9811303	3220
<i>Pinus radiata</i>	1	Latizal	754935	9807413	3576
	2	Latizal	754995	9807455	3549
	3	Fustal	755735	9807979	3453
	4	Fustal	755779	9808061	3440
<i>Alnus acuminata</i>	1	Latizal	755796	9808122	3434
	2	Latizal	755720	9808059	3459
	3	Latizal	756155	9811455	3162
	4	Latizal	755386	9811688	3184

Elaborado por: Los Autores

En nuestro país existen plantaciones forestales de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus L* que son cultivadas con fines comerciales, pero a partir del 2014 el MAE llevó a cabo el Plan Nacional de Forestación y Reforestación con especies nativas entre las que se encuentra el *Alnus acuminata*. A nivel local las actividades de forestación y reforestación se han implementado bajo la supervisión del GAD Provincial de Chimborazo, priorizando parroquias como Cacha que en el año 2014 concluyó la primera fase de plantación y se pretende restaurar 188,4 hectáreas (MAE, 2016).

Las firmas espectrales fueron tratadas estadísticamente con el software SAMS 3.2; para la corrección de saltos se utilizó la herramienta Jump Correction, el mismo que corrige el nivel de reflectancia en la firma.

Los espectros que se encontraron fuera de la tendencia de los estados vegetativo latizal y fustal de las tres especies en estudio, fueron eliminados con la ayuda del software Minitab 18, obteniendo la desviación estándar agrupada para descartar diferencias significativas entre los espectros agrupados por parcelas. El anexo 1 muestra el comportamiento de la reflectancia en las longitudes de onda 640 – 670 nm y 850 – 880 nm.

5.2.1. Evaluación de la Firma Espectral del *Eucalyptus globulus L.* (Eucalipto)

La firma espectral tomada en estado vegetativo fustal y latizal del *Eucalyptus globulus L.* (Anexo 2; Figura 6) tienen una similitud de los valores de reflectancia vs longitud de onda, en especial aquellos que van desde 640 a 880 nm (teniendo en cuenta que 1 μm equivale 1000 nm) y de acuerdo a Bravo (2017) éste es el rango que comprende al NDVI para el satélite Landsat 8.

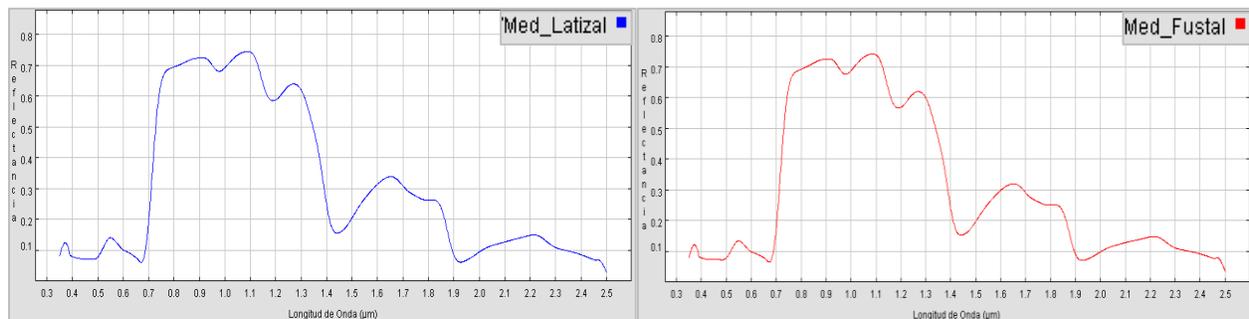


Figura 6: Estándar de la Firma espectral de *Eucalyptus globulus L.*

Elaborado por: Los Autores

El nivel de reflectancia en ambos estados vegetativos no difiere significativamente en el rango que comprende el NDVI, el pico más alto del estado latizal tiene una reflectancia de 72,18 % y el fustal 72,27 %; según Hernández & Montaner (2009), el comportamiento se debe a la similitud en la estructura de las hojas en los dos estados vegetativos.

5.2.2. Evaluación de la Firma Espectral del *Pinus radiata* (Pino)

La firma espectral del *Pinus radiata* (Anexo 2; Figura 7) muestra que los niveles de reflectancia del estado latizal son ligeramente superiores, con un 83,82 % en el pico más elevado, mientras en estado fustal el pico más alto corresponde a 82,36 % de reflectancia.

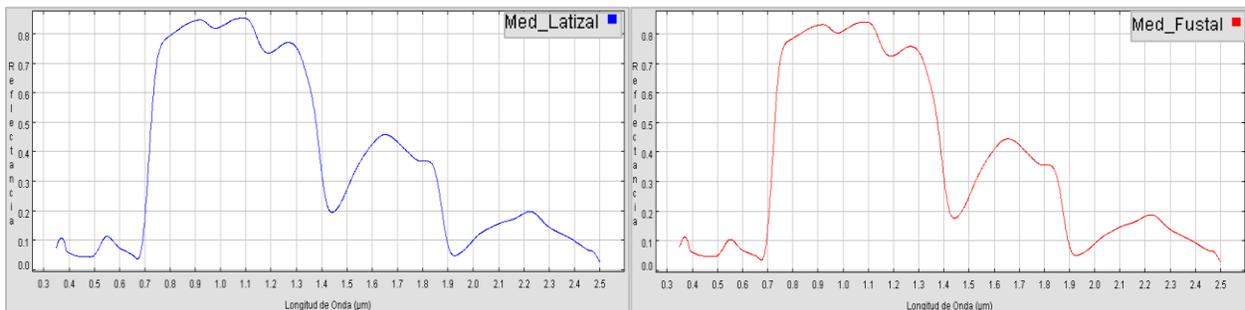


Figura 7: Estándar de la Firma espectral promedio del *Pinus radiata*

Elaborado por: Los Autores

Los valores que se encuentran dentro de la zona del infrarrojo cercano, de acuerdo a Hernández & Montaner (2009) comprenden desde 800 – 1100 nm están influenciados por la estructura de las hojas y edad del vegetal, derivando en la variación del NDVI.

5.2.3. Evaluación de la Firma Espectral del *Alnus acuminata* (Aliso)

La firma espectral representativa del *Alnus acuminata* (Anexo 2; Figura 8) en estado latizal evidencia que el pico más alto tiene un 83,13 % de reflectancia en la longitud de onda 880 nm, que se encuentra dentro del rango que comprende el NDVI.

Las especies de *Alnus acuminata* y *Pinus radiata* presentan valores de reflectancia superiores (83,82 % y 83,13 %) al *Eucalyptus globulus L.* (72,18 %) en estado latizal.

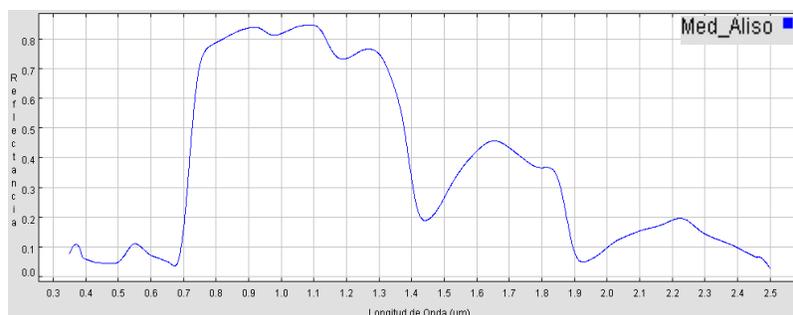


Figura 8: Estándar de la Firma espectral promedio del *Alnus acuminata*

Elaborado por: Los Autores

5.3. Análisis comparativo del NDVI

La valoración del espectro del NDVI de campo se realizó en la misma magnitud de onda en las imágenes del 30 de octubre del 2014 y 20 de septiembre del 2017, y se describen en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores calculados del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Especie	Latizal			Fustal		
	Campo	Satélite		Campo	Satélite	
		2014	2017		2014	2017
Eucalipto	0,811	0,355	0,419	0,808	0,410	0,423
Pino	0,795	0,622	0,418	0,819	0,303	0,537
Aliso	0,887	0,354	0,384	SV	SV	SV

SV: Sin valor encontrado

Elaborado por: Los Autores

El NDVI obtenido en campo son valores elevados, aproximados a 1, siendo vegetación densa y sana según Gonzaga (2014), el valor más alto se presenta en estado latizal en la especie de *Alnus acuminata* con 0,887 y el menor resultado del índice corresponde a la especie de *Pinus radiata* con 0,795; mientras que, en estado fustal el valor más alto corresponde a 0,808 de *Eucalyptus globulus L.* y el más bajo a 0,819 de *Pinus radiata*.

Utilizando la información de los mapas de NDVI de las imágenes satelitales (Anexo 3), se determinó que para el año 2014 el valor mínimo es 0,303 del *Pinus radiata* en estado fustal y el

más alto en estado latizal con 0,622, mientras que, para el año 2017 el valor más alto es 0,537 correspondiente a *Pinus radiata* en estado fustal y el más bajo es 0,384 de *Alnus acuminata*.

La especie de *Alnus acuminata* en campo nos da un valor alto (0,887) en comparación a la imagen satelital de los años 2014 y 2017 que corresponde a 0,354 y 0,384 respectivamente, causado porque el píxel de 30 x 30 m no está cubierto totalmente de vegetación, y por consiguiente se muestra un valor promedio con las coberturas adyacentes que se encuentran presentes en las plantaciones de la especie.

Los valores de NDVI del *Eucalyptus globulus L.* de las Imágenes satelitales con 0,795 se asemejan a los valores obtenidos en campo con 0,622 especialmente es estado latizal, teniendo en cuenta que este terreno es destinado para las plantaciones con fines comerciales.

5.4. Clasificación de Coberturas Vegetales

Las imágenes satelitales tratadas atmosféricamente fueron utilizadas para obtener las coberturas en los años 2014 – 2017 aplicando el algoritmo de máxima verosimilitud, esto se demuestra en las matrices de confusión (Tabla 10-11) en ambos años, para las 3 especies en estudio donde se obtuvo un coeficiente kappa superior a 0,85 y de acuerdo a Landi y Koch (Tabla 9) es una clasificación Casi Perfecta.

Tabla 9. Valoración del coeficiente kappa

Coeficiente kappa	Fuerza de Concordancia
0,00	Pobre (<i>Poo</i>)
0,01 - 0,20	Leve (<i>Slight</i>)
0,21 - 0,40	Aceptable (<i>Fair</i>)
0,41 - 0,60	Moderada (<i>Moderate</i>)
0,61 - 0,80	Considerable (<i>Substantial</i>)
0,81 - 1,00	Casi perfecta (<i>Almost perfect</i>)

Fuente: Landi y Koch citado por Carrillo, 2016

a. Matriz de Confusión del *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus L.* en 2014-2017

La matriz de confusión obtenida para el año 2014 utilizando la imagen del 30 de octubre del 2014, nos da como resultado una clasificación del *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus L.* casi perfecta de acuerdo Landi y Koch (citado por Carrillo, 2016), muestra una precisión de 0,92 en el coeficiente Kappa.

Tabla 10. Matriz de Confusión del *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus L.* (2014-2017)

Año		Pino	Eucalipto	Intervención	Total	Kappa
2014	Pino	1687	0	0	1687	0,92
	Eucalipto	59	2324	44	2427	
	Intervención	35	75	538	648	
	Total	1781	2399	582	4762	
2017	Pino	1269	14	0	1283	0,90
	Eucalipto	23	2267	11	2301	
	Otros	43	118	337	498	
	Total	1335	2399	348	4082	

Elaborado por: Los Autores

La clasificación para el año 2017 empleando la imagen del 20 de septiembre del 2017, donde se utilizó para el proceso tres clases de uso de suelo (Tabla 10) obteniendo 0,90 en el coeficiente kappa demostrando que la clasificación fue casi perfecta para las especies de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus L.* del año 2017 (Tabla 9).

b. Matriz de Confusión del *Alnus acuminata* en 2017

Para la especie *Alnus acuminata* se realizó otra clasificación tomando como base a cinco clases descrita en la Tabla 11, debido a la baja separabilidad entre clases encontrada, obteniendo un coeficiente kappa de 0,85.

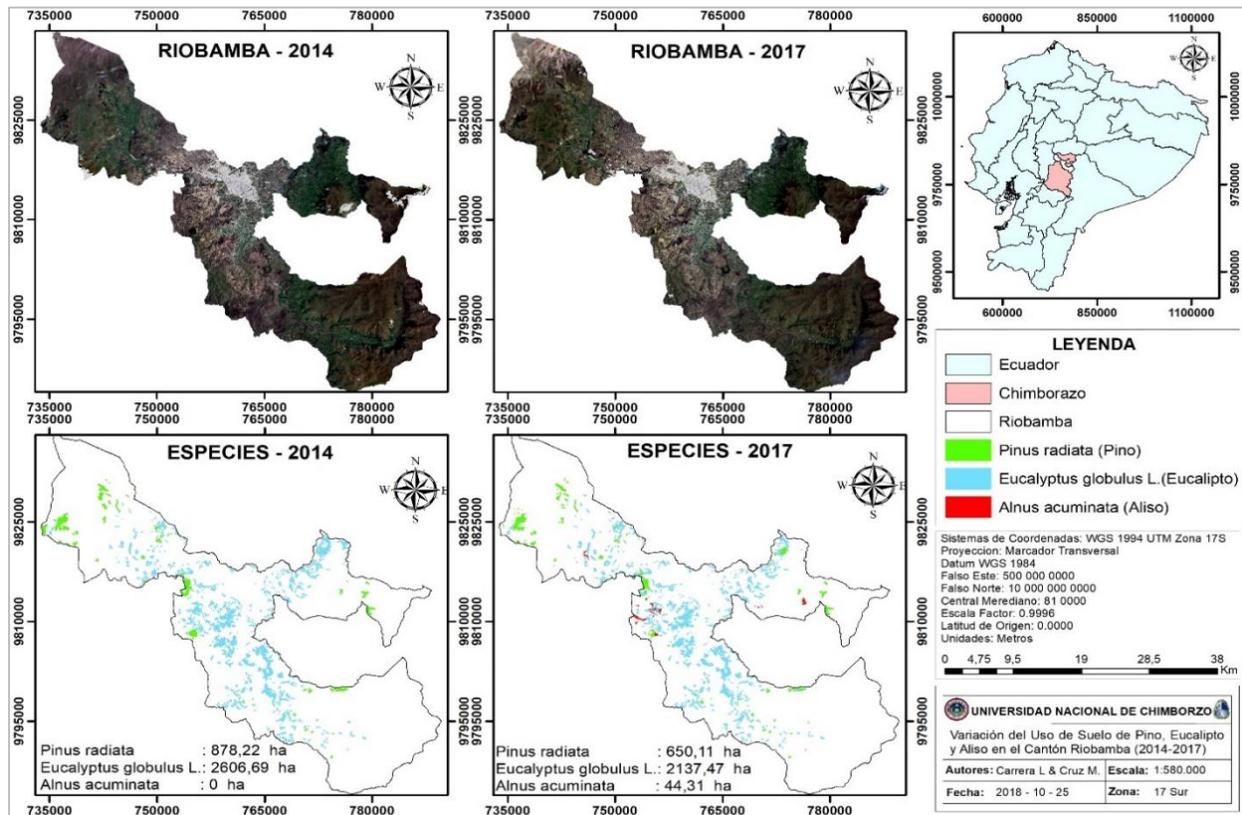
Tabla 11. Matriz de Confusión para *Alnus acuminata* (2017)

		Eucalipto	Intervención	Pino	Aliso	Pasto	Total	Kappa
Aliso 2017	Eucalipto	224	0	4	2	5	235	0,85
	Intervención	0	66	0	1	0	67	
	Pino	0	0	9	0	3	12	
	Aliso	1	0	5	36	35	77	
	Pasto	1	0	0	0	181	182	
	Total	226	66	18	39	224	573	

Elaborado por: Los Autores

5.4.1. Variación de la cobertura vegetal en los años 2014 y 2017

La variación existente en el área cubierta por especies forestales (Mapa 1) es bastante considerable en especial el *Eucalyptus globulus* L. ha sufrido una mayor deforestación, en el lapso de tres años ha disminuido 469,22 ha, y el *Pinus radiata* ha disminuido 228,11 ha en el mismo lapso de tiempo.



