



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Efecto de la fertilización nitrogenada en las emisiones de óxido nitroso e incidencia de plasmopara vitícola en cultivo de uva isabella (*vitis labrusca* L.) en Cerrito, Valle del Cauca, Colombia.

GERMAN STEVEN GARNICA RODRIGUEZ

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2021

Efecto de la fertilización nitrogenada en las emisiones de óxido nitroso e incidencia de *plasmopara vitícola* en cultivo de uva isabella (*vitis labrusca* L.) en Cerrito, Valle del Cauca, Colombia.

German Steven Garnica Rodríguez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Agrarias, línea de investigación en suelos.

Director:

Ph. D., Ing. Agrónomo Manuel José Peláez

Línea de Investigación:

Suelos

Grupo de Investigación:

Agua y suelos

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia
2021

*Todos ignoramos algo, todos sabemos algo,
por eso aprendemos siempre.*

Paulo Freire

Agradecimientos

A mi madre, padre, hermana, esposa y demás familiares que siempre me apoyaron en este proceso y nunca dejaron de creer en mí.

Al Doctor Manuel José Peláez por dedicar su tiempo en la dirección del presente trabajo de tesis, igualmente a Laura Pabón coordinadora del proyecto de investigación que financio esta tesis y al equipo de la Escuela Agrobiológica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, por el apoyo humano, técnico y económico brindado para el desarrollo del presente trabajo.

Al profesor Juan Carlos Menjívar Flores por sus enormes enseñanzas en el área de suelos.

A la familia de la Hacienda Brasilia que me permitieron desarrollar esta tesis en sus cultivos de uva y a todas las personas que me apoyaron y ayudaron desinteresadamente cuando lo necesitaba.

A la Universidad Nacional de Colombia por permitirme regresar a sus aulas a continuar mi formación, orgullo UN.

Declaración de obra original

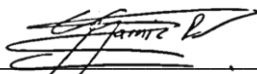
Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



GERMAN STEVEN GARNICA RODRIGUEZ

Fecha: 20/08/2021

Resumen

El incremento en la producción de alimentos ha conllevado a una demanda cada vez mayor de fertilizantes, generando impactos sobre el agua, el suelo y la atmósfera. El nitrógeno es uno de los nutrientes de mayor demanda en el proceso de fertilización debido a su importancia en el desarrollo y sobrevivencia de las plantas en la producción agrícola. Sin embargo, su aplicación en los suelos genera óxido nitroso (N_2O) clasificado como gas de efecto invernadero (GEI), y un desbalance en su aplicación conlleva desequilibrios que pueden desencadenar enfermedades de importancia económica en muchos casos, teniendo efectos negativos en el rendimiento de los cultivos. Actualmente se realizan aplicaciones de nitrógeno, desconociendo el impacto que puede generar a nivel ambiental y productivo. Con el fin de conocer la relación de la fertilización nitrogenada sobre las emisiones de N_2O y el desarrollo del cultivo de la Uva Isabella en el Valle del Cauca se aplicaron tres dosis diferenciadas (60, 120 y 180 kg urea/ha) en un cultivo comercial ubicado en la Hacienda Brasilia en el Municipio de El Cerrito, midiendo el flujo de emisión de N_2O y evaluando la incidencia de Mildeo veloso (*Plasmopara viticola*) y la generación de biomasa como componente de rendimiento del cultivo. Los resultados mostraron que la aplicación de 180kg/ha generaron la menor producción de biomasa, así como la mayor emisión de N_2O y mayor incidencia de Mildeo veloso (*Plasmopara viticola*) en comparación con las dosis media y baja, esto indica una oportunidad de reducción de fertilizantes minimizando el impacto ambiental generado por el óxido nitroso (N_2O) y la incidencia del Mildeo veloso.

Palabras clave: Óxido nitroso (N_2O), Mildeo veloso (*Plasmopara viticola*), gases de efecto invernadero (GEI), Uva Isabella, El Cerrito.

Abstract

The increase in food production has led to an increasing demand for fertilizers, generating impacts on water, soil, and the atmosphere. Nitrogen is one of the most demanded nutrients in the fertilization process due to its importance in the development and survival of plants in agricultural production. However, its application in soils generates nitrous oxide (N₂O) classified as a greenhouse gas (GHG), and an imbalance in its application leads to imbalances that can trigger economically important diseases in many cases, having negative effects on the yield of crops. Nitrogen applications are currently being carried out, ignoring the impact it can generate at an environmental and productive level. In order to know the relationship of nitrogen fertilization on (N₂O) emissions and the development of the Isabella grape cultivation in Valle del Cauca, three different doses were applied (60, 120 and 180 kg urea / ha) in a commercial crop located at Hacienda Brasilia in the Municipality of El Cerrito, measuring the (N₂O) emission flux and evaluating the incidence of Downy Mildew (*Plasmopara viticola*) and the generation of biomass as a component of crop yield. The results showed that the application of 180kg / ha generated the lowest biomass production, as well as the highest emission of N₂O and the highest incidence of the Downy Mildew (*Plasmopara viticola*) compared to the medium and low doses, this indicates an opportunity to reduce fertilizers minimizing the impact environment generated by nitrous oxide (N₂O) and the incidence of downy mildew.

Keywords: Nitrous oxide (N₂O), Hairy mildew (*Plasmopara viticola*), greenhouse gases (GHG), Isabella grape, El Cerrito.

Contenido

Introducción.....	11
Justificación.....	15
Sistema de Hipótesis.....	17
Objetivos Objetivo general	17
1. Marco Teórico.....	18
1.1 Producción agrícola, cambio climático y gases de efecto invernadero.	18
1.2. El Nitrógeno y la dinámica de generación de N ₂ O en sistemas agrícolas.....	20
1.3. Nitrógeno y su incidencia en enfermedades.....	22
1.4. Cultivo de Uva Isabella (<i>Vitis labrusca</i>).	25
1.4.1. Taxonomía del cultivo.....	25
1.4.2. Condiciones agroclimáticas para el desarrollo.....	26
1.4.3. Ciclo vegetativo y reproductivo del cultivo	26
1.4.4. Prácticas de manejo	28
1.4.5. Plagas y enfermedades	30
1.4.6. Producción en el Valle del Cauca	35
1.5. Cámaras estáticas para la medición de gases de efecto invernadero en suelos. ...	36
2. Materiales y métodos	40
2.1 Localización, descripción del sistema productivo evaluado.....	40
2.2 Diseño experimental	43
2.3. Muestreo de suelos.....	44
2.4 Muestreo de gases de efecto invernadero	44
2.4.1. Análisis estadístico	47
2.5. Desarrollo de biomasa	47
2.6. Incidencia de Mildew velloso (<i>Plasmopara viticola</i>).	47
3. Resultados y discusión.....	48
3.1. Caracterización del suelo.....	48
3.2. Flujos de emisiones de Óxido nitroso N ₂ O	49
3.2.1. Humedad, nitrógeno total y flujos de emisión de N ₂ O.....	52
3.2.2. Análisis estadístico	57
3.3. Dosis de nitrógeno y su relación con la generación de biomasa en <i>Vitis labrusca</i>	59
3.4. Dosis de nitrógeno y su relación con la incidencia de Mildew velloso	63
3.5. Relación entre los factores evaluados.....	68
4. Conclusiones y recomendaciones	72
4.1 Conclusiones	72
4.2 Recomendaciones	73
Bibliografía.....	74

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1 Esquema que explica el efecto invernadero	19
Figura 1-2 Distribución de la producción del cultivo de la vid en el Valle del Cauca para el 2017	36
Figura 2-1 Ubicación lote Hacienda Brasilia en el Valle del Cauca.	40
Figura 2-2 Ubicación hacienda Brasilia el Municipio de El Cerrito.....	41
Figura 2-3 Esquema sublotes y tratamientos.....	44
Figura 3-1 Flujos de Óxido Nitroso por día	50
Figura 3-2 Emisiones acumuladas de N ₂ O por día y tratamiento.	52
Figura 3-3 Humedad del suelo.....	53
Figura 3-4 Humedad Vs Flujo de gases sublote 1.	54
Figura 3-5 Humedad Vs Flujo de gases sublote 2.	55
Figura 3-6 Humedad Vs Flujo de gases sublote 3.	55
Figura 3-7 Nitrógeno total en el suelo	56
Figura 3-8 Análisis de varianza.....	58
Figura 3-9 Número de hojas en cada sublote.	60
Figura 3-10 Número de inflorescencias en cada sublote.	61
Figura 3-11 Relación hojas – inflorescencia para cada sublote.	63
Figura 3-12 Porcentaje acumulado de hojas enfermas en cada sublote	65
Figura 3-13 Porcentaje de Inflorescencias enfermas y secas en cada sublotes.....	66
Ilustración 2-1 Inserción en el suelo de base de cámara estática cerrada.	45
Ilustración 2-2 Prueba de medición de temperatura en cámara estática cerrada con termocupla y multímetro.	45
Ilustración 2-3 Muestreo de gases en cámara estática en campo.	46

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1 Clasificación taxonómica y procedencia de las especies más cultivadas de Vid	25
Tabla 1-2 Principales plagas y enfermedades en el cultivo de la Vid	30
Tabla 1-3 Análisis de laboratorio para gases efecto invernadero.	37
Tabla 2-1 Manejo cultural del cultivo de uva Isabella en la hacienda La Brasilia	41
Tabla 2-2 Descripción de los tratamientos	43
Tabla 3-1 Características químicas del suelo en el lote de uva Isabella en la hacienda la Brasilia, Cerrito.....	48
Tabla 3-2 Correlación de biomasa.	59
Tabla 3-3 Correlación incidencia de Mildew velloso en el cultivo	64

Introducción

Desde tiempos ancestrales la especie humana ha domesticado las especies vegetales con fines alimenticios; durante cientos de años el hombre ha mejorado la forma de cultivar, incluyendo riegos, selección de variedades resistentes, labranza, entre otras técnicas. Pero desde 1950 hasta la fecha se ha incrementado por un factor de 3 la producción agrícola mundial gracias al progreso y aumento de las tecnologías durante la “revolución verde” que estuvieron encaminadas al mejoramiento genético, uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos como prácticas agrícolas, para el aumento de los rendimientos por hectárea, para una población que ya supera los 6000 millones de personas (Lassaletta, Billen, Grizzetti, Anglade, & Garnier, 2014) (Tilman, Cassman, Matson, Naylor, & Polasky, 2002).

Son precisamente estas prácticas agrícolas las que han conllevado a una degradación de los ecosistemas, y los bienes y servicios que estos prestan. Por ejemplo, altas aplicaciones de fertilizantes y pesticidas se relacionan con la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, lo que conlleva a invertir recursos en tratamiento de agua y en salud, además de afectar actividades como la pesca y la recreación. Adicionalmente, la producción de alimentos es un servicio ecosistémico, por lo tanto, prácticas agrícolas que degraden la calidad del suelo afectarán dicho servicio, haciendo necesario un aumento de la fertilización, el riego y energía para mantener la producción agrícola en los suelos degradados (Tilman, Cassman, Matson, Naylor, & Polasky, 2002).

En los procesos de fertilización, el nitrógeno es uno de los elementos de mayor demanda, debido a su importancia para el desarrollo y sobrevivencia de las plantas en la producción agrícola (Torres, s.f.). Las características del ciclo biogeoquímico del nitrógeno son únicas, por sus pocas formas reactivas y alta movilidad, ya sea en la fase gaseosa (amoníaco y óxidos de nitrógeno, los cuales son fácilmente transportados en la atmósfera) o en la fase soluble (la alta solubilidad del nitrato hace fácil su transporte por el perfil del suelo hasta las aguas subterráneas) (Billen, Garnier, & Lassaletta, 2013).

El nitrógeno es fijado a los suelos mediante la acción de varios tipos de bacterias que transforman el (N_2) atmosférico en nitratos (NO_3^-) (nitrificación) que se reducen obteniendo productos como el óxido nitroso (N_2O) y el nitrógeno molecular (N_2) (desnitrificación) (FAO, 2004). Es precisamente de interés este último proceso, por la generación de óxido nitroso

12 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

(N₂O), clasificado como gas de efecto invernadero (GEI); cuyas emisiones, si bien representan un 0,03%, es casi 300 veces más dañino que el dióxido de carbono (CO₂), debido a su prolongado poder de calentamiento global (Arenas C., 2015). Por tanto, el aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos ha introducido un tipo adicional de movilidad de nitrógeno, que hoy se ve reflejado en un aumento de los flujos atmosféricos e hidrológicos, generando así, un incremento en las concentraciones mundiales de gases de efecto invernadero (Dióxido de carbono – CO₂, Metano - NH₄ y óxido nitroso - N₂O) (Crutzen, Mosier, Smith, & Winiwarer, 2016) (Billen, Garnier, & Lassaletta, 2013).

La agricultura moderna representa el 14% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, si se tiene en cuenta la energía utilizada y los cambios de uso del suelo para aumentar la superficie agraria, estas emisiones pueden superar el 30% (IPCC, 2013). En Europa para el año 2014, el sector agrícola fue la segunda fuente de GEI (10.2%) después del sector energético (76.8%) (ISPRA , 2016). Lo anterior, indica la importancia de reducir las emisiones del sector agrícola, mediante los aportes de la investigación desde la ingeniería ambiental y la instrumentación de políticas en los territorios, por lo que diversos gobiernos han emprendido acciones para hacer frente a este problema, un ejemplo es la política agrícola del común (CAP) de la Unión Europea, la cual tiene objetivos en torno al cambio climático, cumpliendo así obligaciones legislativas procedentes del marco de Clima y Energía de 2030, acordes a los objetivos y metas internacionales establecidos en el Acuerdo de París y varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Coderoni & Esposti, 2018).

Así, las emisiones de N₂O producto de la fertilización han sido objeto de estudio durante los últimos años; trabajos realizados en sistemas ganaderos en cinco países de la región de América Latina y el Caribe (ALC), incluyendo Colombia, determinaron que las pasturas degradadas emiten un 24% más de N₂O que una pastura no degradada (Chirinda, y otros, 2019). Sin embargo, las emisiones de N₂O también se pueden ver significativamente afectadas por las cantidades y formas de nitrógeno (N) disponibles, del clima local y las condiciones del suelo en agroecosistemas específicos. Evaluaciones realizadas en Mongolia con diferentes fuentes nitrogenadas y niveles de fertilización durante dos años, encontraron que dosis medias y altas de nitrógeno aumentaron las emisiones anuales de

N₂O pero sin diferencias significativas entre ellos, y para el tipo de fuente, el calcio nitrato de amonio y sulfato de amonio tuvieron mayores emisiones (Peng, Qi, Dong, Xiao, & He, 2011).

Varios autores concluyen que la estimación de emisiones de N₂O depende de varios factores como el tipo de cultivo, condiciones edafoclimáticas, niveles de fertilización, propiedades del suelo, entre otras; adicional a lo anterior se suma los métodos de medición, los cuales pueden sumar errores en los datos tomados, precisamente por la cantidad de variables que influyen sobre el fenómeno (Arenas C., 2015) (Peng, Qi, Dong, Xiao, & He, 2011). Lo anteriormente expresado, deja claro la falta de criterios sobre los limitantes en los objetivos planteados en la investigación, que precisamente busca establecer las emisiones de N₂O generadas en el agroecosistema de la uva Isabella (*Vitis labrusca*), de acuerdo con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado; la finalidad de realizar diferentes aplicaciones de nitrógeno es evaluar la predisposición del cultivo a ser atacado por patógenos (fisiopatías) y factores asociados con el rendimiento del cultivo.