Mapa 1: Variación de uso de suelo por especies forestales en los años 2014 y 2017

Elaborado por: Los Autores

Por otro lado, el área cubierta por la especie *Alnus acuminata* se ha visto incrementada, ya que en el año 2014 no se encontraron plantaciones y en 2017 existieron 44,31 ha que se localizan principalmente en la parroquia Cacha producto de programas de forestación existentes.

5.4.1.1. Deforestación Bruta Anual Promedio

La deforestación bruta anual en el cantón Riobamba (Figura 9) refleja que las especies plantadas con fines comerciales como el *Pinus radiata* es deforestado 76,04 ha/año, el *Eucalyptus globulus* L. 156,41 ha/año, en contraste con especies destinadas a regeneración como el *Alnus acuminata* que presenta un crecimiento en el área que ocupa la especie, siendo -14,77 ha/año; éstos valores representan una parte considerable de la deforestación bruta anual promedio de la provincia de Chimborazo, que según MAE (2016) alcanza 928 ha/año.

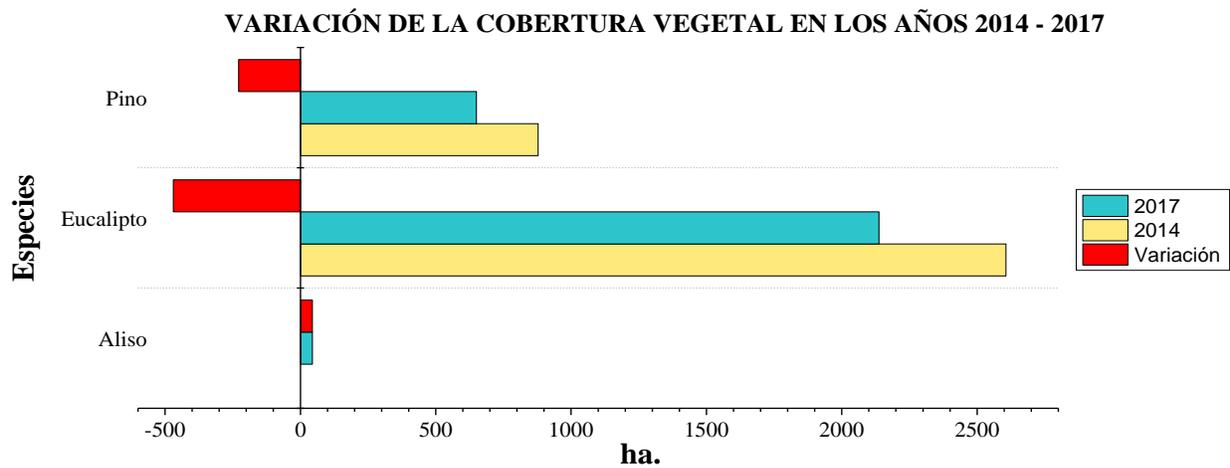


Figura 9: Valoración de la cobertura vegetal en los años 2014 y 2017

Elaborado por: Los Autores

5.4.1.2. Tasa Anual de Deforestación Bruta

Esta tasa refleja que el *Pinus radiata* es talado de una forma más agresiva a un ritmo de -9,53 %, seguido del *Eucalyptus globulus* L. con -6,40 %, para *Alnus acuminata* no fue posible obtener esta tasa debido a la ausencia de valores iniciales. Los resultados mostrados son bastante elevados si tenemos en cuenta los datos propuestos por el MAE, mostrando que en el período 2008-2014 ésta tasa fue -0,77 % a nivel nacional, aunque es preciso aclarar que el MAE toma en cuenta todas las especies vegetales y no únicamente las mencionadas en el presente estudio.

5.5. Análisis del comportamiento de la Temperatura en los años 2014-2017

La información facilitada por las estaciones meteorológicas automáticas permitió crear mapas horarios de temperatura del cantón Riobamba para los años 2014 y 2017.

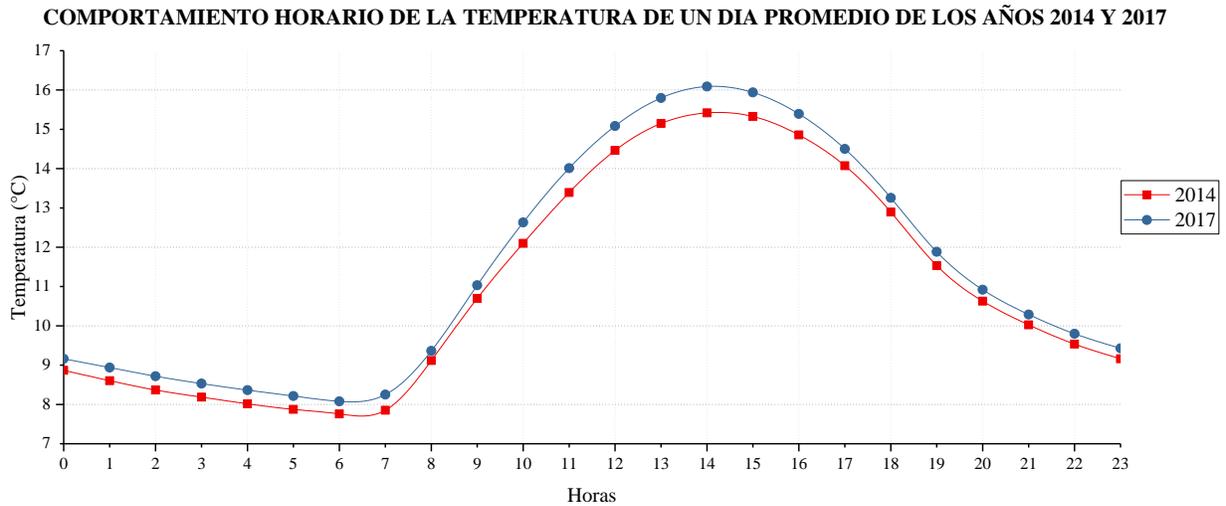


Figura 10: Comportamiento horario de la temperatura de un día promedio en el 2014-2017

Elaborado por: Los Autores

El comportamiento horario de la temperatura (Figura 10) evidencia que en el año 2017 las temperaturas medias horarias son ligeramente mayores que en el año 2014, haciendo énfasis entre las 13:00 y 15:00 horas que es donde se presentan las temperaturas más elevadas.

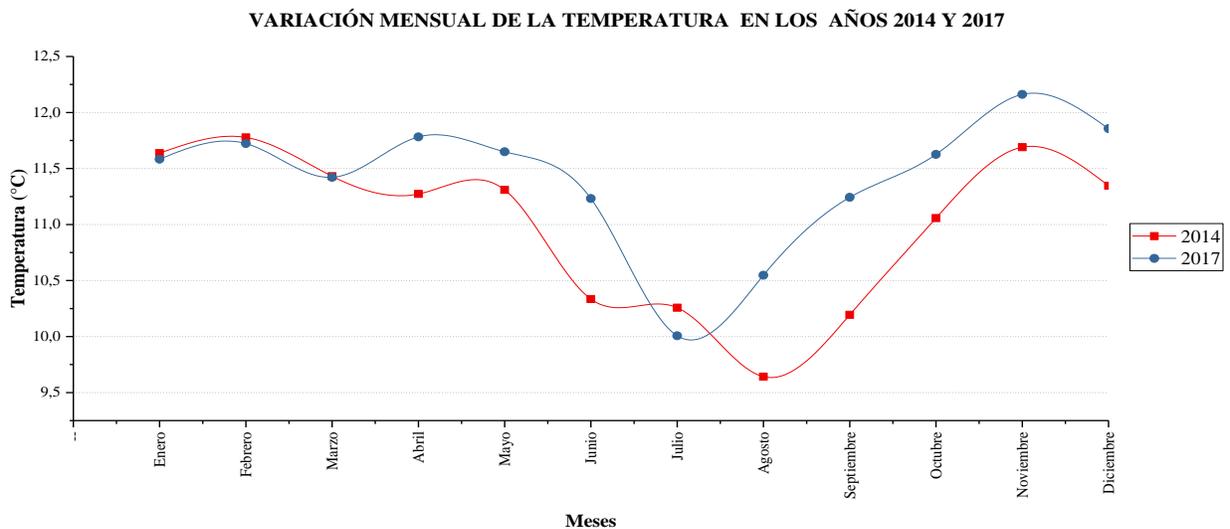


Figura 11: Variación de la temperatura media mensual de los años 2014 y 2017

Elaborado por: Los Autores

La temperatura tiene un comportamiento similar en los dos años (Anexo 4-5; Figura 11), pero se evidencia que en el año 2014 el mes con una temperatura inferior es agosto, llegando a 9,64 °C, mientras que, en el año 2017 con 10,01 °C el mes de julio tiene la temperatura media mensual más baja. Los valores medios mensuales más altos de temperatura registrados en el año 2014 corresponden al mes de febrero con 11,78 °C, sin embargo, el mes noviembre del 2017 tiene un valor más elevado alcanzando 12,16 °C, condicionando de esta manera las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen natural.

La variación de la temperatura promedio mensual correspondiente a los años 2014 y 2017 se obtuvo del Geoportal de Estaciones Meteorológicas (REDCEDIA, UNACH, ESPOCH, & Universidad de Cuenca, 2018) y se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Temperatura promedio mensual de los años 2014 y 2017

MESES	AÑOS	
	2014	2017
Enero	11,64	11,58
Febrero	11,78	11,72
Marzo	11,43	11,42
Abril	11,27	11,78
Mayo	11,31	11,65
Junio	10,33	11,23
Julio	10,26	10,01
Agosto	9,64	10,55
Septiembre	10,19	11,24
Octubre	11,06	11,63
Noviembre	11,69	12,16
Diciembre	11,35	11,86

Fuente: (REDCEDIA et al., 2018)

Elaborado por: Los Autores

5.6. Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos

Las emisiones de COVB como Monoterpenos y OCOV de las tres especies en estudio, refleja la mayor cantidad de emisiones producto de la especie más abundante que es *Eucalyptus globulus L.* que está sujeto a los factores de emisión y temperatura.

5.6.1. Emisiones Mensuales de Monoterpenos en el año 2014

Las emisiones mensuales del 2014 (Anexo 6; Figura 12) reflejan una mayor proporción de la especie de *Eucalyptus globulus L.* superando las 5,40 toneladas especialmente en febrero y noviembre. La especie *Pinus radiata* emite monoterpenos en menor cantidad alcanzando emisiones máximas de 3,03 toneladas en noviembre. *Alnus acuminata* no registra emisiones debido a la ausencia de plantaciones.

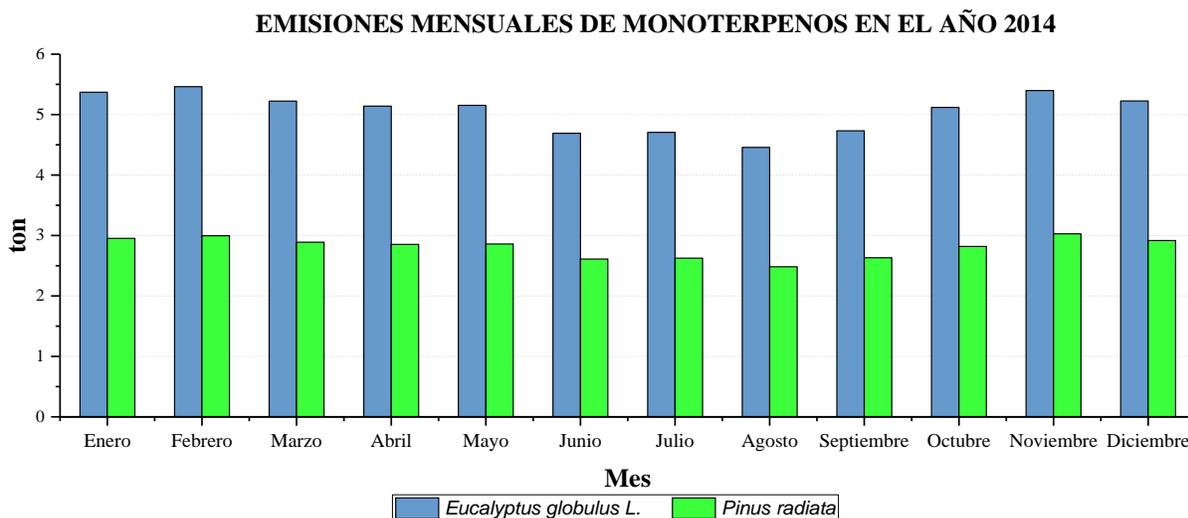


Figura 12: Emisiones Mensuales de Monoterpenos en el año 2014

Elaborado por: Los Autores

Las emisiones de monoterpenos de *Eucalyptus globulus L.* son de 60,68 ton/año y de *Pinus radiata* 33,67 ton/año, estos datos pueden verse descritos de mejor manera en el Anexo 6.

5.6.2. Emisiones Mensuales de OCOV en el año 2014

Las emisiones de OCOV del 2014 (Anexo 6; Figura 13) presentan un comportamiento similar anual a los monoterpenos discrepando que son emisiones menores, las emisiones de *Eucalyptus*

globulus L. emiten entre 2,4 y 3 toneladas mensuales y de *Pinus radiata* alcanzando un máximo de 1,65 toneladas en el mes de noviembre.

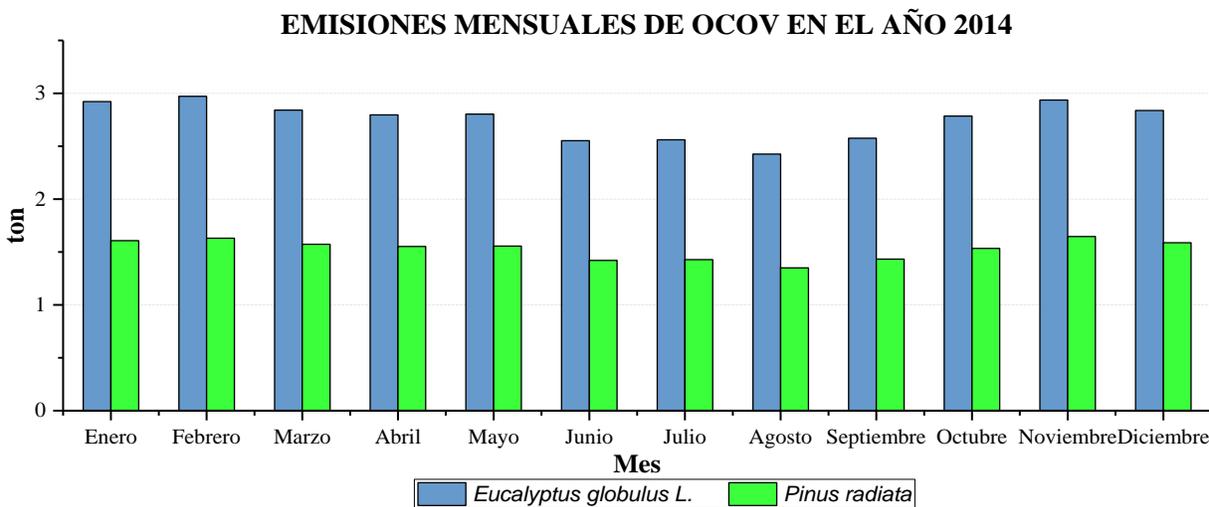


Figura 13: Emisiones Mensuales de OCOV en el año 2014

Elaborado por: Los Autores

Las emisiones totales de OCOV en 2014 por *Eucalyptus globulus L.* son de 33,01 ton/año y de *Pinus radiata* 18,32 ton/año.