Las plantas responden diferencialmente a diferentes niveles de nitrógeno; dichas respuestas pueden ser positivas, como el aumento de los rendimientos por hectárea, pero también negativos, como el incremento en la incidencia de plagas y enfermedades (Agrios, 2005). Estudios realizados en arándanos demostraron que la aplicación de N incrementó la incidencia de la enfermedad del hongo parásito *Valdensia heterodoxa* (Granath & Strengbom, 2017). En caña de azúcar, realizaron aplicaciones de NO₃⁻ y NH₄⁺ en diferentes cantidades, obteniendo que solo NH₄⁺ favoreció el desarrollo de la roya marrón (*Puccinia melanocephala*) y con porcentajes mayores de NO₃⁻ se obtuvo mayor biomasa aérea (Nastaro B., Mariano, Antunes A., & Ocheuze T., 2019). Altas dosis de nitrógeno en conjunto con fungicidas controlaron la enfermedad causada por *Pyrenophora tritici-repentis* en trigo, obteniendo también mayores rendimientos por hectárea (Schierenbeck, Fleitas, Gerard, Dietz, & Simón, 2019).

La presente investigación se realizó en el agroecosistema de Uva Isabella (*Vitis labrusca*), debido a trabajos previos realizados por la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, en este agroecosistema a través de las Escuelas Agrobiológicas; teniendo como resultado una caracterización socioeconómica y cultural de los viticultores, y el desarrollo de dos aplicaciones móviles, MipUN para la gestión de plagas y enfermedades en parcelas

14 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

vitícolas y FertiUN pensada para ayudar a la gestión del suelo, mediante prácticas de fertilización en consonancia con las necesidades del suelo.

La Uva Isabella (*Vitis labrusca*) como cultivo, se está desarrollando plenamente en los municipios de Ginebra, el Cerrito y Guacarí en el centro del Valle de Cauca. Este agronegocio se avizora como atractivo para el país en términos de exportación. Como cualquier cultivo comercial hoy en día, demanda una gran variedad de insumos, entre ellos los fertilizantes, los cuales son usados sin un análisis de suelo y el acompañamiento técnico necesario, generando una serie de impactos ambientales y agronómicos, como el incremento en las emisiones de óxido de nitrógeno y la reducción de la productividad de la uva, lo que se plantea como objeto de investigación del presente documento.

Para alcanzar los objetivos, se tomaron datos de una finca comercial vitícola, llamada “La Brasilia” ubicada en el corregimiento de El Cerrito, Valle del Cauca, propiedad del Ingeniero Julio Castro, en donde se desarrolló un diseño experimental de bloques con tres subparcelas de un lote, en las que se realizaron tres aplicaciones diferenciadas de fertilizante nitrogenado (tratamiento) y donde por medio del establecimiento de cámaras estáticas cerradas se tomaron muestras de gases de efecto invernadero, los cuales fueron enviados al centro internacional de agricultura tropical – CIAT, para su análisis por cromatografía de gases. Paralelo, se realizaron periódicamente evaluaciones de desarrollo del cultivo y monitoreo para determinar ataque de plagas y/o enfermedades.

Con el desarrollo de este proyecto, se busca contribuir con información que permita avanzar en la investigación de la dinámica del nitrógeno en el agroecosistema de Uva Isabella y así, a futuro aportar a mejorar practicas que incorpore mayores rendimientos sin detrimento del medio ambiente y que contribuya a disminuir el riesgo asociado con el incremento en la incidencia de enfermedades como el Mildew velloso causada por el hongo *Plasmopara viticola* la cual es una de las enfermedades de mayor impacto en la fruticultura colombiana y sus daños se asocian a una pudrición blanda y acuosa en las bayas, causando grandes pérdidas a pequeños y grandes productores.

Justificación

En Colombia se producen más de 30.000 toneladas al año de uva Isabella (*Vitis labrusca*), las condiciones climáticas del Valle del Cauca son propicias para el desarrollo del cultivo, actualmente este departamento aporta más del 85% a la producción nacional y tiene el 86,9% del área total sembrada en todo el país (Guzman, 2016). Son cifras que van en aumento, pues son varios los agricultores que han sembrado uva isabella, por la rentabilidad que puede presentar. Sus rendimientos se encuentran entre 10 y 12 kilos por planta, llevando a producciones alrededor de las 24 toneladas/ha; según el portal de Agronegocios la rentabilidad está alrededor del 60%.

En el ámbito social es de gran relevancia, debido al número de familias que producen Uva Isabella (*Vitis labrusca*), por ejemplo, en la Vereda Patio Bonito en el municipio de Ginebra, son más de 50 familias que dependen de este cultivo y son varias las asociaciones que se han conformado alrededor de este agronegocio.

Sin embargo, según los resultados obtenidos por (Cano Benitez, 2018) los productores de uva Isabella en el Valle del Cauca, indican que la fertilización realizada en sus cultivos pocas veces se realiza con base a un análisis de suelo, toman referencias y recomendaciones de otras experiencias. Adicional a lo anterior para el Valle del Cauca, los estudios en nutrición que soportan los planes de fertilización son escasos, solo se reportan estudios realizados en potasio, como segundo elemento de mayor demanda, después del nitrógeno (Puerto, Mejia de Tafur, Menjivar, & Puentes, 2014).

La fertilización debe realizarse con base a un análisis de suelo, que permita establecer las verdaderas necesidades del cultivo, de lo contrario se incurre en sobrecostos, deficiencias y desbalances nutricionales que inciden directamente en los rendimientos del cultivo (Palma, 2006); además, hay un aspecto que poco se tiene en cuenta y es en relación a los impactos ambientales, los cuales pueden generarse como resultado de un exceso en la fertilización, como en el caso del nitrógeno, el cual genera entre otros impactos, emisiones de óxido nitroso (N_2O), un gas de efecto invernadero, el cual tiene un potencial de calentamiento 296 veces superior al CO_2 y CH_4 , por ello la importancia de conocer su dinámica en los sistemas agrícolas, los cuales superan por más de 100 veces la fijación natural de nitrógeno en los suelos, ocupando así el 35% de las emisiones del sector

16 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

agropecuario y el 16% de las emisiones totales nacionales de N₂O en el 26% de la participación del sector en el inventario nacional (Chaparro, Cuervo, Gomez, & Toro, 2001) (Instituto de hidrología & PNUD, 2016).

Es importante mencionar, que el nitrógeno es un elemento ampliamente estudiado en el sector agrícola, que dependiendo del manejo que se le dé puede tener incidencias positivas o negativas en el desarrollo de un cultivo. Desde el aspecto fitosanitario, se indica que dosis adecuadas de nitrógeno pueden reducir la incidencia de patógenos de importancia económica en la uva como el Mildew (*Plasmopara vitícola*) o el Moho gris (*Botrytis cinérea*) los cuales generan pérdidas económicas a los productores (Palma, 2006). Por ejemplo, estudios realizados en *Vitis vinífera* en Grecia encontraron que dosis de 150 kg/Ha aumentaron la susceptibilidad a *B. cinérea* y de igual manera mejoraron parámetros de calidad del fruto, pero retrasaron la acumulación de azúcares (Thomidis, y otros, 2016).

Por otra parte, de acuerdo a la dosis, forma de aplicación, riego, entre otras variables, el nitrógeno tiene un efecto sobre los rendimientos del cultivo (Oliveira, y otros, 2019); sin embargo hay que tener en cuenta que todo sistema agrícola tiene un límite en la absorción de nutrientes que se representa en buenos rendimientos (Puerto, Mejía de Tafur, Menjivar, & Puentes, 2014), lo demás se pierde, una de esas pérdidas está relacionada con la emisión de N₂O. Esto indica que la dosis de nitrógeno aplicada en el cultivo de la Uva Isabella puede tener incidencia en aspectos productivos, fitosanitarios y ambientales, por tanto, teniendo en cuenta que, en el caso de la Uva Isabella, en Colombia no se reportan estudios en relación con este elemento, se hace importante conocer cuales niveles de nitrógeno se convierten en un buen desarrollo vegetativo, y que no representen un importante factor de riesgo de enfermedades limitantes como las fungosas foliares y emisiones de óxido nitroso (N₂O).

Sistema de Hipótesis

El incremento en los flujos de emisión de óxido nitroso está asociado con la fertilización nitrogenada, por lo que se vería afectada por una aplicación diferenciada de nitrógeno en los suelos donde se cultiva Uva Isabella.

Una sobrefertilización nitrogenada predispone al cultivo de *Vitis labrusca* a una mayor incidencia de *P. vitícola*, afectando el balance de follaje con impacto en la producción.