5.6.3. Emisiones Mensuales de Monoterpenos en el año 2017

Las emisiones más altas de monoterpenos (Anexo 7; Figura 14) se producen por *Eucalyptus globulus L.*, y corresponden al mes de noviembre con 4,39 toneladas y las más bajas en el mes de julio con 3,59 toneladas. Las emisiones de *Pinus radiata* no superan las 2,29 toneladas mensuales. Encontrando que la especie *Alnus acuminata* presenta emisiones extremadamente bajas en comparación con las otras especies, alcanzando emisiones máximas de 0,031 toneladas en noviembre.

Las emisiones totales de monoterpenos en el 2017 son inferiores en comparación al año 2014, debido a la cobertura vegetal de cada especie, presentando emisiones de 49,05 ton/año para *Eucalyptus globulus L.*, 25,49 ton/año para *Pinus radiata* y 0,035 ton/año para *Alnus acuminata*; sólo éste último se ha incrementado dado que en 2014 no fue posible encontrar plantaciones.

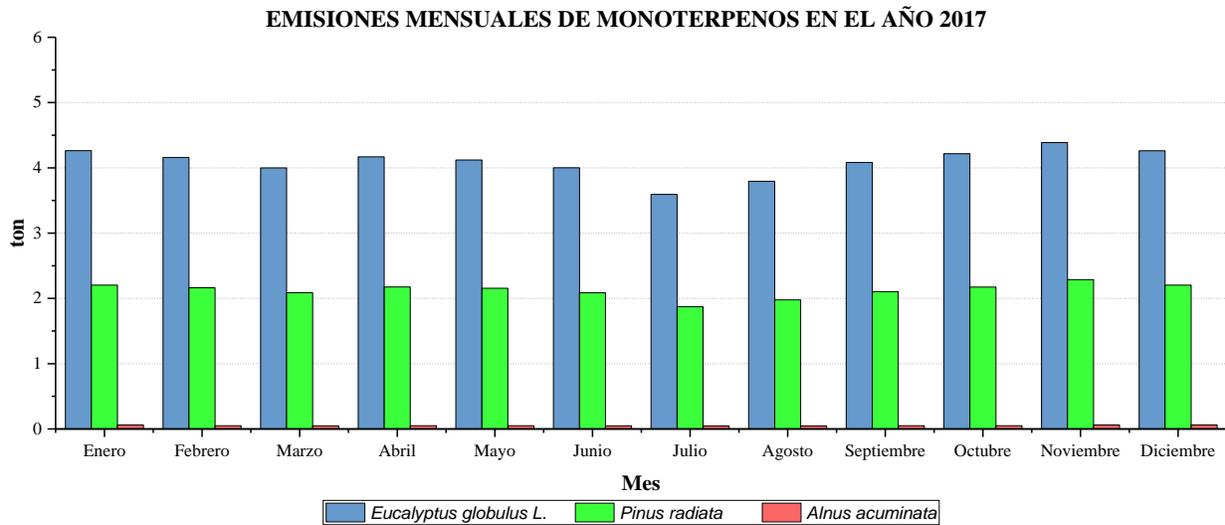


Figura 14: Emisiones Mensuales de Monoterpenos en el año 2017

Elaborado por: Los Autores

5.6.4. Emisiones Mensuales de OCOV en el año 2017

Las emisiones correspondientes a Otros Compuestos Orgánicos Volátiles para el año 2017 (Anexo 7; Figura 15), muestran que las mayores emisiones tanto para *Eucalyptus globulus L.* y *Pinus radiata* se dan el mes de noviembre (2,39 y 1,34 ton) y las menores en el mes de julio (1,95 y 1,02 ton), aunque a nivel general se registran menores emisiones en comparación con el año 2014.

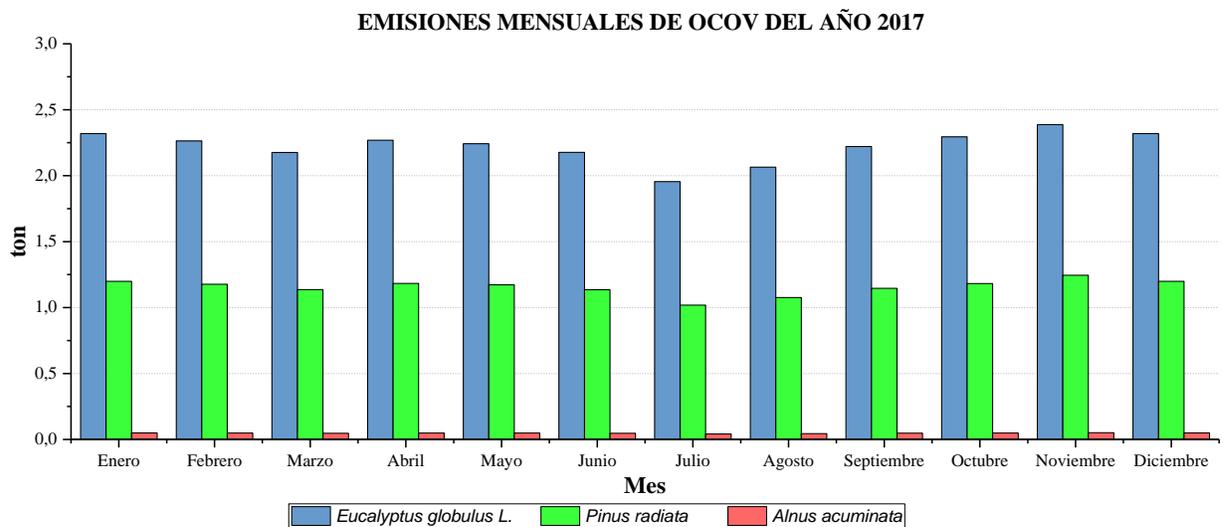


Figura 15: Emisiones Mensuales de OCOV en el año 2017

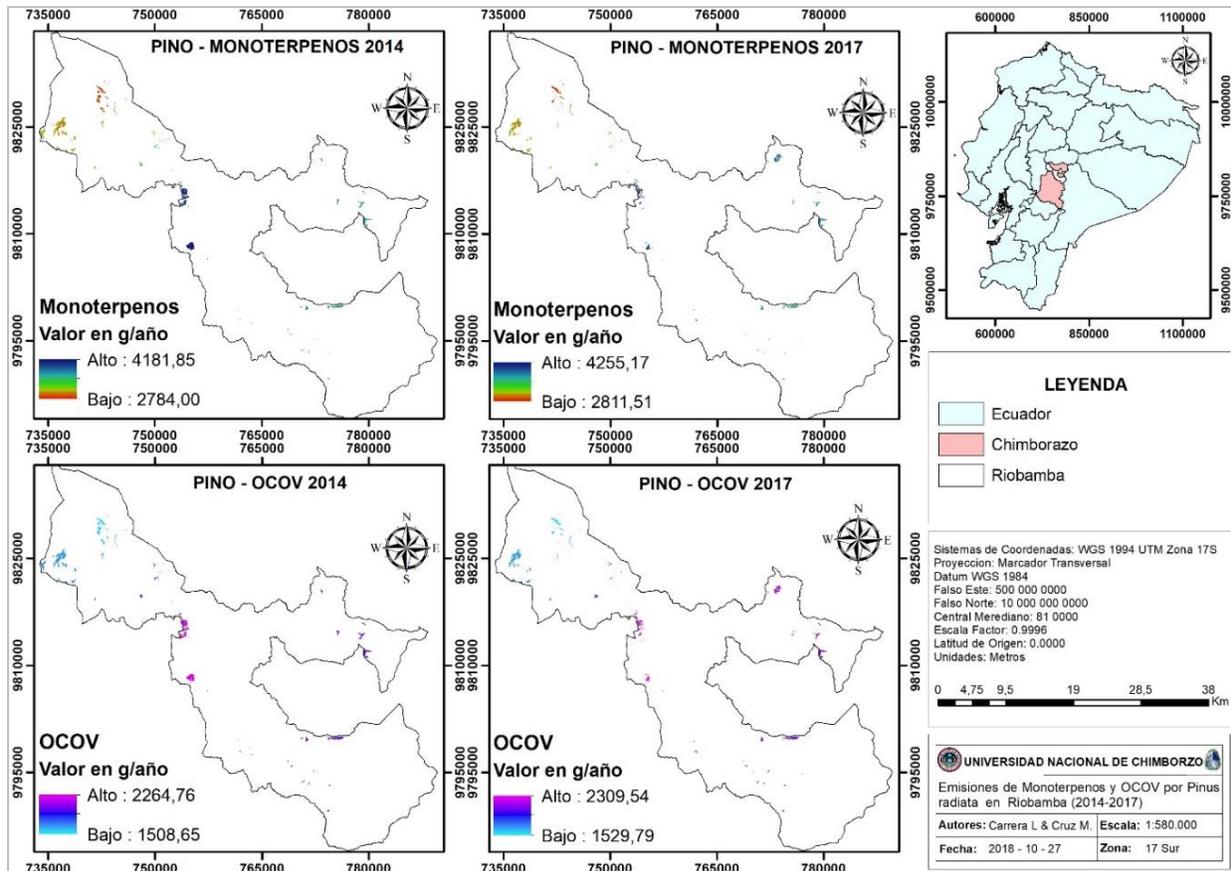
Elaborado por: Los Autores

Las emisiones producto del *Alnus acuminata* se han visto incrementadas, alcanzando 0,051 toneladas en el mes de noviembre y 0,41 en julio, siendo las emisiones mensuales más altas y bajas respectivamente.

Las emisiones totales de OCOV en el 2017 por *Eucalyptus globulus L.* 26,29 ton/año, *Pinus radiata* 13,87 ton/año, estas dos especies emiten mayores cantidades de OCOV que el *Alnus acuminata*, el mismo que alcanzo solamente 0,571 ton/año.

5.6.5. Emisiones de Monoterpenos y OCOV del *Pinus radiata* (2014 - 2017)

Las emisiones producto del *Pinus radiata* (Mapa 2) distribuidas espacialmente han aumentado para el año 2017 en monoterpenos que alcanzan valores de 4181,85 g/año en 2014 y 4255,17 g/año en 2017, estos valores se encuentran en la parte central del cantón (Anexo 4-5).



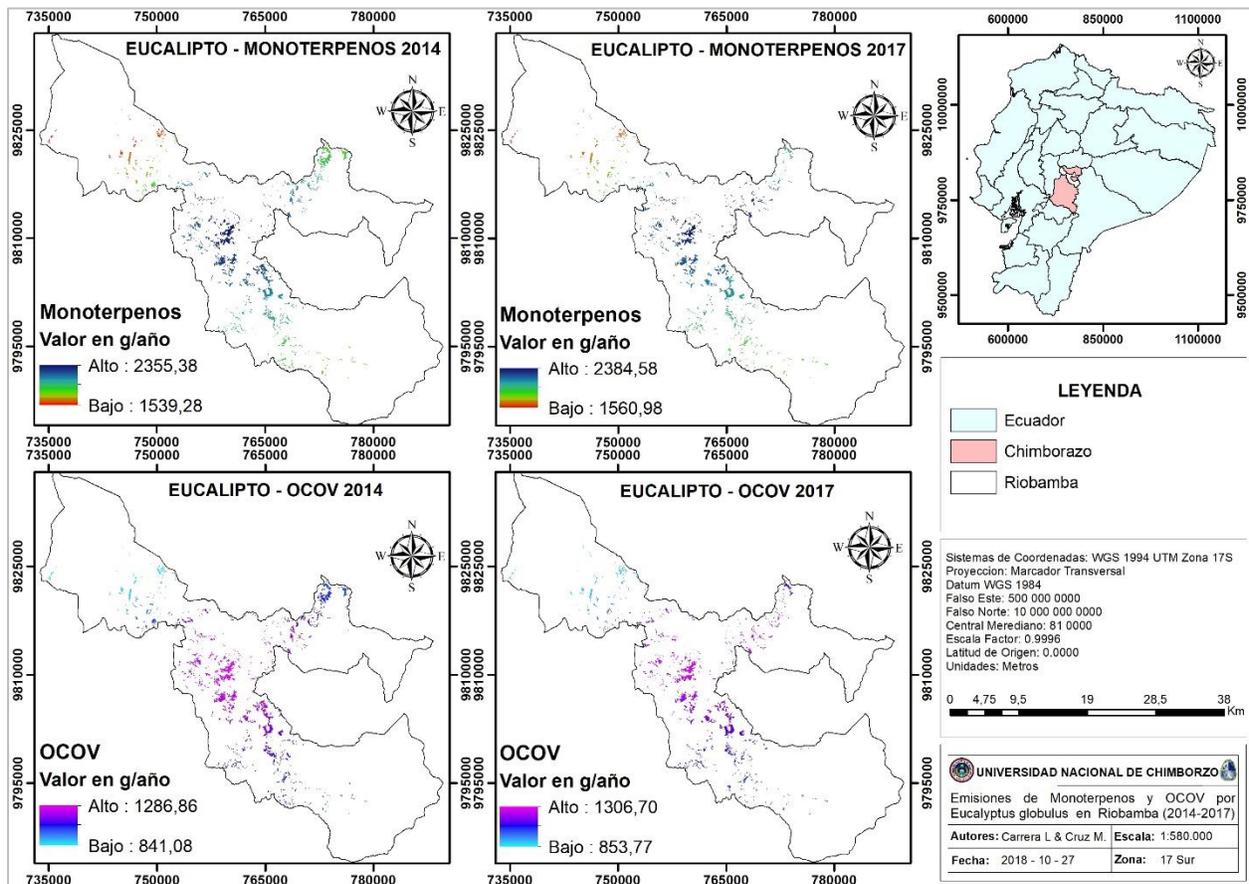
Mapa 2: Emisiones de Monoterpenos y OCOV por *Pinus radiata* en Riobamba (2014-2017)

Elaborado por: Los Autores

Las emisiones de OCOV son menores en el año 2014, van desde 1508,65 g/año a 2264,76 g/año y en el 2017 de 1529,79 g/año a 2309,54 g/año. La variación se debe a un ligero aumento de temperatura en el año 2017 apreciándose en la parte central del cantón (Anexo 5; Mapa 2), considerando que los valores mostrados corresponden a cada celda (k) de 900 m².

5.6.6. Emisiones de Monoterpenos y OCOV del *Eucalyptus globulus* (2014 - 2017)

Especialmente la especie forestal *Eucalyptus globulus* L. (Mapa 3) emite menores cantidades de monoterpenos y OCOV en relación al *Pinus radiata*, esto se debe a valores inferiores de factores de emisión y densidad de biomasa.