Objetivos

Objetivo general

Determinar los efectos que tienen diferentes dosis de nitrógeno en el flujo de emisiones de óxido de nitroso N_2O , producción de biomasa e incidencia de Mildeo Velloso (*Plasmopara vitícola*) en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca.

Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el comportamiento de los flujos de emisión de óxido nitroso N_2O producto de tres niveles de fertilización nitrogenada en el cultivo de *Vitis labrusca* en el Valle del Cauca.
- ✓ Correlacionar la generación de biomasa en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca* L.) con tres diferentes dosis de nitrógeno.
- ✓ Determinar el efecto sinérgico de la dosificación de Nitrógeno sobre la enfermedad foliar Mildeo velloso (*Plasmopara vitícola*) y su impacto en la biomasa.

1. Marco Teórico

1.1 Producción agrícola, cambio climático y gases de efecto invernadero.

Actualmente en el mundo las tierras agrícolas ascienden aproximadamente a los 50'000.000 de kilómetros cuadrados, ocupando el 40% del área total (World Bank, 2019).

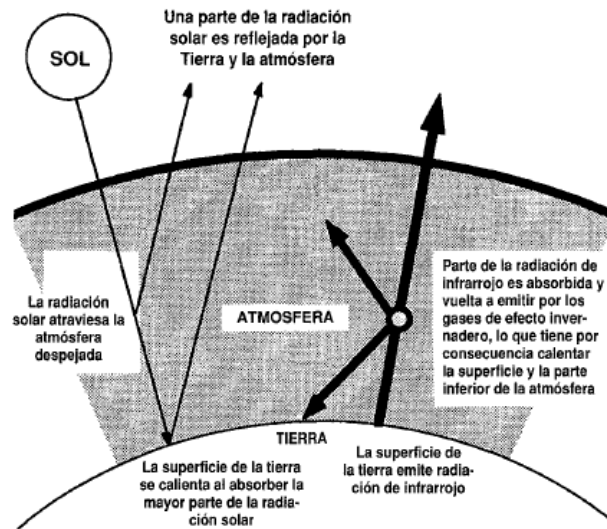
Son millones de toneladas de alimentos que se producen mundialmente, conllevando una serie de impactos ambientales sobre la biodiversidad, el agua, el suelo, el aire y otra serie de elementos esenciales de los ecosistemas. Es claro que el manejo dado a los sistemas productivos son los responsables directos de los impactos generados por el sector agropecuario; por ejemplo, la aplicación de fertilizantes sintéticos altera los flujos naturales de los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, como el del Carbono y el Nitrógeno, conllevando una serie de alteraciones en sus concentraciones en agua, suelo y atmósfera. (Tilman, Cassman, Matson, Naylor, & Polasky, 2002).

Dichas alteraciones se pueden observar a diferentes niveles, desde lo local hasta lo global, siempre encadenados, siendo sinérgicos y aumentando sus impactos. Una deforestación en cierta región para siembra de algún cultivo agrícola liberará elementos como el carbono y el nitrógeno allí almacenado, seguido las fertilizaciones y fumigaciones generarán lixiviaciones y emisiones, teniendo como receptor el medio natural, ahora, si se repite lo mismo en varios lugares, el impacto generado será de mayor magnitud.

El cambio climático, puede tomarse como ejemplo de lo expuesto anteriormente, sus causas se atribuyen principalmente a la industrialización, donde por décadas ha tenido como receptor de sus residuos el ambiente, en especial la atmósfera, la cual regula el clima y hace parte esencial de la gran mayoría, por no decir todos los procesos naturales. El aumento de las concentraciones de gases conocidos como gases de efecto invernadero – GEI, los cuales son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozono

troposférico (O_3) y los clorofluorocarbonos (CFC), generan una menor pérdida de radiación solar desde la superficie de la Tierra al espacio, generando así un aumento de la energía en la Tierra, aspecto que se ve reflejado en el aumento de las temperaturas a nivel global, este fenómeno recibe el nombre de efecto invernadero (IPCC, 1992) (Arenas C., 2015).

Figura 1-1 Esquema que explica el efecto invernadero



Fuente: (IPCC, 1992).

En el quinto informe del Panel Intergubernamental de Cambio climático se afirma que el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero causará un aumento de la temperatura conllevando el aumento de la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas, como olas de calor y episodios de precipitación extrema de mayor frecuencia e intensidad en muchas regiones; el océano se seguirá calentando y acidificando, y el nivel medio global del mar continuará elevándose.

El sector agrícola aporta cerca del 30% de las emisiones globales de GEI (IPCC, 2013). En un escenario de cambio climático, es necesario emprender acciones de reducción de las emisiones del sector agrícola, mientras se generan estrategias de adaptación, a fin de mantener la producción de alimentos.

1.2. El Nitrógeno y la dinámica de generación de N₂O en sistemas agrícolas.

El nitrógeno es un elemento químico descubierto por el químico y botánico escocés Daniel Rutherford (1749-1819), su símbolo químico es "N" y en su estado físico habitual es un gas incoloro, inodoro e insípido. Constituye el 79% del aire en la atmósfera, en la corteza terrestre es común encontrarlo como nitrato sódico (NaNO₃) y el nitrato potásico (KNO₃) (Andreu, y otros, 2006).

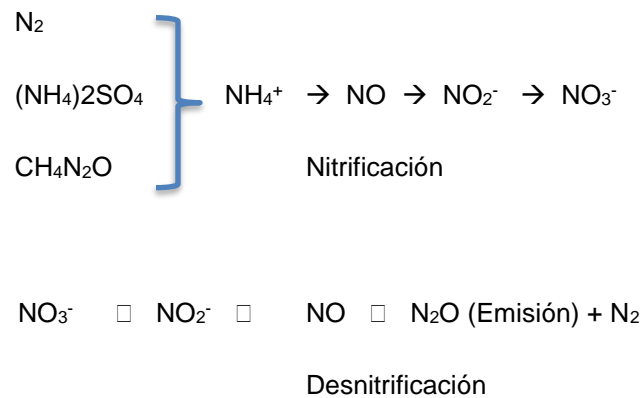
El nitrógeno (N) tiene un papel de suprema importancia, hace parte de los aminoácidos y estos a su vez de las proteínas. En su forma gaseosa, en la atmósfera pasa por una serie de procesos biogeoquímicos para ser absorbido por las plantas, las cuales son consumidas por los animales, por tanto, hace parte de la intrincada red de la vida (Andreu, y otros, 2006), de allí su importancia en la agricultura, sin los aportes de nitrógeno (N) dados por la fertilización no se alcanzarían los rendimientos por hectárea necesarios para una producción de alimentos acorde a la demanda mundial.

El ciclo del nitrógeno es global e intervienen todos los componentes de la biosfera, la atmósfera, el suelo, la superficie de la tierra, el agua y la biomasa. En cada uno de los componentes ocurren una serie de transformaciones y cambios; en el suelo las entradas de nitrógeno pueden provenir del agua lluvia, en forma de amonio y óxidos de nitrógeno disueltos o por la fijación bacteriana. Naturalmente, las entradas de nitrógeno al suelo son de 10kg/ha/año, la fertilización nitrogenada multiplica esta cifra más de cien veces en condiciones agrícolas intensivas (Andreu, y otros, 2006).

Los altos niveles de fertilización nitrogenada por lo general se realizan esperando aumentos en los rendimientos agrícolas. Si bien la relación rendimiento-fertilización se usa normalmente en agronomía como una herramienta para predecir el aumento del rendimiento de un cultivo dado que podría esperarse de un aumento de la fertilización en un contexto pedo-climático específico (Lassaletta, Billen, Grizzetti, Anglade, & Garnier, 2014).