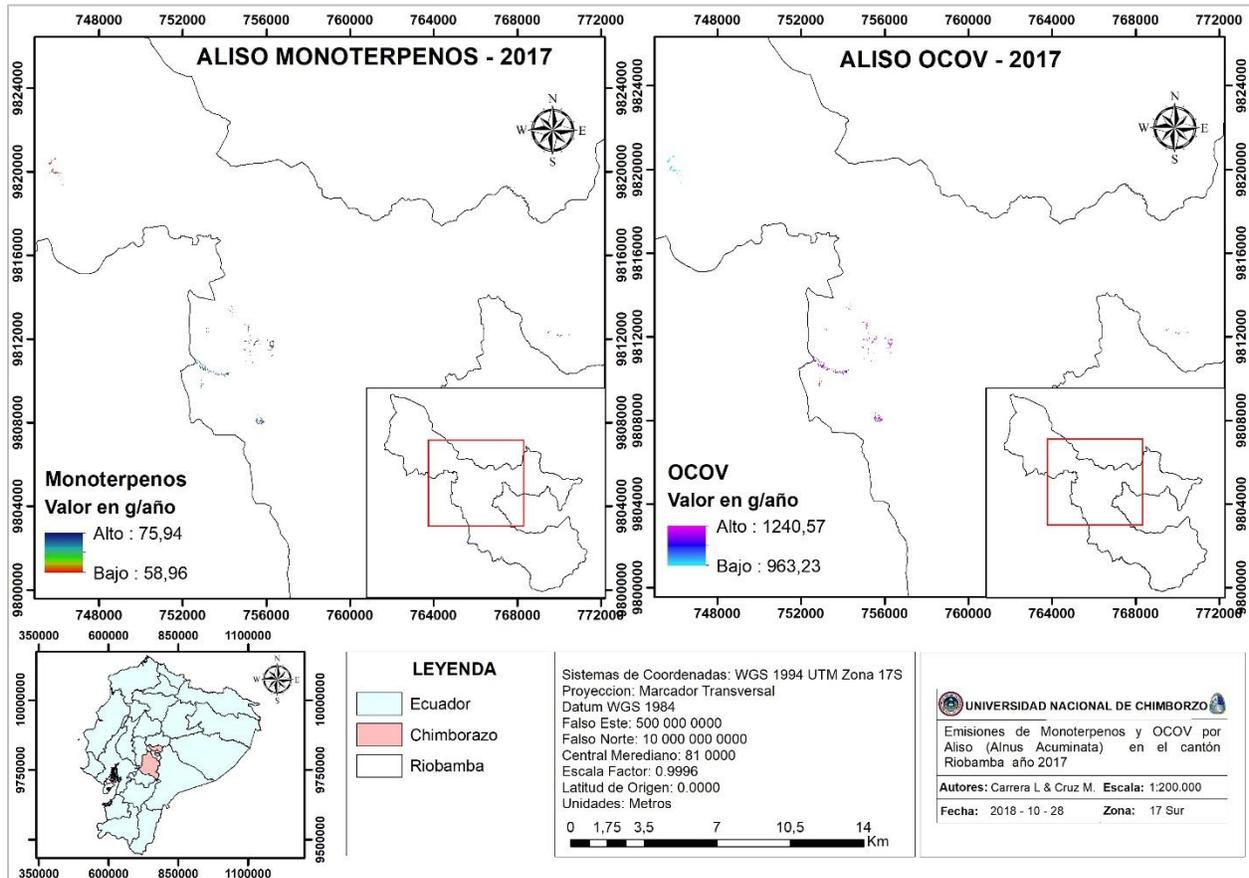
Mapa 3: Emisiones de Monoterpenos y OCOV por *Eucalyptus globulus* L. en Riobamba (2014-2017)

Elaborado por: Los Autores

Las emisiones se dan en mayores cantidades en la zona central del cantón, donde la temperatura es mayor y disminuyen hacia los extremos oriental y occidental.

5.6.7. Emisiones de Monoterpenos y OCOV del *Alnus acuminata* (2017)

El *Alnus acuminata* emite menores cantidades de monoterpenos (Mapa 4) dado que en las celdas de 900 m² únicamente se aprecia valores entre 58,96 a 75,94 g/año.



Mapa 4: Emisiones de Monoterpenos y OCOV por *Alnus acuminata* en Riobamba (2017)

Elaborado por: Los Autores

Los OCOV emitidos por esta especie son bastante altos llegando a 1240,57 g/año y podrían equipararse con el *Eucalyptus globulus L.* y *Pinus radita* a diferencia que existe una menor cobertura geográfica.

5.7. Análisis de las concentraciones COV

Se emplea el análisis estadístico descriptivo utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (r), para conocer la correlación entre las concentraciones de COV en las plantaciones de cada especie vegetal con las variables: temperatura, radiación solar global y velocidad del viento.

5.7.1. Concentraciones de COV en plantaciones de *Pinus radiata*

Las concentraciones de COV en plantaciones de *Pinus radiata*, de acuerdo al coeficiente de correlación de Pearson (r), con un nivel de confianza de 99 % (Anexo 8) tienen una correlación lineal significativa positiva mayor con la temperatura (0,725) y radiación solar global (0,535) (Figura 16), indicando que conforme aumenta la temperatura y radiación aumenta también las emisiones de COV.

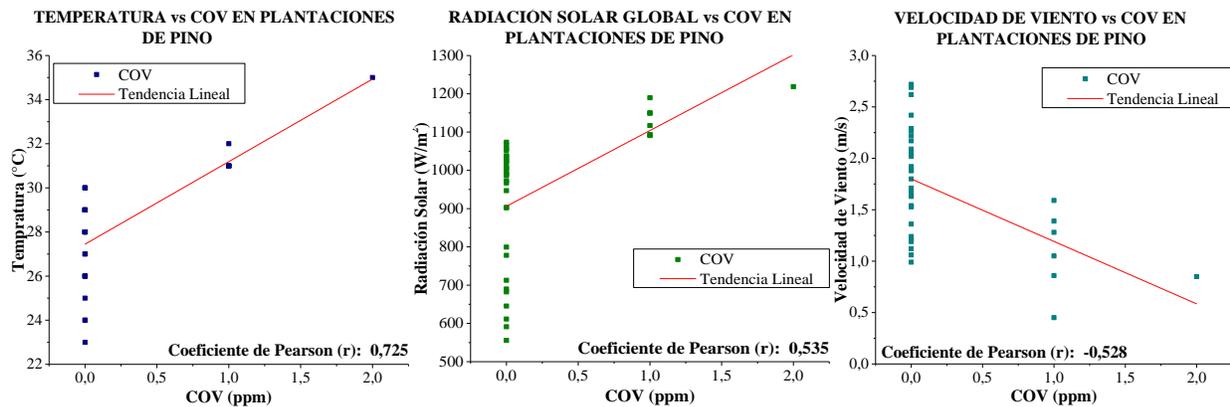


Figura 16: Correlación entre COV y variables meteorológicas en *Pinus radiata*

Elaborado por: Los Autores

La velocidad de viento tiene una correlación lineal significativa negativa (-0,528) con las emisiones de COV (Figura 16), es decir cuando la velocidad de viento es menor los gases tienden a acumularse en el área de plantación aumentando así la concentración.

Las emisiones promedio de compuestos orgánicos volátiles entre monoterpenos y OCOV del cantón Riobamba, obtenidos con el método de Guenther, en el año 2014 fueron de 5,92 g/m².año y en 2017 de 6,05 g/m².año, en contraste las concentraciones de COV presentes en el aire ascendieron a 1 y 2 ppm en condiciones de temperatura mayor a 31 °C y radiación de 1090 W/m².

5.7.2. Concentraciones de COV en plantaciones de *Eucalyptus globulus* L.

Las concentraciones de COV en plantaciones de en *Eucalyptus globulus* L. reflejan una correlación lineal significativa positiva con las variables temperatura (0,80) y radiación solar global (0,609) y una correlación lineal significativa negativa con velocidad de viento (-0,569) (Figura 17).

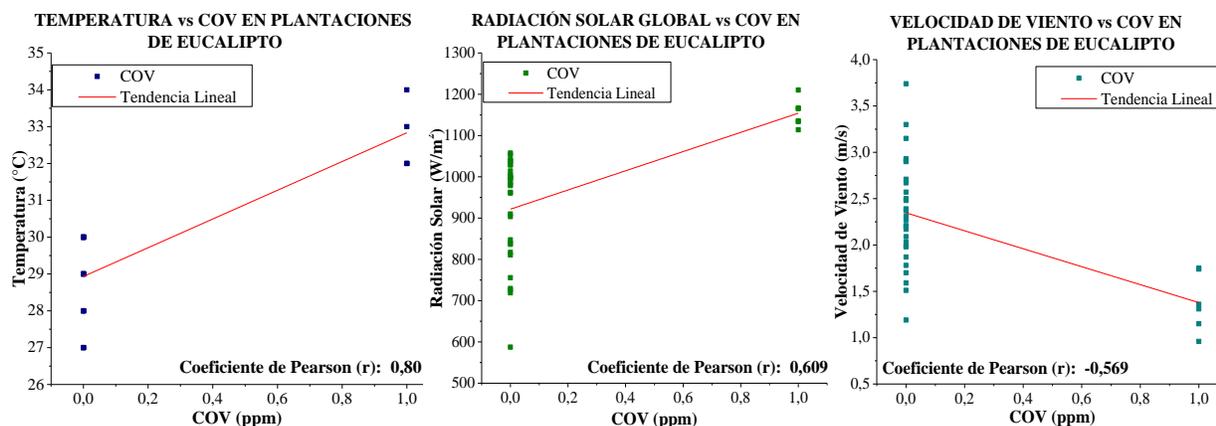


Figura 17: Correlación entre COV y variables meteorológicas en *Eucalyptus globulus* L.

Elaborado por: Los Autores

La fuerza de relación lineal entre COV y las variables meteorológicas es menor en *Pinus radiata* a comparación de *Eucalyptus globulus* L., demostrando una menor influencia de las variables meteorológicas sobre las emisiones de COV en plantaciones de *Pinus radiata*.

Las emisiones medias de compuestos orgánicos volátiles biogénicos del cantón Riobamba, fueron 3,59 g/m².año en el 2014 y 3,54 g/m².año en 2017, en cambio las concentraciones de COV presentes en el aire ascendieron a 1 ppm en condiciones de temperatura superior a 32 °C y 1100 W/m².

5.7.3. Concentraciones de COV en plantaciones de *Alnus acuminata*

Las emisiones medias de compuestos orgánicos volátiles del cantón Riobamba, obtenidos con el método de Guenther, en el año 2017 fueron de 1,37 g/m².año, a diferencia, las concentraciones de COV presentes en el aire fueron nulas; este comportamiento puede relacionarse por la menor presencia de biomasa existente y a valores bajos de factores de emisión especialmente de monoterpenos.

5.8. Análisis de las concentraciones de NO₂

A través del análisis estadístico para las concentraciones de NO₂ con relación a las variables temperatura y radiación solar, evaluada por el coeficiente de correlación de Pearson dando como resultado un valor próximo a cero, por ello se procedió a realizar ANOVA de dos vías (tabla 13).

Tabla 13. Análisis de varianza para concentraciones de NO₂

Fuente de Variación	GL	F	P
Eucalipto: NO ₂ vs Temperatura y Radiación Solar			
Radiación	1	0,05	0,818
Temperatura	6	1,87	0,121
Error	28		
Total	35		
Pino: NO ₂ vs Temperatura y Radiación Solar			
Radiación	1	0,00	0,982
Temperatura	10	1,84	0,108
Error	24		
Total	35		
Aliso: NO ₂ vs Temperatura y Radiación Solar			
Radiación	1	0,60	0,447
Temperatura	10	1,62	0,162
Error	24		
Total	35		

GL: Grados de libertad; **F:** Probabilidad de Fisher; **p:** Valor de probabilidad

Elaborado por: Los Autores

El análisis de varianza entre las variables demostró que el valor de probabilidad fue significativamente superior al nivel de significancia de 0,05, es decir que las concentraciones medias de NO₂ no difieren entre sí, al relacionarse con las variables temperatura y radiación solar, esto se aplica en plantaciones de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus L*, y *Alnus acuminata*.

La tendencia existente entre las concentraciones de NO₂ y las variables temperatura y radiación solar global es similar en las plantaciones de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus L*, y *Alnus acuminata* (Anexo 9), denotando la relación entre el comportamiento de las variables climáticas y las concentraciones de NO₂ en un ambiente con baja intervención antropogénica.

Las especies estudiadas al estar expuestas a altas concentraciones de NO₂ corren riesgo de sufrir clorosis, defoliación y supresión de crecimiento. Este gas contaminante al exponerse a reacciones químicas en la atmósfera, actúa como precursor del ozono troposférico desempeñándose como fitotoxina provocando también daños a nivel de agua y suelo (Fernández, 2015).

6. CONCLUSIONES

Se obtuvo las firmas espectrales representativas de cada especie, en estado vegetativo latizal y fustal los valores de reflectancia fueron semejantes, permitiendo la generalización en cada especie, encontrando que el nivel máximo de reflectancia en el *Eucalyptus globulus L* es de 72,2 %, en *Pinus radiata* 83,8 % y en *Alnus acuminata* 83,1 %. La diferencia espectral encontrada entre las especies permitió la obtención del índice de vegetación NDVI que sirvió de base para obtener una óptima separabilidad entre clases, identificando de esta manera la ubicación geográfica exacta de cada especie vegetal.

La temperatura determina en gran medida la emisión de compuestos orgánicos volátiles de origen natural, ésta presenta valores más elevados en la zona urbana del cantón, en especial entre el rango horario comprendido entre 13:00 a 15:00. La distribución espacial de la temperatura horaria reflejó que las emisiones biogénicas se concentran en la zona central del cantón, en función de la presencia de plantaciones forestales, disminuyendo gradualmente hacia los extremos. En el año 2014 el mes de febrero presenta mayores temperaturas alcanzando un promedio de 11,78 °C, mientras que, en el año 2017 la mayor temperatura promedio alcanzada es de 12,16 °C en noviembre. Las menores temperaturas promedio en 2014 corresponden al mes de agosto con 9,64 °C y en 2017 pertenece al mes de julio con 10,01 °C.

Las emisiones del *Eucalyptus globulus L.* en 2014 fueron 60,68 ton/año de monoterpenos y 49,05 ton/año en 2017, en tanto los OCOV fueron 33,01 toneladas en 2014 y 26,29 toneladas en 2017. El *Pinus radiata* emitió 33,67 ton/año de monoterpenos en 2014 y 25,49 ton/año en 2017, en cambio las emisiones de OCOV en 2014 alcanzaron 18,32 ton/año y 13,87 ton/año en 2017. El *Alnus acuminata* emitió en 2017 un total de 0,035 ton/año de monoterpenos y 0,571 de OCOV. El *Eucalyptus globulus L.* es la especie que registró mayores emisiones en ambos años debido a la mayor cantidad de plantaciones, seguido de *Pinus radiata* y *Alnus acuminata*. A nivel general, las especies *Eucalyptus globulus L.* y *Pinus radiata* registran un decrecimiento de las emisiones en 2017 al compararlas con el año 2014, que está ligado a la deforestación; a diferencia del *Alnus acuminata* que presenta un pequeño aumento de las plantaciones producto de los planes de reforestación existentes, incrementando de la misma manera las emisiones. Estas emisiones pueden provocar alteraciones en la dinámica atmosférica y en la salud de los seres humanos.

Las emisiones promedio entre monoterpenos y OCOV de la especie *Pinus radiata*, por metro cuadrado presentaron valores más elevados a través del método de Guenther, alcanzando 5,92 g/m².año en 2014 y 6,05 g/m².año en 2017, y las concentraciones de COV en el aire ambiente registraron un máximo de 2 ppm. El *Eucalyptus globulus* L. emitió 3,59 g/m².año en 2014 y 3,54 g/m².año en el 2017, y las concentraciones en aire ambiente solamente alcanzaron 1 ppm. El *Alnus acuminata* emitió un promedio de 1,37 g/m².año en 2017, pero en aire ambiente las emisiones fueron nulas. Las concentraciones de COV en aire ambiente están directamente relacionadas a las emisiones representadas de manera espacial y correlacionadas con las variables meteorológicas: temperatura, radiación solar global y velocidad del viento.

7. RECOMENDACIONES

Para lograr una mejor calidad de la información de coberturas vegetales es necesario trabajar con imágenes satelitales de mejor resolución, disminuyendo los errores al momento de ejecutar una clasificación, además de tomar en cuenta plantaciones menos densas.

Emplear equipos con mayor capacidad de detección de compuestos orgánicos volátiles para ampliar el rango de análisis de compuestos y de la misma manera mejorar la resolución de detección de los compuestos orgánicos volátiles en condiciones naturales.

La presente investigación puede ser complementada con mediciones de compuestos orgánicos volátiles de origen natural en condiciones de desastres como incendios forestales debido a la influencia de la temperatura y presencia de radiación solar sobre la volatilidad de los compuestos que se encuentran principalmente en el tejido foliar.

Establecer factores de emisión de plantas nativas considerando las condiciones climáticas y altitudinales locales debido a la gran variedad de flora existente en el país, facilitando la obtención de inventarios de emisiones forestales fiables.

Tener en cuenta los factores de emisión de especies forestales en especial aquellas que van a formar parte de planes de reforestación, considerando que la relación directa con la temperatura y radiación solar puede incrementar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen natural.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Áreas, F., & González, L. (2008). *Estudio de la composición florística y sanidad forestal de la arboleda del sector sur del campus principal de la Universidad Nacional Agraria, Managua*. Universidad Nacional Agraria, Nicaragua.
- Ballesteros, M., & Rotter, C. (2014). *Análisis de la Contaminación del aire en los municipios de Toluca, Mepelec, San Mateo Atenco y Zinacantepec a través de la metodología de simulación bajo el método Monecarlo, 2000-2020*. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Bautista, F., Delfín, H., Palacio, J., & Delgado, M. (2004). *Técnicas de muestreo para manejadores de Recursos Naturales* (Primera). México: UNAM, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bolaño, T., Camargo, Y., & Vélez, A. (2015). Emisiones Biogénicas de Monoterpenos en el Parque Nacional Natural Tayrona, Santa Marta (Colombia). *Luna Azul*, (40), 102-116. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.8>
- Bravo, N. (2017). *Teledetección Espacial Landsat, Sentinel-2, ASTER LIT y MODIS*. Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Bustelo, J. (2011). COV: ¿Rebelión contra el cambio climático? *Química y Medio Ambiente*, 107(3), 250-252.
- Camargo, Y., Bolaño, T., & Álvarez, A. (2010). Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles de origen biogénico y su contribución a la dinámica atmosférica. *INTROPICA*, 5(1), 77-86.
- Caranqui, J. (2015). Árboles y arbustos nativos potenciales para reforestación en la Sierra Central, Ecuador. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1965.9601>
- Carrillo, L. (2016). Determinación de la firma espectral de gynoxys sp, para la clasificación de imágenes satelitales en el bosque de ceja andina en la parroquia achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, 144.
- Cheng, K., & Chang, N. B. (2009). Assessment of the impact of biogenic VOC emissions in a high ozone episode via integrated remote sensing and the CMAQ model. *Frontiers of Earth Science in China*, 3(2), 182-197. <https://doi.org/10.1007/s11707-009-0019-3>
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental* (Tercera Ed). España: Editorial Ariel S.A.
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2011). *Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. México.

- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2015). *Alnus acuminata* H.B.K. *SIRE*, 1-7.
- ESRI. (2018). Cómo funciona Kriging. Recuperado 22 de agosto de 2018, a partir de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>
- Fernández, L. (2015). *El papel de los óxidos de nitrógeno en el Cambio Climático*. Universidad Complutense, España.
- GADM Riobamba. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Riobamba*. Riobamba.
- Gonzaga, C. (2014). *Aplicación de Índices de Vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM + y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador*. Univerisdad Nacional de la Plata, Argentina.
- Hanks, J., & Loughlin, S. (2011). Volatile Organic Compounds (VOCs). *Nova Science*, 1-47.
- Hernández, J., & Montaner, D. (2009). Patrones de respuesta Espectral. *Lab. Geomática y Ecología del Paisaje (GEP)*, 1-14.
- Limonchi, F. (2010). *Análisis de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico (BVOCs) en bosque tropical amazónico*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- Lin, C., Gillespie, J., Schuder, M. D., Duberstein, W., Beverland, I. J., & Heal, M. R. (2015). Evaluation and calibration of Aeroqual series 500 portable gas sensors for accurate measurement of ambient ozone and nitrogen dioxide. *Atmospheric Environment*, 100(Enero), 111-116. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.002>
- López, M. (2014). *Elaboración de un manual de operaciones para la captura de "firmas espectrales" en campo, validada en dos granjas experimentales*. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Luna, V. (2011). *Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso de suelo Rural-Urbano en la región de Atlixco, Puebla*. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, México.
- MAE & COSUDE. (2010). *Plan Nacional de Calidad del Aire* (Vol. 1). Ecuador.
- Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca [MAGAP]. (2013). *Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales*. Ecuador.
- Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca [MAGAP]. (2016). *Manual De Procedimientos para la Evaluación de la sobrevivencia y el mantenimiento de las*

- plantaciones forestales comerciales*. Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Estimación de la Tasa de Deforestación del Ecuador continental*. Ecuador. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio del Ambiente. (2014). Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire , de los cantones Ambato , Riobamba , Santo Domingo de los Colorados , Latacunga , Ibarra , Manta , Portoviejo , Esmeraldas y Milagro, 3, 124.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Econciencia Verde* (Primera Ed, Vol. 1). Quito - Ecuador: Revista Especializada en Medio Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2016a). *Informe - Proyecto Socio Bosque*. Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2016b). *Plan de acción REDD+ del Ecuador (2016 - 2025) - Bosques para el Buen Vivir*. Ecuador.
- OMS. (2004). *Guías para la calidad del aire*. Perú. <https://doi.org/OPS/CEPIS/PUB/04.110>
- Paredes, M. (2015). *Evaluación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles no metanogénicos de origen biogénico en la provincia de Tungurahua en el año 2015*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- Peralta, H. A. (2009). *Contribución a las estrategias de descontaminación atmosférica, considerando el aporte de Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos emitidos por especies arbóreas nativas en la región Metropolitana*. Universidad de Chile, Chile.
- Ramón et al. (2014). Estudio de compuestos orgánicos volátiles biogénicos en un área de fondo rural. *El Hombre y la Máquina*, 103-115.
- REDCEDIA, UNACH, ESPOCH, & Universidad de Cuenca. (2018, julio 25). Geoportal Estaciones Meteorológicas. Recuperado a partir de <http://190.15.135.179:8080/cedia/index.jsp>
- Rodríguez, A. (2011). *Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos , estudio de caso piedemonte de Villavicencio , Meta*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Serrano, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. *La Granja*, 16(2), 23. <https://doi.org/10.17163/lgr.n16.2012.03>
- Serrato, M., & Bagett, M. (2012). *Evaluación de la Estabilidad de la avena líquida tratada con el*

extracto de hojas de Nim (Azadirachta indica). Colombia.

Triola, M. (2013). *Estadística* (11 Ed.). México: Pearson Educación.

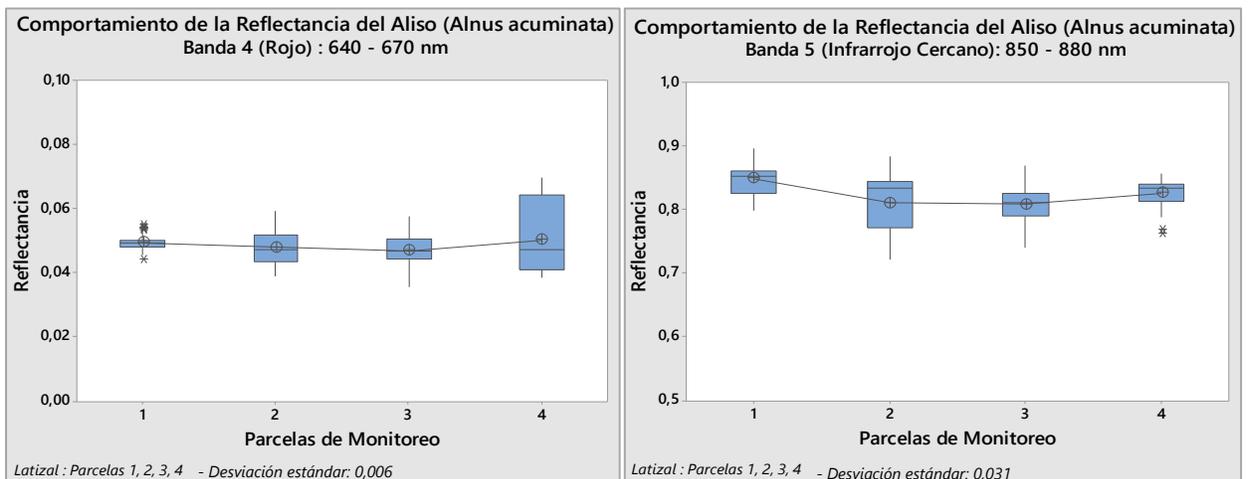
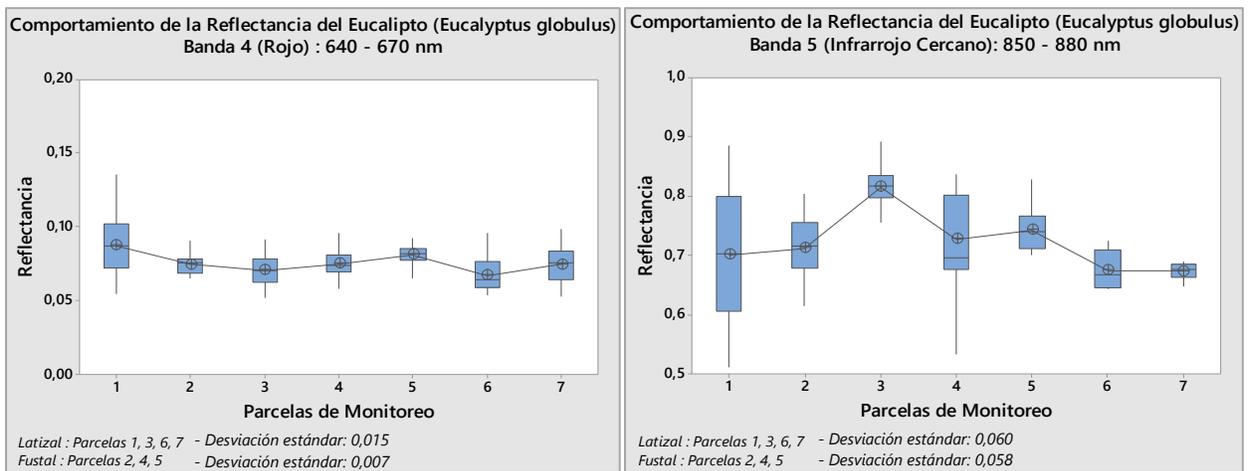
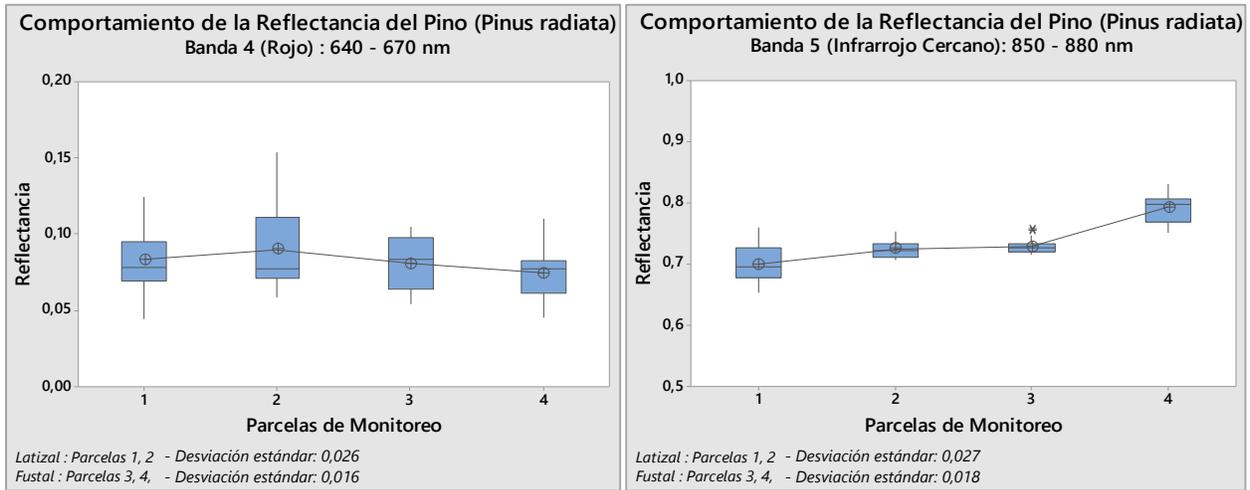
Velasco, E., & Bernabé, R. (2004). *Emisiones biogénicas* (Primera Ed). México: INE-SEMARNAT.

Viteri, M. (2012). *Estimación de las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles de la vegetación del Ecuador durante el año 2010*. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

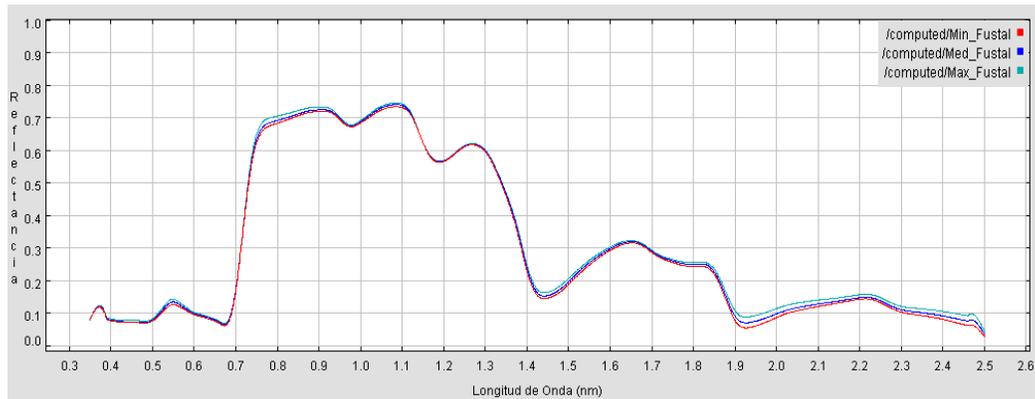
Zabala, M. (2016). *Estudio Multitemporal del Cambio de Uso del Suelo para Establecer Mecanismos de Defensa y Conservación en la Microcuenca del río Jubal en los años 1991 al 2011*. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.