En términos de las pérdidas por emisiones de GEI generadas por el nitrógeno, es necesario conocer los procesos que se llevan a cabo en el suelo. La mayor parte de Nitrógeno que

ingresa al suelo es adsorbido por las plantas, en su forma orgánica se integrará a la biomasa, materia orgánica fresca y estable (humus). En un proceso denominado nitrificación el nitrógeno (N_2) que llega o está en el suelo como urea, sulfatos o materia orgánica es asimilado por bacterias que lo transforman en nitrógeno amoniacal (NH_4^+), posteriormente por acción de Nitrosomas (bacterias autótrofas) lo llevan a nitritos (NO_2^-), donde las Nitrobacter lo oxidan a nitratos (NO_3^-), la nitrificación es un proceso aeróbico, pero cuando el suministro de O_2 está limitado por restricciones de difusión, las bacterias nitrificantes, usan el nitrito como aceptor de electrones y lo reducen a NO y N_2O en un proceso denominado como desnitrificación (Smith, y otros, 2003) (FAO, 2004) (Arenas C., 2015).



En condiciones donde el consumo respiratorio de oxígeno en el suelo por las raíces y microorganismos del suelo excede la tasa de reposición por difusión de la atmósfera, y se crean micrositos anaeróbicos dentro del perfil del suelo, el nitrato actúa fácilmente como un aceptor de electrones, una vez agotado el oxígeno, por lo tanto, la desnitrificación, a diferencia de la producción de metano, puede ser rápido. Lo anterior indica que las emisiones de N_2O depende en gran medida de la relación de los componentes biológicos del suelo con los factores físicos y químicos del suelo, como la temperatura del suelo, el contenido de agua, contenido de oxígeno, pH, disponibilidad de C y N orgánicos lábiles, los cuales precisamente tienen efectos sobre los microorganismos, la actividad de las raíces y del agroecosistema en general (Smith, y otros, 2003) (Chapuis L., Wrage, Metay, Chotte, & Bernoux, 2007).

En la desnitrificación como se presentó anteriormente, para llegar a N_2O se pasa NO , sin embargo, éste está prácticamente ausente en las emisiones gaseosas, esto se atribuye a

una mayor tendencia a que los organismos desnitrificantes consuman NO que N₂O; la emisión de NO de los suelos generalmente se detecta sólo en condiciones experimentales altamente artificiales (Firestone & Davidson, 1989) (Johansson & Galbally, 1984). La desnitrificación también depende de los contenidos de nitrógeno en el suelo; estudios realizados en Galicia España durante el ciclo productivo del cultivo de maíz *Zea maíz* encontraron que los picos de emisiones de N₂O se vieron reflejados justamente después de la aplicación de fertilizantes (Louro, 2010).

1.3. Nitrógeno y su incidencia en enfermedades.

La relación entre las enfermedades, los patógenos y la nutrición en las plantas es altamente compleja pues intervienen factores como el estado de nutrientes específicos, el estado nutricional de la planta, la especie de la planta hospedera, el tipo de patógeno o enfermedad, entre otros. Estos elementos influyen en la resistencia, que consiste en la habilidad del huésped para limitar la penetración, desarrollo y/o reproducción del patógeno invasor o limitar el alimento de las plagas, y en la tolerancia, que hace referencia a la capacidad de la planta hospedera para continuar con su crecimiento a pesar de la infección o ataque de la plaga (Huber , Römheld, & Weinmann, 2012).

La resistencia en las plantas puede aumentar por cambios en la anatomía (grosor de las células epidérmicas, aumento en el grado de lignificación y/o silificación), en las propiedades fisiológicas o bioquímicas (con la producción de sustancias inhibitorias o repelentes). De igual manera, puede darse una resistencia aparente cuando la etapa más susceptible de crecimiento de la planta no se encuentra sincronizada con el periodo de la más alta actividad de parásitos y plagas (Huber , Römheld, & Weinmann, 2012).

Para la consecución de estos mecanismos de defensa con los que cuentan las plantas se requiere la liberación de energía, el desarrollo y el mantenimiento de las estructuras corporales así como la regulación de los procesos metabólicos, actividades que se encuentran determinadas por la nutrición del organismo (AgroEs, s.f.), y que influye a su vez en procesos de respiración, fotosíntesis y transpiración que son fundamentales para el crecimiento vegetal (Corrales González, Rada , & Jaimez, 2016).

El nitrógeno es un macronutriente que hace parte de los componentes esenciales que contribuyen en el crecimiento y desarrollo vegetal, teniendo efectos directos en la fisiología de la planta como, por ejemplo: el crecimiento de las hojas, la senescencia, la arquitectura del sistema radicular, el tiempo de floración, entre otros (Vega Contreras, 2015). Sin embargo, este elemento se encuentra en bajas cantidades en condiciones naturales ya que es incorporado por la lluvia o por la fijación de numerosos microorganismos y vegetales superiores (Tecnico agrícola, 2013). Es por que dentro de las prácticas agrícolas se realizan fertilizaciones nitrogenadas de las cuales solo entre el 40 y el 50% puede ser asimilado por los cultivos (Vega Contreras, 2015).

Dado el nivel de aprovechamiento de nitrógeno que tiene el cultivo, la disponibilidad que hay en el suelo y a que solo puede ser asimilado por las plantas cuando se encuentra en estado mineral, sumado a que con las aplicaciones de nitrógeno aumenta el vigor de las plantas y en el caso del cultivo de la vid, mejora la fertilidad de las yemas y da un aumento en el peso de la baya y del racimo (AgroEs, s.f.), se tiende a aumentar la fertilización sin tener en cuenta las necesidades nutricionales de la planta lo que conlleva a un desequilibrio que puede desencadenar en el desarrollo de enfermedades, el aumento en los daños fisiológicos y los causados por los insectos así como tener efectos negativos en el rendimiento de los cultivos (Rizo, 2008).

Esto se debe a que cuando se incorporan altas cantidades de N se reduce la producción de compuestos fenólicos que cuentan con propiedades fungistáticas (elementos capaces de suspender el crecimiento y el desarrollo de los hongos o la germinación de sus esporas) así como de lignina en las hojas disminuyendo la resistencia a los patógenos obligados, de igual manera, aumentan la concentración de aminoácidos y de amidas en el apoplasto y en la superficie foliar, que favorecen la germinación y el desarrollo de los conidios que conllevan al avance de enfermedades fúngicas (Yamada, 1996).

Adicionalmente un exceso en los niveles de nitrógeno hace más delgadas y débiles las paredes celulares, retrasa la madures en el tejido de las plantas y por ende aumenta el riesgo de desarrollo de una enfermedad. Adicionalmente el nitrógeno es un elemento clave para el desarrollo de hongos patogénicos en plantas dado que se requiere para el crecimiento de los micelios, esporulación y colonización (Thomidis, y otros, 2016).

Así pues, un aumento en las concentraciones del nitrógeno hace más susceptible la planta a patógenos obligados como el hongo *Plasmopara viticola* causante del Mildeo velloso, ya que estos dependen de asimilados suministrados por células vivas, mientras que por lo general aumenta la resistencia a patógenos facultativos, que son semisaprófitos por lo que prefieren tejido senescente o liberan toxinas para dañar o matar las células de la planta hospedera (Huber , Römheld, & Weinmann, 2012). No obstante, este efecto puede variar por factores adicionales como la especie de la planta o las condiciones de crecimiento.

Para el caso de la uva, un incremento en las concentraciones de nitrógeno estimula el crecimiento de los brotes, así como el sombreado del dosel, lo que genera un microclima que aumenta la humedad, generando las condiciones ideales para que aumente la incidencia de moho gris, producida por *Botrytis cinérea*, que es un organismo facultativo y otros organismos fúngicos (Mundy & Beresford, 2007).

Al presentarse un aumento en el desarrollo de enfermedades fúngicas así como las producidas por otros patógenos obligados o facultativos como consecuencia de excesos de nitrógeno en el cultivo, se recurre a pesticidas y fungicidas para controlar estos brotes fitosanitarios, aumentando así la concentración de compuestos químicos que terminan en los diferentes ecosistemas, afectando de esta manera la calidad del agua, del aire y las relaciones con los otros organismos que interactúan en el cultivo.

Trabajos realizados por (Alvarez, García, Mora, González Díaz, & Salgado, 2013) en el patosistema de *Peronospora sparsa*- *Rosa sp.* Encontraron que cuando hay un incremento de nitrógeno a 150 % de su contenido en la solución nutritiva estándar, aumenta la incidencia y severidad de la enfermedad.