9. APÉNDICES O ANEXOS

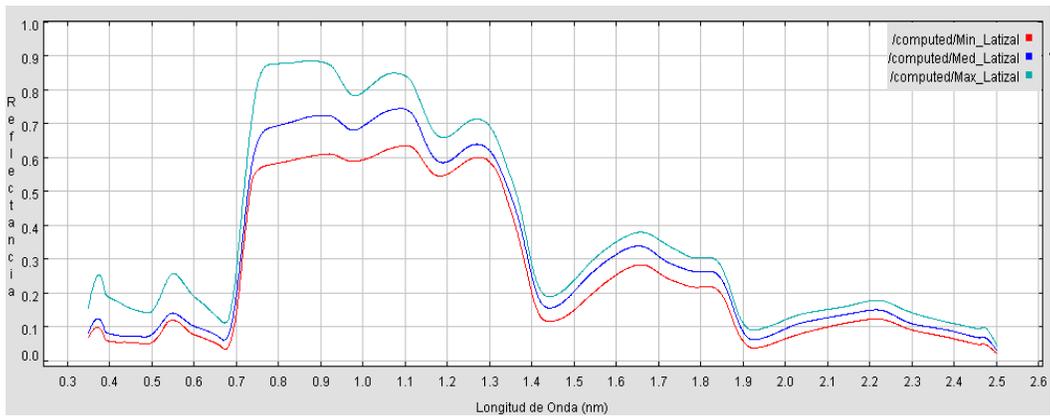
9.1. Anexo 1. Comportamiento de la Reflectancia de las especies forestales



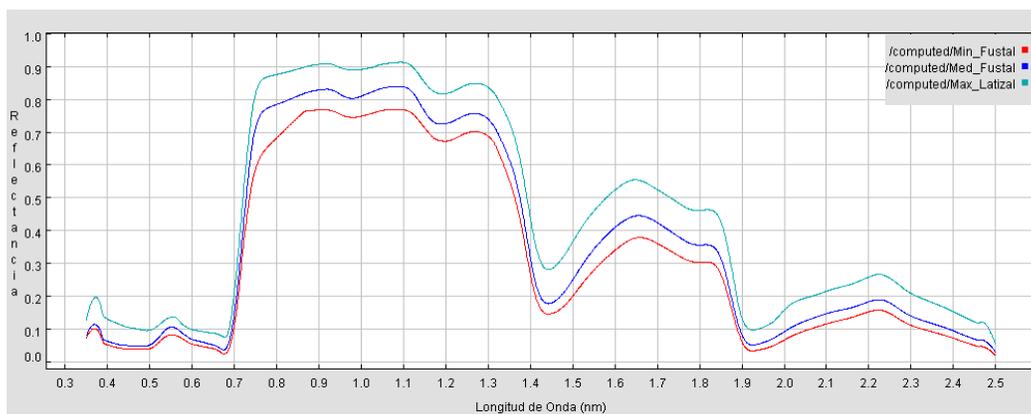
9.2. Anexo 2. Evaluación de Firmas Espectrales Mínima, Media y Máxima



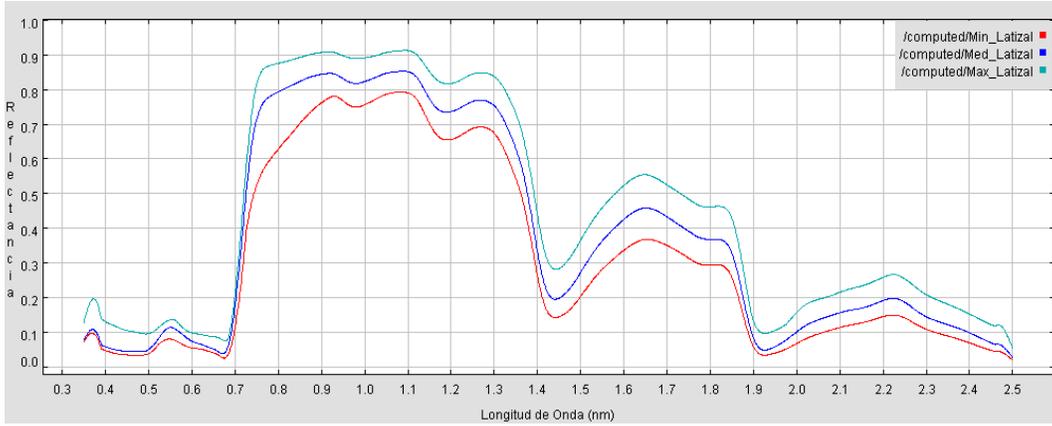
Firma Espectral del *Eucalyptus globulus* Labill en estado Fustal



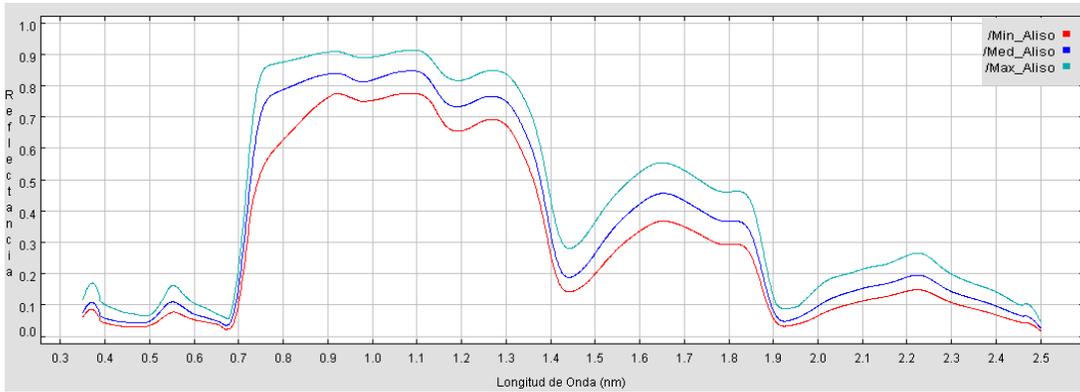
Firma Espectral del *Eucalyptus globulus* Labill en estado Latizal



Firma Espectral del *Pinus radiata* en estado Fustal

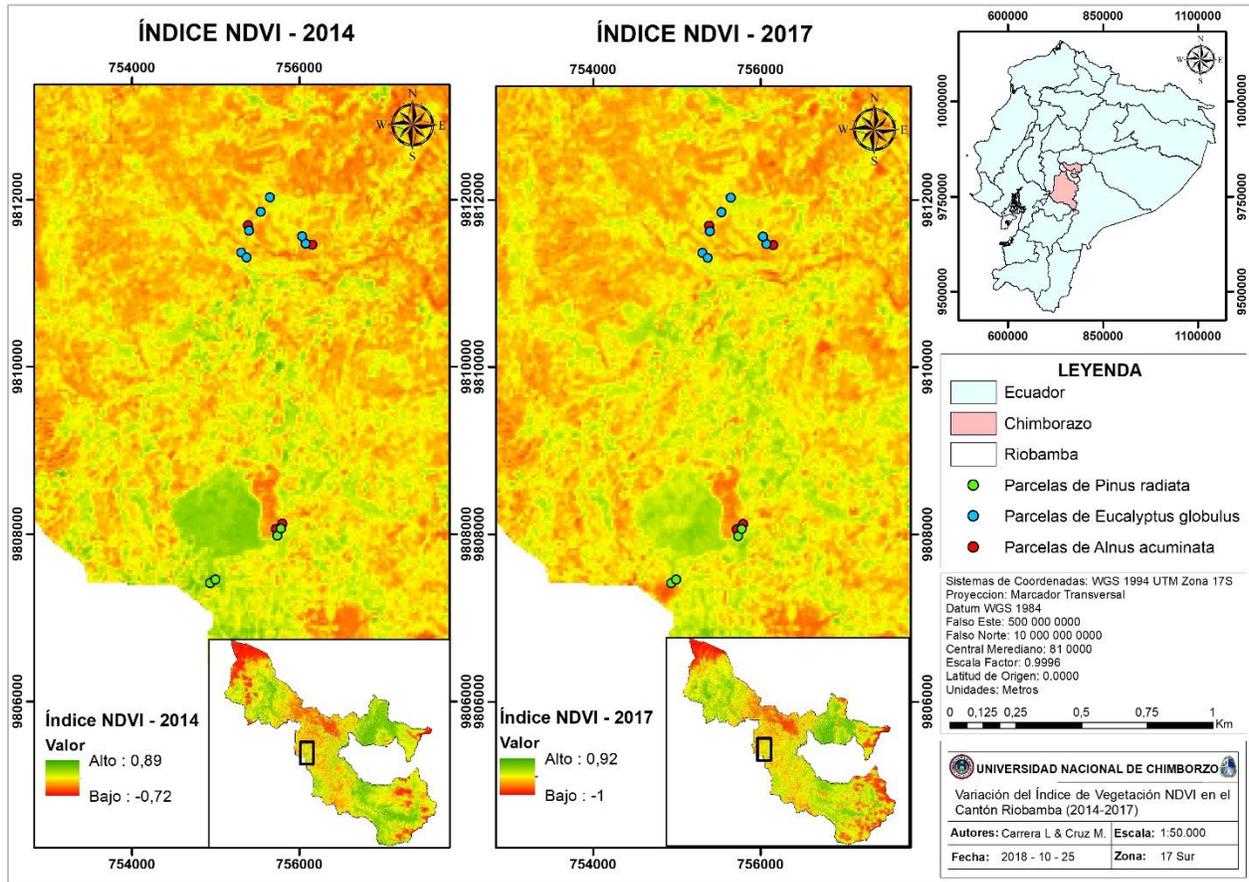


Firma Espectral del *Pinus radiata* en estado Fustal

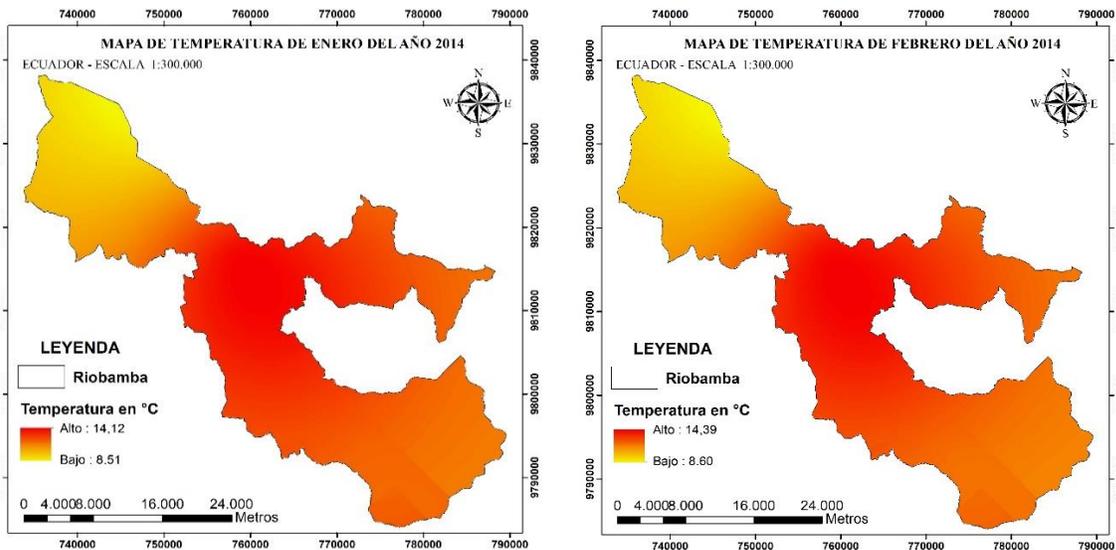


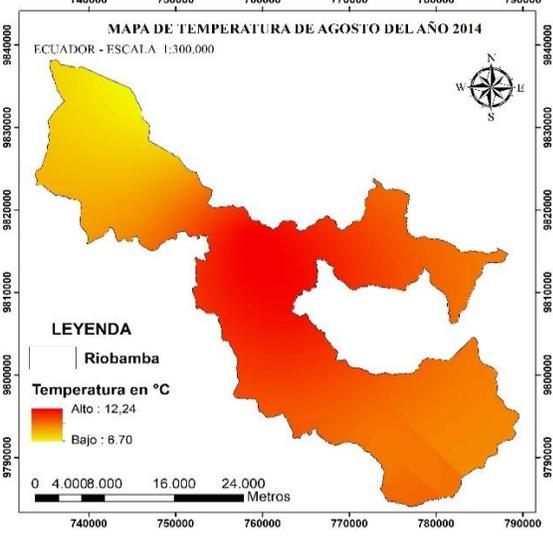
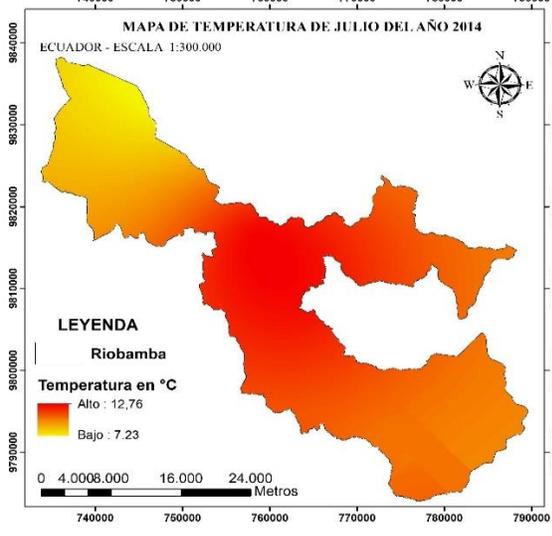
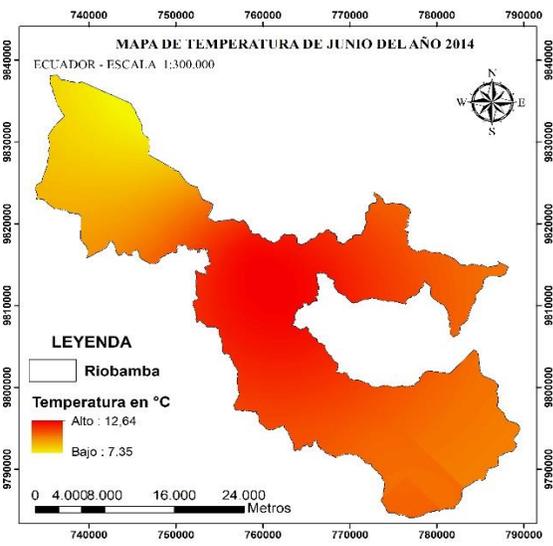
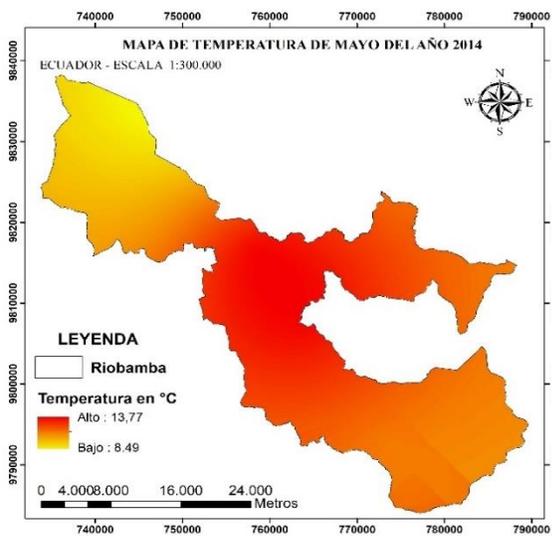
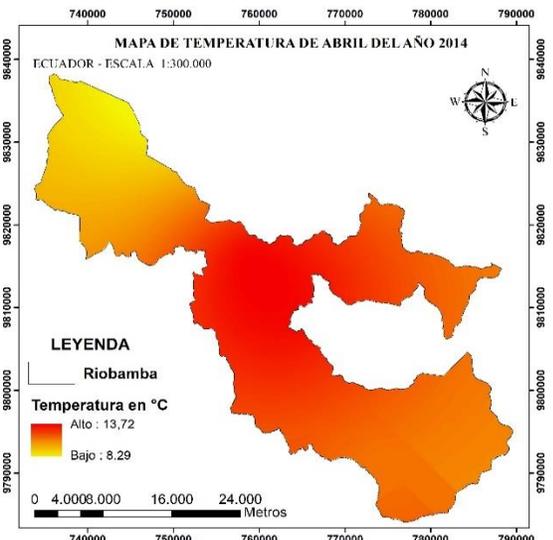
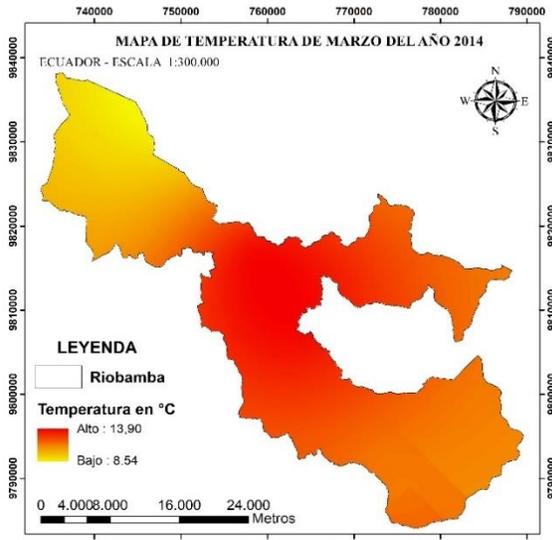
Firma Espectral de *Alnus acuminata* en estado Latizal