De manera que es indispensable realizar fertilizaciones eficientes en los que se consideren los balances de mineralización, inmovilización y los momentos en los que el nitrógeno se encuentra disponible tanto en cantidad como en distribución en el perfil del suelo (Tecnico agrícola, 2013). Para que así se genere una buena nutrición del cultivo sin hacerlo vulnerable a enfermedades que indirectamente incrementan el uso de compuestos químicos que terminan alterando los ecosistemas.

1.4. Cultivo de Uva Isabella (*Vitis labrusca*).

El cultivo de *Vitis labrusca* (uva Isabella) corresponde a una uva híbrida originaria del sur de los Estados Unidos, proveniente de una cepa nativa (*Vitis labrusca*) y una variedad vinífera desconocida. Tuvo buena aceptación como resultado de su adaptación a condiciones edafoclimáticas variables, elevada productividad, longevidad y su relativa resistencia para sobrevivir a condiciones adversas de crecimiento, como lo demuestra su tolerancia a la plaga de la filoxera, cuyo control a finales del siglo XIX se realizó a partir de injertos con variedades viníferas y estacas de *Vitis labrusca* que eran susceptibles a este insecto (Toro Zapata & Suárez Osorio, 2012).

1.4.1. Taxonomía del cultivo

La vid es una angiosperma, de la clase de las dicotiledóneas, con flores simples (*choripetalae*) y dotada de cáliz y corola (*Dyalypetalae*). Pertenece al orden *Rhamnales*, que son plantas leñosas que cuentan con una larga vida, por lo que su periodo juvenil se da entre los 3 y 5 años, tiempo durante el cual no produce frutos, de modo que las yemas que son las encargadas de la producción se forman durante este ciclo y se abren hasta el año siguiente (Almanza Merchán, 2011). En la **Tabla 1-1** se presenta una clasificación de las variedades más cultivadas en la actualidad junto con su lugar de procedencia.

Tabla 1-1 Clasificación taxonómica y procedencia de las especies más cultivadas de Vid

TAXONOMÍA	ESPECIES	PROCEDENCIA
División: Espermatofitas		
Subdivisión: Angiospermas		
Clase: Dicotiledóneas		
Subclase: Archiclamideas		
Orden: Rhamnales		
Familia: Vitáceas		
Género: <i>Vitis</i>		
Subgénero: Euvitis (30 especies)	<i>Vitis vinifera</i> L.	Europeo-Asiática
	<i>Vitis silvestris</i>	Europeo-Asiática
	<i>Vitis riparia</i>	Americana
	<i>Vitis labrusca</i>	Americana
	<i>Vitis rupestris</i>	Americana
	<i>Vitis berlandieri</i>	Americana
Subgénero: Muscadinea (3)	<i>Vitis rotundifolia</i>	Americana-México

Fuente: Tomado de Almanza Merchán, 2011

1.4.2. Condiciones agroclimáticas para el desarrollo

Entre las condiciones agroclimáticas que se deben considerar para que el cultivo tenga un buen desarrollo se encuentran: la altitud, debe estar entre los 900 y los 1600 msnm preferiblemente; la precipitación se recomienda que sea inferior a los 800 mm por año, aunque puede crecer en regiones que cuenten con 1000 y 1200 mm al año, pero son más susceptibles a desarrollar enfermedades de origen fúngico. La luminosidad que permite la acumulación de azúcares, debe estar entre 1833 a 1891 horas de brillo solar al año; la humedad relativa debe ser baja entre un 70 y un 80% y los suelos deben ser preferiblemente francos con una textura media, buena estructura, permeables, sueltos y profundos, cuyo nivel freático se encuentre por debajo de 1.5m de la superficie durante todo el año (Toro Zapata & Suárez Osorio, 2012).

Sumado a esto y teniendo que cuenta que la vid es una planta con la capacidad de desarrollar un sistema radicular profundo y que además cuenta con poca resistencia al exceso de humedad, los suelos en donde se cultive deben contar con buenos sistemas de drenaje. Por lo que si hay excesos de humedad en los lotes, se pueden adecuar mediante zanjas (cuyo número, distancia y profundidad, dependerá del tipo de suelo y la cantidad de agua excedente), realizando cinceladas profundas que permitan además la aireación, disminuyan la compactación y con esta las pudriciones radicales (Cano Benitez, 2018).

1.4.3. Ciclo vegetativo y reproductivo del cultivo

Es importante reconocer el ciclo vegetativo y reproductivo del cultivo de manera que se puedan tener en cuenta los requerimientos que tiene la planta en cada uno de los estadios de su desarrollo. Estos dos ciclos se dan simultáneamente, por lo que se encuentran en una continua competencia por el uso de los nutrientes. El primero hace referencia al crecimiento y desarrollo de los órganos vegetativos, el almacenamiento de sustancias de reserva y el inicio del reposo de las yemas mientras que el segundo hace referencia a la formación y desarrollo de los órganos reproductores de la vid y su maduración (Almanza Merchán, 2011).

Así, el ciclo vegetativo comprende la brotación de las yemas en los sarmientos del ciclo del cultivo anterior; el crecimiento de brotes, hojas y área foliar, que sucede como resultado del equilibrio entre estimuladores e inhibidores al interior de la planta que responden a su desarrollo y a las condiciones ambientales; la senectud y abscisión de hojas, que se da desde la base del brote hasta la punta y es correlativo con otros órganos, tejidos y el ambiente; el reposo, en donde los tejidos son inducidos al reposo metabólico impidiendo el crecimiento celular (en climas templados inicia con las bajas temperaturas de otoño); y el desborre, en donde se manifiesta el primer crecimiento vegetativo que vuelve a dar inicio al ciclo (Almanza Merchán, 2011).

El ciclo reproductivo se compone por su parte de la floración, resultado de factores externos e internos que indican la fertilidad de las yemas y se da dos meses después del desborre; cuajado y formación del fruto, sucede cuando las bayas sobrepasan los 2 mm de diámetro, en donde, además, el racimo está formando un ángulo de 90° con el brote; y finalmente, el crecimiento, desarrollo y madurez del fruto. Esta última fase cuenta a su vez con varias etapas, la primera es la herbácea que va desde la formación del grano hasta el envero, en donde la uva cambia de color. Posteriormente se encuentra la etapa de maduración en donde se desdoblán los ácidos orgánicos y se llega a la madurez organoléptica y por último se encuentra la sobre maduración en donde la uva se deshidrata, su composición química cambia y se vuelve muy sensible al ataque de patógenos (Almanza Merchán, 2011).

Cabe mencionar que el crecimiento de la planta es erguido y cuenta con una etapa herbácea y otra leñosa, posee sarcillos opuestos a las hojas y flores que facilitan la polinización y protección. La reproducción puede hacerse de manera sexual mediante polinización o asexual a partir de estacas. Es esta última la metodología más utilizada para su propagación por los tiempos que requiere para su crecimiento, así como por la posibilidad de seleccionar el mejor material genético. De manera que se tiene en cuenta la variedad seleccionada, la inocuidad frente a plagas y enfermedades, la productividad y calidad de los frutos y el manejo agronómico que llevan (Cano Benitez, 2018).

1.4.4. Prácticas de manejo

Las prácticas culturales que requiere el cultivo para un buen desarrollo son la poda, el deshoje, el deschupone, el raleo, el descanso, el riego, la fertilización, el manejo fitosanitario, entre otras que puedan surgir para el manejo específico de cada cultivo.

La poda, es una actividad fundamental para el proceso productivo de la vid. Durante el establecimiento del cultivo se realizan podas de formación para que se dé una adecuada distribución de la planta en el sistema de sostenimiento (emparrado). Se hace en tres niveles, a los 90, 130 y 170 cm de altura para estimular la brotación de yemas cuyos sarmientos se extienden a los lados. Una vez la planta ha alcanzado los 2.0m de altura se distribuyen los últimos 4-6 rebrotes sobre el enmallado. Una vez se ha iniciado el proceso productivo, se realizan las podas de producción, de manera que se induce el inicio del ciclo vegetativo después del descanso (Secretaría Técnica Cadena Productiva Frutícola, 2006).

El deshoje y el deschupone se realizan durante el proceso productivo como estrategia de manejo preventivo de enfermedades, así como para concentrar la energía en los racimos. El raleo, que consiste en eliminar algunos de los frutos en exceso, permite modificar la relación fuente-destino, modificando el equilibrio de la planta, haciendo que una cantidad constante de metabolitos se distribuya en una menor cantidad de racimos, mejorando las características organolépticas de la baya (Rodríguez, et.al, 2011).

El descanso es el periodo que se da entre la cosecha del fruto y la siguiente poda de producción. Debe ser de al menos 60 días, tiempo en cual la planta vuelve a acumular nutrientes en la raíz, tallo y sarmientos, que serán utilizados en el siguiente ciclo productivo. Durante este periodo se deben realizar riegos espaciados y una protección del follaje. Un mal manejo del descanso puede devenir en defoliación causada por Mildeo y un debilitamiento de la planta que tendrá efectos negativos en el rendimiento y calidad de la cosecha siguiente (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria., 1998).

Las condiciones de humedad del suelo influyen directamente en el desarrollo de la vid. Así, etapas como la brotación, el crecimiento de los brotes hojas y bayas son susceptibles al déficit de humedad a tal punto que pueden detener su crecimiento afectando la producción,

mientras que la etapa de maduración del fruto se ve favorecida por condiciones de moderada escasez de agua (Pire C. , De Fréitez, De Pire, & Tortolero, 1989). De modo que el riego debe ser consistente con las necesidades del cultivo y darse en los momentos precisos para así tener un mejor crecimiento, desarrollo y maduración del fruto.

La fertilización debe hacerse de acuerdo con los análisis foliares y del suelo, de manera que se pueda establecer los requerimientos que tiene la planta, así como los déficit o excesos que puede haber en el suelo. Para el caso de la vid, el potasio es clave para la producción de los racimos ya que favorece el enriquecimiento de los azúcares en las bayas y da resistencia a la pared celular para evitar infecciones. El nitrógeno, por su parte, favorece la formación de follaje que a su vez permite el exceso de humedad junto con el debilitamiento de las paredes celulares por lo que se facilita la infección y además contribuye a los ataques de Botrytis (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria., 1998). Sin embargo, para el Valle del Cauca, no existe una carta de navegación de los niveles de fertilización necesarios, hay aproximaciones realizadas con trabajos de investigación realizados principalmente en Potasio (Puerto, Mejía de Tafur, Menjivar, & Puentes, 2014).

El manejo fitosanitario corresponde a las técnicas y métodos utilizados para la prevención, control y eliminación o curación de las enfermedades de las plantas. Se recomienda que esta se realice en el marco de las buenas prácticas agrícolas (BPA), con labores de prevención, monitoreo, intervención. En la prevención se incluyen las actividades de selección del material vegetal, ubicación del terreno (buscando que cuente con las mejores condiciones edafoclimáticas para el establecimiento del cultivo), construcción de drenajes eficientes, solarización de los montículos, inoculación de microorganismos eficientes y de antagonistas de patógenos, aplicación de fertilizantes de acuerdo a las requerimientos nutricionales del cultivo, y las prácticas culturales y profilácticas que prevengan el desarrollo de plagas y enfermedades en el cultivo (Instituto Colombiano Agropecuario, 2012).

El monitoreo, corresponde al proceso en el que se verifican las condiciones fitosanitarias del cultivo a partir de la observación, de manera que se pueda percibir de manera oportuna la aparición de plagas y enfermedades. En este recorrido se observan las diferentes partes de la planta y su entorno, así, en la raíz se verifica el contenido de humedad del suelo, presencia de arvenses y su desarrollo; en el tallo y las ramas se identifican manchas,

necrosis o pudriciones; en las hojas, la presencia de manchas, clorosis, necrosis, deformaciones y heridas; en los botones y flores, el desarrollo, vigor, presencia de insectos, larvas, manchas, pudriciones; y en los frutos, el desarrollo, consistencia, color, llenado, presencia de insectos, larvas, manchas o pudriciones. Finalmente, en la intervención, con base en la incidencia y severidad de los problemas fitosanitarios identificados, se definen las alternativas de intervención que pueden ser de carácter físico, biológico o químico dependiendo del caso (Instituto Colombiano Agropecuario, 2012).

1.4.5. Plagas y enfermedades

En la **Tabla 1-2** se presentan las principales enfermedades y plagas del cultivo de la vid junto con los síntomas que se presentan en cada caso para su identificación, así como algunas prácticas para su control y manejo.

Tabla 1-2 Principales plagas y enfermedades en el cultivo de la Vid

Enfermedad/Plaga	Síntomas	Control y manejo
<p>Nombre: Mildeo veloso (enfermedad)</p> <p>Patógeno: Hongo <i>Plasmopara viticola</i></p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tiene una alta esporulación sobre las lesiones. - Tiene un ciclo de vida de corta duración que determina la velocidad de la epidemia. - La infección se realiza entre los 11 y 30°C y la incubación dura entre 8 y 12 días. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manchas cloróticas de aspecto aceitoso en las hojas que se expanden y forman en el envés un crecimiento denso y blanco. - En tallos y zarcillos se presentan deformaciones de diferente intensidad, que se cubre con Mildeo. - Son más susceptibles después de la poda en donde las yemas se engrosan por la enfermedad y tanto inflorescencias como frutos verdes son infectados - Cuando las lesiones foliares envejecen, toman color café y las hojas caen mientras que los frutos se necrosan, pero permanecen unidos al racimo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar el exceso de humedad mediante el control de malezas y el buen drenaje del lote. - Eliminar los restos vegetales infectados. - Control químico entre tres y diez aplicaciones por ciclo, dependiendo del inóculo inicial, la frecuencia de lluvias y la temperatura. - La aplicación química puede generar resistencias a los fungicidas, se deben variar los ingredientes

	- Su crecimiento es favorecido por incrementos en el contenido de humedad en el suelo, aire y follaje de la planta.	activos y los modos de acción.
--	---	--------------------------------

Tabla 1-3 (Continuación)

Enfermedad/Plaga	Síntomas	Control y manejo
<p>Nombre: Moho gris o Botrytis (enfermedad)</p> <p>Patógeno: hongo <i>Botrytis cinérea</i>.</p> <p>Características Se desarrolla cuando la temperatura se encuentra entre 15 y 25°C, la humedad relativa es de 92% o más y hay agua libre sobre los frutos o cuando éstos presentan algún daño mecánico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El momento más favorable para que se dé la infección es cuando inicia la producción de azúcares en el fruto, sin embargo, puede ocurrir desde la floración causando la necrosis del racimo. - Los frutos infectados se cubren de un crecimiento gris formado por las esporas del hongo. - La enfermedad puede afectar las hojas en donde se presentan manchas necróticas de color café-rojizo. - En los pedúnculos se presentan lesiones necróticas que pueden causar la caída de la inflorescencia. - El patógeno se disemina principalmente por el viento y las labores mecánicas dentro del cultivo. - El hongo puede penetrar directamente el fruto y con el desarrollo de la infección la epidermis se rompe, dejando expuesta la pulpa, facilitando la esporulación e infección de los frutos contiguos y el racimo. 	<ul style="list-style-type: none"> - No cultivar en zonas húmedas. - Evitar el follaje muy denso. - Evitar heridas en las plantas y controlar los daños ocasionados por insectos. - Realizar un deshoje alrededor de la zona donde se presentan los racimos cada tres semanas antes de la vendimia para reducir el riesgo de la podredumbre. - El control químico debe ser asesorado considerando la época del tratamiento, la técnica de aplicación y la selección de los productos.
<p>Nombre: Pudrición negra (enfermedad)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Afecta brotes, hojas y frutos. - En los tallos jóvenes, causa pequeñas lesiones necróticas alargadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Podar las plantas en el periodo de descanso.