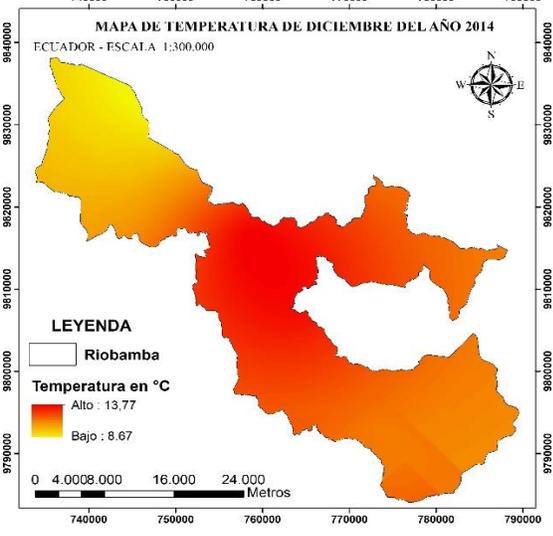
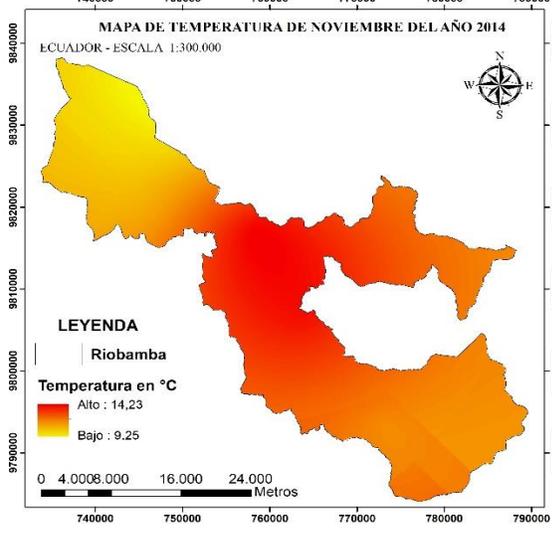
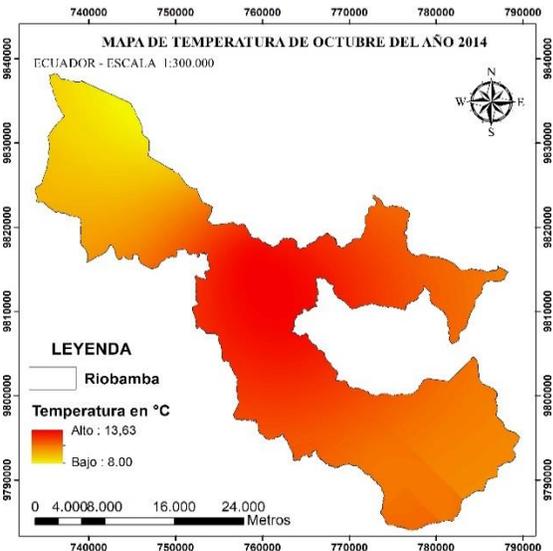
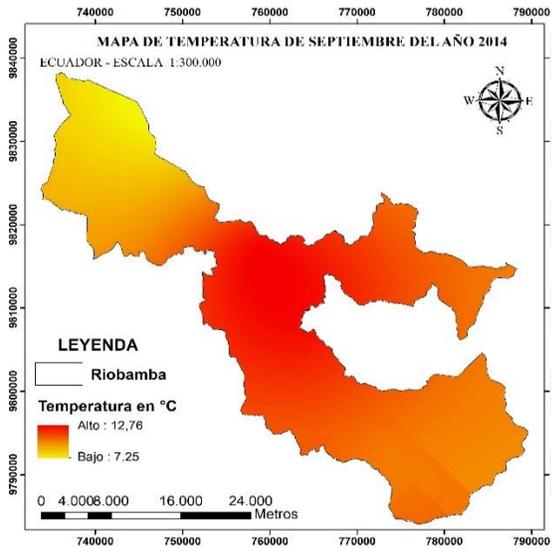
9.3. Anexo 3. Variación de los rangos del NDVI para los años 2014 y 2017



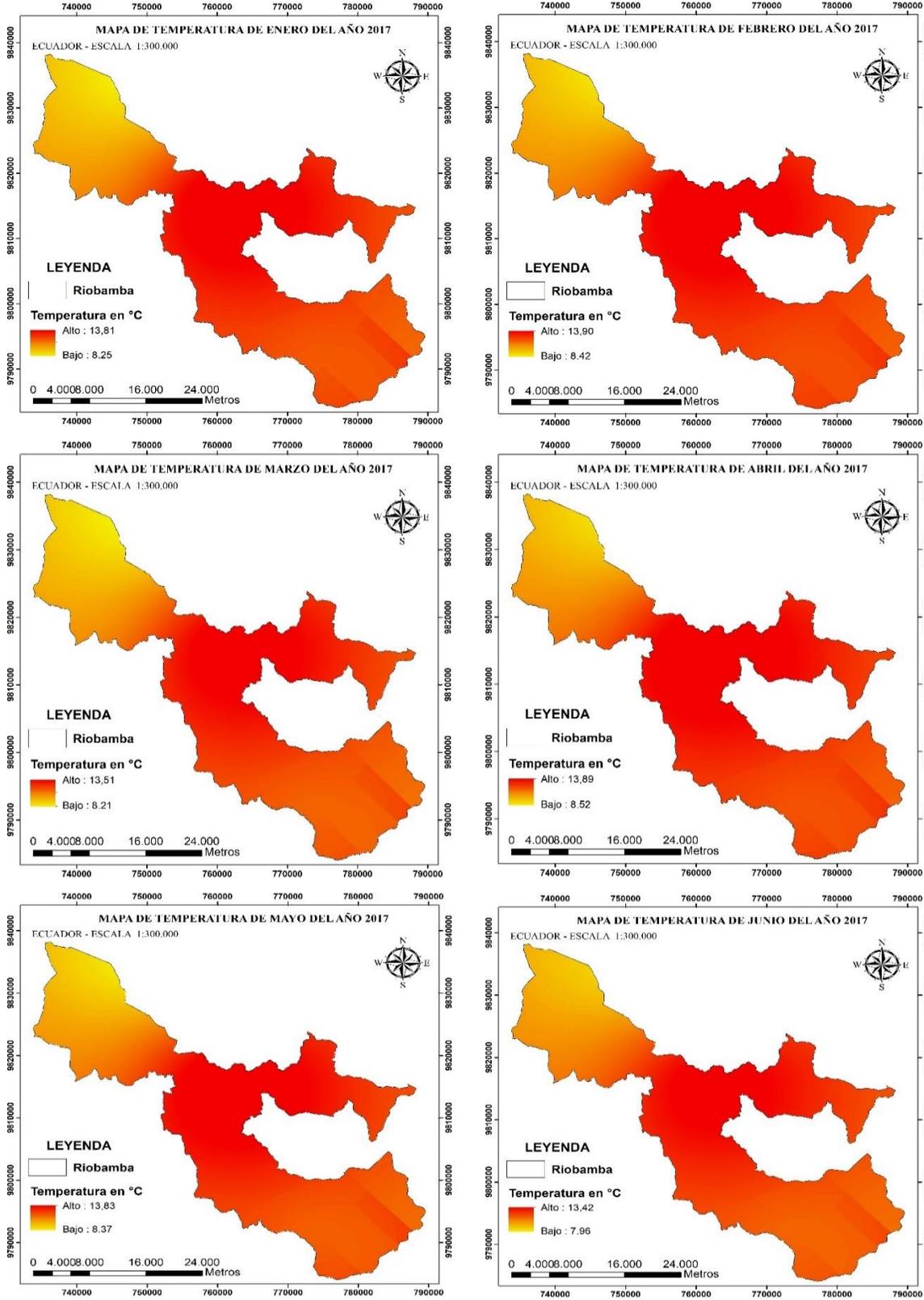
9.4. Anexo 4. Mapas de Temperatura mensual del año 2014

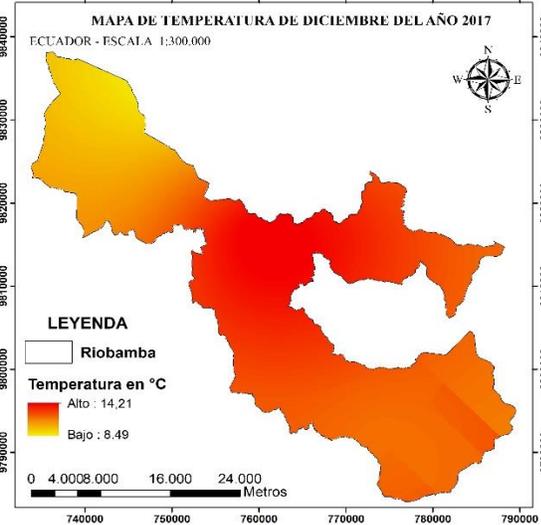
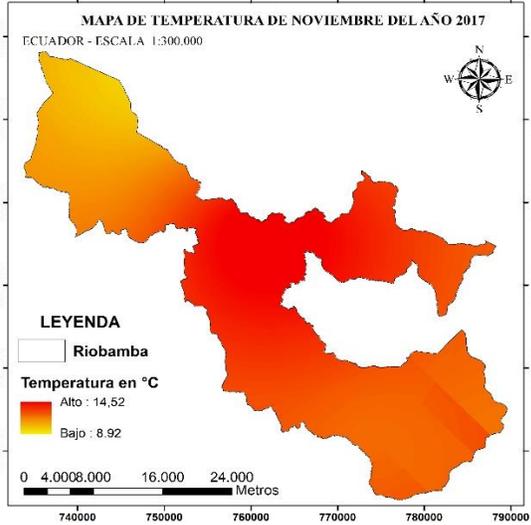
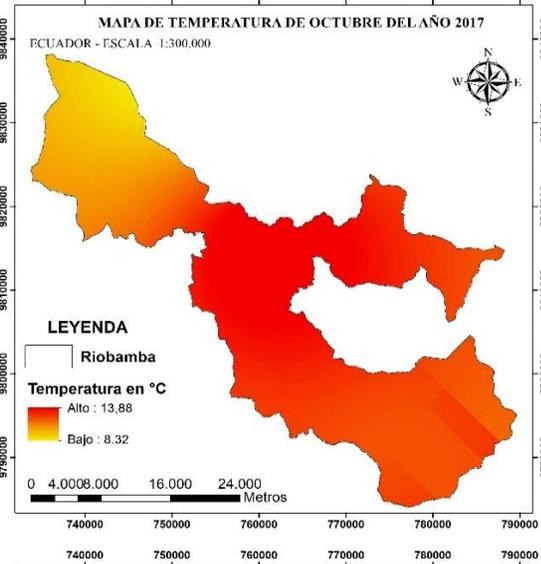
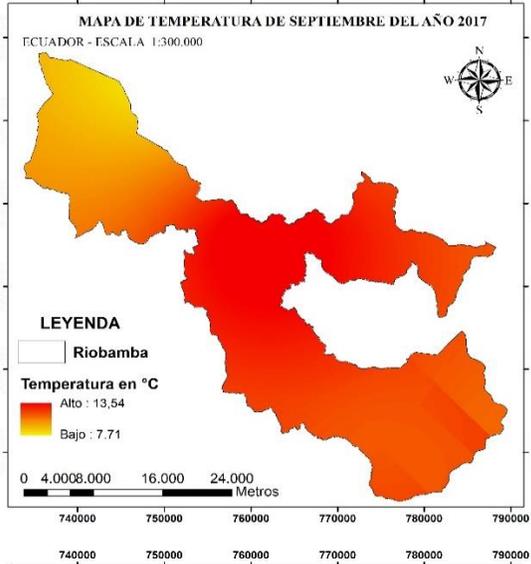
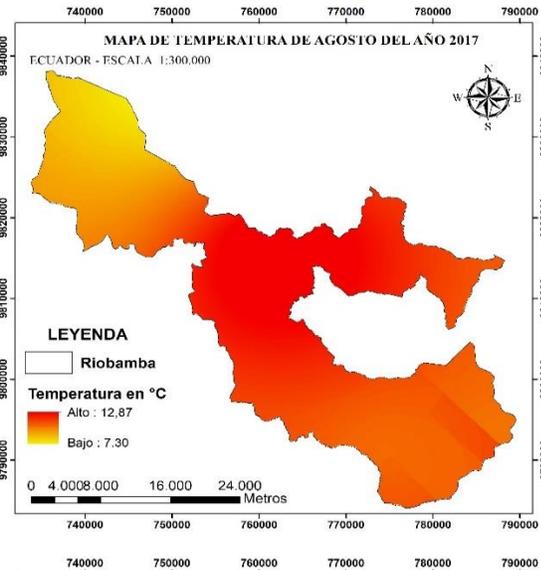
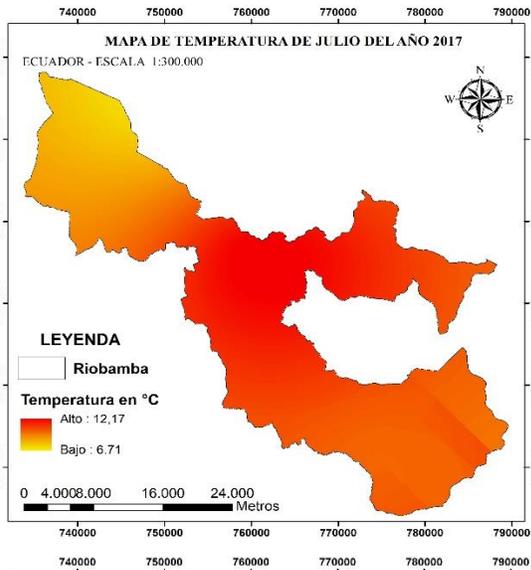






9.5. Anexo 5. Mapas de Temperatura mensual del año 2017





9.6. Anexo 6. Emisiones Mensuales de COVB por especies para el año 2014

Emisiones Mensuales de COVB para el año 2014

MESES	Eucalipto				Pino			
	Monoterpenos		OCOV		Monoterpenos		OCOV	
	kg/mes	%	kg/mes	%	kg/mes	%	kg/mes	%
Enero	5370,06	8,8%	2921,94	8,9%	2953,05	8,8%	1606,81	8,8%
Febrero	5462,69	9,0%	2972,35	9,0%	2995,93	8,9%	1630,14	8,9%
Marzo	5222,82	8,6%	2841,83	8,6%	2890,36	8,6%	1572,70	8,6%
Abril	5139,81	8,5%	2796,66	8,5%	2853,28	8,5%	1552,52	8,5%
Mayo	5153,49	8,5%	2804,10	8,5%	2859,08	8,5%	1555,68	8,5%
Junio	4690,55	7,7%	2552,21	7,7%	2610,60	7,8%	1420,48	7,8%
Julio	4706,32	7,8%	2560,79	7,8%	2625,06	7,8%	1428,34	7,8%
Agosto	4458,42	7,3%	2425,91	7,3%	2482,21	7,4%	1349,85	7,4%
Septiembre	4732,95	7,8%	2575,28	7,8%	2632,64	7,8%	1432,46	7,8%
Octubre	5119,49	8,4%	2785,61	8,4%	2820,08	8,4%	1534,45	8,4%
Noviembre	5397,61	8,9%	2936,93	8,9%	3026,78	9,0%	1646,93	9,0%
Diciembre	5224,79	8,6%	2838,01	8,6%	2917,92	8,7%	1588,22	8,7%
Total	60678,99	100%	33011,62	100%	33666,99	100%	18318,57	100%

Elaborado por: Los Autores

9.7. Anexo 7. Emisiones Mensuales de COVB por especies para el año 2017

Emisiones Mensuales de COVB para el año 2017

MESES	Eucalipto				Pino				Aliso			
	Monoterpenos		OCO V		Monoterpenos		OCO V		Monoterpenos		OCO V	
	kg/mes	%	kg/mes	%	kg/mes	%	kg/mes	%	kg/mes	%	kg/mes	%
Enero	4262,24	8,7%	2319,16	8,7%	2204,04	8,6%	1199,26	8,6%	3,04	8,7%	49,59	8,7%
Febrero	4160,43	8,5%	2263,76	8,5%	2162,99	8,5%	1176,92	8,5%	2,95	8,4%	48,22	8,4%
Marzo	3999,21	8,2%	2176,04	8,2%	2088,48	8,2%	1136,38	8,2%	2,84	8,1%	46,43	8,1%
Abril	4169,52	8,5%	2268,71	8,5%	2174,79	8,5%	1183,34	8,5%	2,97	8,5%	48,54	8,5%
Mayo	4121,30	8,4%	2242,47	8,4%	2155,14	8,5%	1172,65	8,5%	2,96	8,5%	48,27	8,4%
Junio	4001,44	8,2%	2177,25	8,2%	2086,45	8,2%	1134,95	8,2%	2,86	8,2%	46,75	8,2%
Julio	3592,70	7,3%	1954,85	7,3%	1872,61	7,3%	1018,92	7,3%	2,57	7,3%	41,93	7,3%
Agosto	3794,18	7,7%	2064,48	7,7%	1976,86	7,8%	1075,64	7,8%	2,71	7,8%	44,35	7,8%
Septiembre	4082,47	8,3%	2221,34	8,3%	2104,29	8,3%	1145,78	8,3%	2,91	8,3%	47,56	8,3%
Octubre	4216,60	8,6%	2294,33	8,6%	2173,22	8,5%	1182,49	8,5%	2,99	8,5%	48,87	8,6%
Noviembre	4387,03	8,9%	2387,06	8,9%	2287,15	9,0%	1244,48	9,0%	3,14	9,0%	51,24	9,0%
Diciembre	4262,10	8,7%	2319,09	8,7%	2203,12	8,6%	1198,75	8,6%	3,03	8,7%	49,54	8,7%
Total	49049,21	100%	26688,54	100%	25489,14	100%	13869,57	100%	34,98	100%	571,31	100%

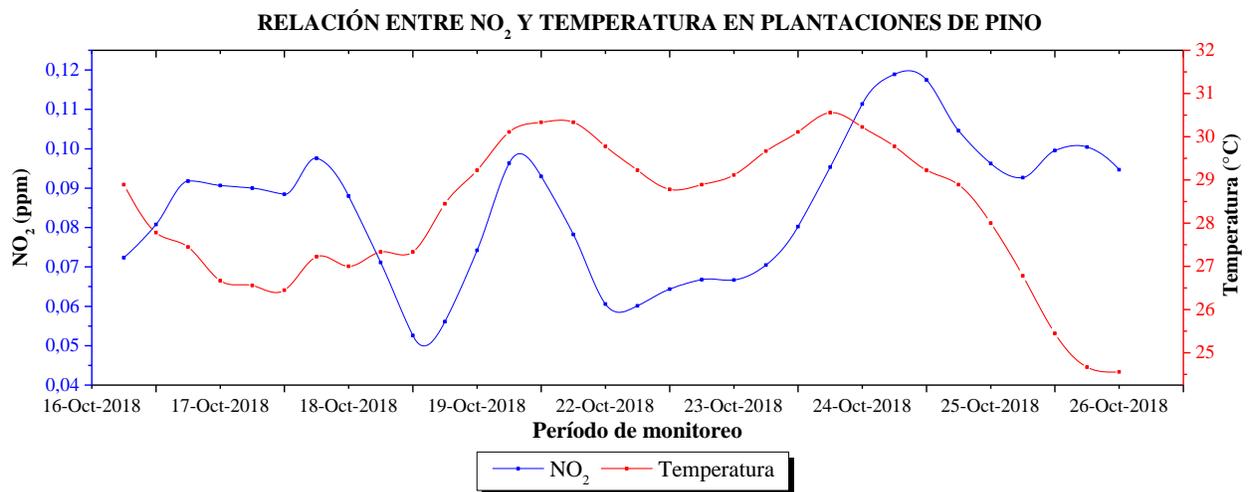
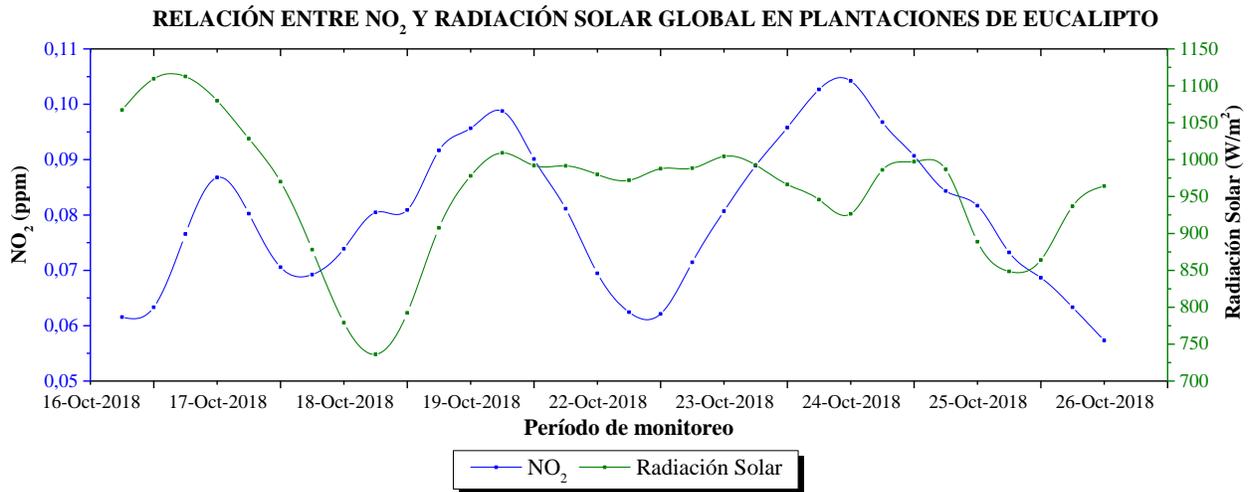
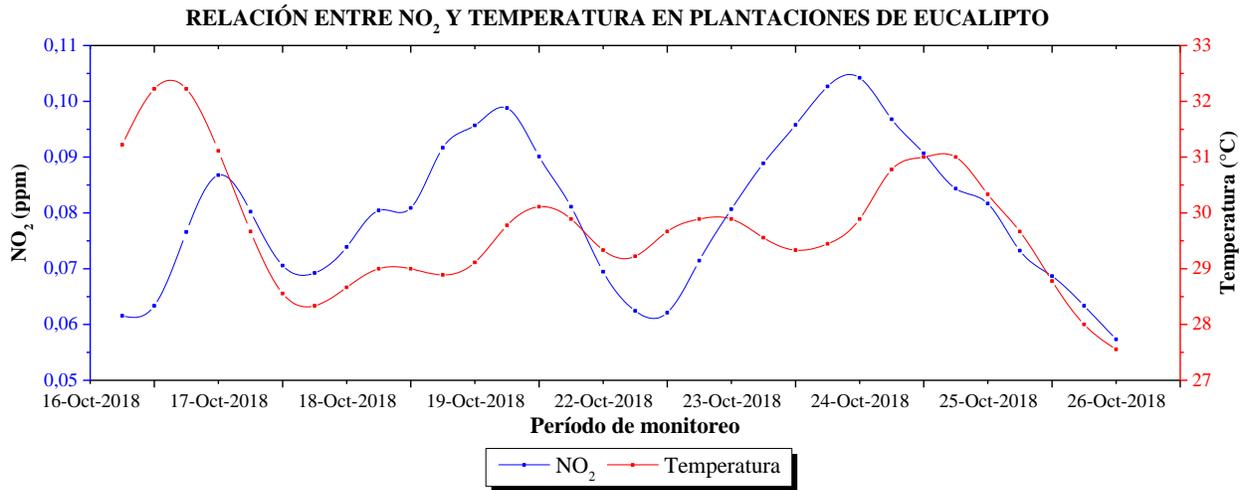
Elaborado por: Los Autores

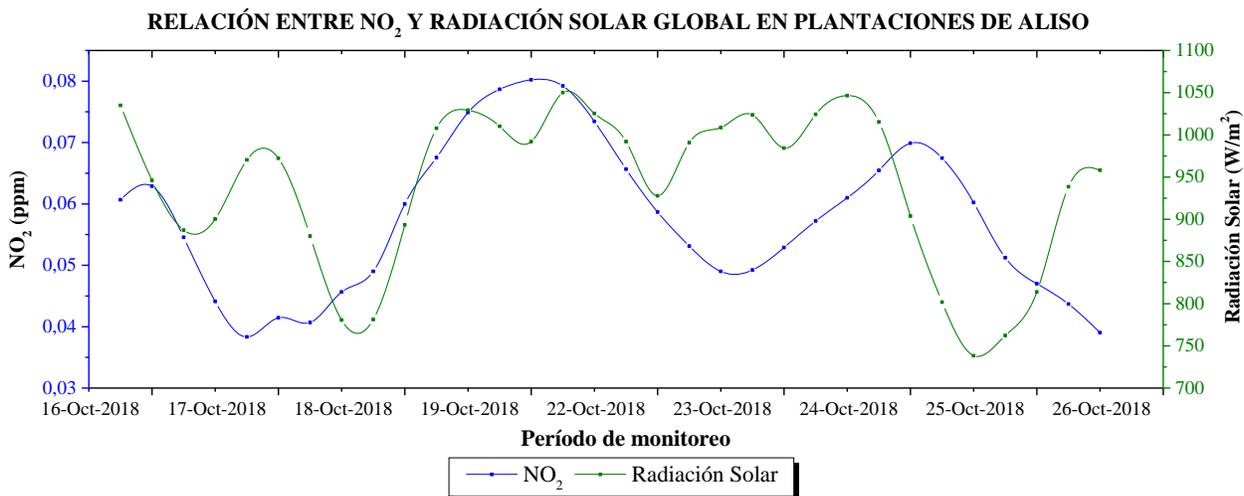
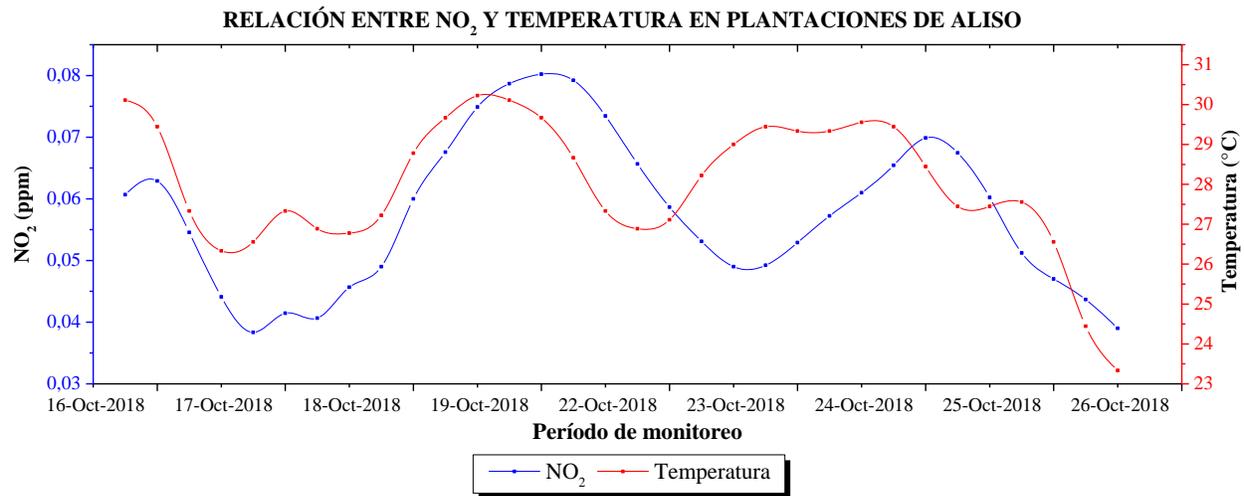
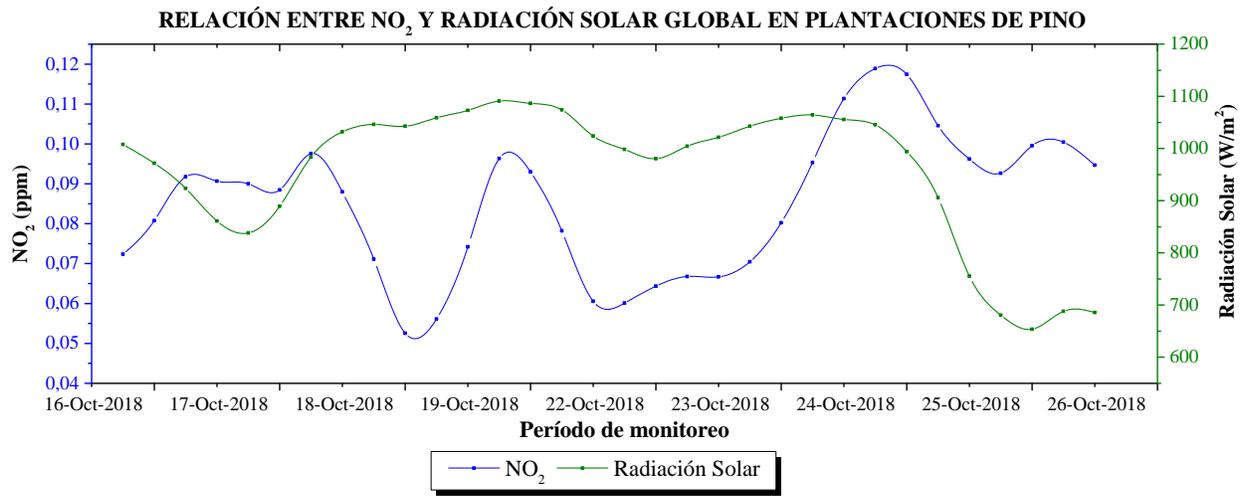
9.8. Anexo 8. Valores críticos del coeficiente de correlación de Pearson r

n	$\alpha =, 05$	$\alpha =, 01$
4	0,950	0,999
5	0,878	0,959
6	0,811	0,917
7	0,754	0,875
8	0,707	0,834
9	0,666	0,798
10	0,632	0,765
11	0,602	0,735
12	0,576	0,708
13	0,553	0,684
14	0,532	0,661
15	0,514	0,641
16	0,497	0,623
17	0,482	0,606
18	0,468	0,509
19	0,456	0,575
20	0,444	0,561
25	0,396	0,505
30	0,361	0,463
35	0,335	0,430
40	0,312	0,402
45	0,294	0,378
50	0,279	0,361
60	0,254	0,330
70	0,236	0,305
80	0,220	0,286
90	0,207	0,269
100	0,196	0,256

Fuente: (Triola, 2013)

9.9. Anexo 9. Relación entre concentraciones de NO₂ con variables climáticas





9.10. Anexo 10. Fotográfico