32 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

Patógeno: hongo <i>Guignardia bidwellii</i>	- En hojas presenta manchas necróticas de color café rodeadas por un halo negro.	- Eliminar las estructuras muertas.
---	--	-------------------------------------

Tabla 1-4 (Continuación)

Enfermedad/Plaga	Síntomas	Control y manejo
<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pertenece a la familia Botryosphaeriaceae. - Puede sobrevivir largo tiempo en residuos de cosecha e infectar la planta dos o tres semanas después de iniciarse el periodo de lluvias. - La temperatura más favorable en que se desarrolla la enfermedad se da entre los 20 y 25°C. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los frutos se necrosan, tomando un color muy oscuro y sufren momificación. - Sobre el tejido enfermo pueden presentarse las estructuras del patógeno como pequeños puntos negros. - El periodo más crítico va desde el fin de la floración hasta el inicio de la maduración. - La principal fuente de esporas se encuentra en las estructuras que se forman en los tejidos viejos de la vid. 	<ul style="list-style-type: none"> - Enterrar el material vegetativo muerto (desechos) - El momento más crítico para la aplicación de fungicidas debe hacerse desde antes de la floración hasta al menos seis semanas después de la floración.
<p>Nombre: Pudrición blanca (enfermedad)</p> <p>Patógeno: hongo <i>Rosellinia necatrix</i></p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sobrevive en el suelo por medio de estructuras como el micelio y los rizomorfos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se establece en las raíces, el cuello de la raíz y la parte subterránea del tallo. - El hongo destruye las raíces, provoca el debilitamiento y la muerte de las plantas, que despiden un olor a moho. - Las raíces son invadidas por el micelio blanco. - La enfermedad se favorece por los suelos arcillosos, los terrenos con 	<ul style="list-style-type: none"> - Las plantas muertas y sus raíces deben ser recogidas cuidadosamente, sacadas del lote y destruidas. - Selección de terrenos libres de enfermedad. - Eliminar residuos de especies forestales del lote. - Sembrar plantas sanas. - Asegurar el adecuado drenaje del terreno.

<ul style="list-style-type: none"> - Tienen un amplio rango de hospederos. 	<p>deficiente drenaje, la proximidad a canales y los antecedentes al terreno.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los abonos orgánicos sin descomponer pueden ser fuente inóculo. - Desde que el patógeno es introducido en el cultivo, la enfermedad tarda entre uno y tres años en expresarse en las plantas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Erradicar y destruir las plantas enfermas. - Aislar el área, desinfectar el suelo y dejarlo sin siembra por al menos tres meses.
---	--	---

Tabla 1-5 (Continuación)

Enfermedad/Plaga	Síntomas	Control y manejo
<p>Nombre: Oidium (enfermedad)</p> <p>Patógeno: hongo <i>Uncinula necator</i></p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El hongo sobrevive en forma de micelio en dormancia de las yemas. - Al iniciarse el nuevo ciclo de producción, las esporas formadas son diseminadas por el viento. - El hongo se favorece por condiciones climáticas secas. - La lluvia o periodos húmedos prolongados inhiben la germinación de las esporas y por encima de los 40°C las destruye. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ataca todos los tejidos verdes de la vid y penetra sólo las células epidérmicas, pero afecta también las células vecinas. - La presencia del hongo y las esporas le dan una apariencia polvosa de color gris blanquecino a los órganos atacados. - El haz y el envés son susceptibles a cualquier edad de la hoja. - Las hojas jóvenes que son afectadas por el hongo se deforman y detienen su crecimiento. - Los peciolo y el raquis del racimo son susceptibles durante todo el ciclo de crecimiento tornándose quebradizos. - La infección de la inflorescencia termina en racimos ralos y en la pérdida o reducción de la productividad. - Los frutos son susceptibles hasta que el contenido de azúcares llega al 8%. - Si los frutos se infectan antes de terminar su crecimiento, las células 	<ul style="list-style-type: none"> - Prevención eliminando las partes afectadas que sirven como fuente de inóculo. - Protección a través de fungicidas y algunos grupos químicos de triazoles.

34 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

	epidérmicas mueren y el fruto se parte, haciéndolo susceptible a la Botrytis.	
Nombre: Roya (enfermedad) Patógeno: Hongo <i>Phakopsora uva</i> L.	<ul style="list-style-type: none"> - Los primeros síntomas aparecen en forma de pequeñas manchas esparcidas o densamente distribuidas. - Color amarillo en el envés de las hojas y ocasionalmente aparece en los peciolo, brotes jóvenes y raquis. 	- Se recomienda hacer fumigaciones preventivas si el tiempo es lluvioso y las plantas fueron atacadas con anterioridad.

Tabla 1-6 (Continuación)

Enfermedad/Plaga	Síntomas	Control y manejo
Características: <ul style="list-style-type: none"> - El hongo germina por una alta humedad en el ambiente, o por falta de riego suficiente en las raíces. 	<ul style="list-style-type: none"> - Posteriormente aparecen en el haz manchas de tejido muerto. - Las primeras lesiones aparecen sobre hojas maduras unos 60-70 días después de la poda. - Las infecciones severas causan defoliación prematura de la planta que ocasiona deficiencias en el llenado y madurez de los frutos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar el exceso de humedad en el cultivo mediante el control de malezas y el buen drenaje del lote. - Eliminar los restos vegetales infectados.
Nombre: Perla de tierra (plaga) Patógeno: insecto <i>Eurhizococcus colombianus</i> Características: <ul style="list-style-type: none"> - Tiene un hábito subterráneo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Deja sus huevos en un marsupio y después de eclosionar, las ninfas se adhieren a la raíz y a otras partes subterráneas de su hospedero por medio de su aparato bucal. - Las plantas presentan reducción de crecimiento y mueren en algunos meses. - En las raíces se ha observado la formación de agallas dentro del tejido donde se ubica el insecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dado que no se tiene mucha información del ciclo de vida, las alternativas consisten en el uso del depredador <i>Proleipsis lucifer</i>, así como el uso químico.

<p>Nombre: Salivazo o salivita (plaga)</p> <p>Patógeno: insecto</p> <p><i>Clastoptera</i></p> <p>Características:</p> <p>Producen espuma en las ninfas para protegerse.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Los insectos se ubican en los brotes jóvenes dañando los peciolos o entre las bayas tiernas de los racimos. - Las hojas y los brotes jóvenes tras el ataque del salivazo mueren. - Las hojas se tornan cloróticas y los racimos pierden valor comercial 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de agentes químicos. - Ubicación de trampas pegajosas.
--	---	---

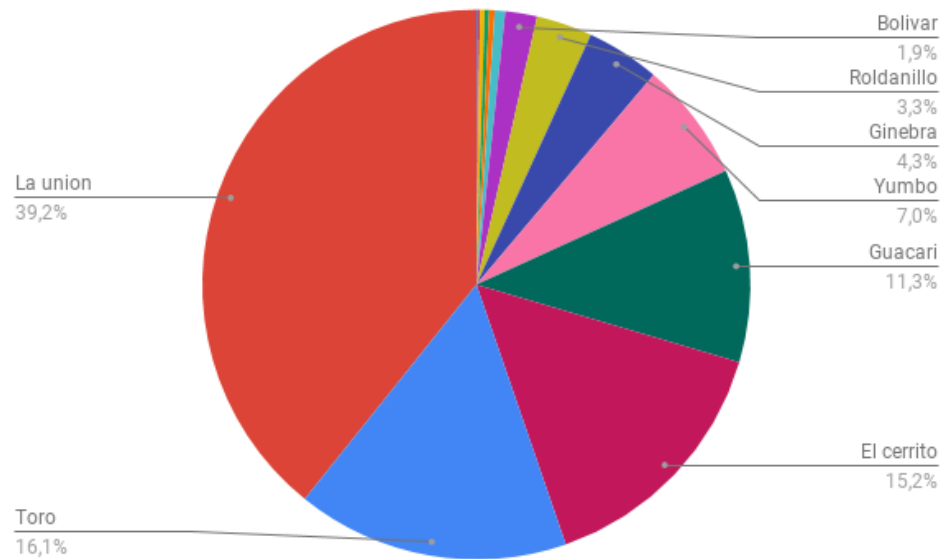
Fuente: Adaptación a partir de ICA, 2012 y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria., 1998. (Pelaez & Ruiz, 2018)

1.4.6. Producción en el Valle del Cauca

Dadas las condiciones tropicales y el manejo que se le da a los cultivos, en Colombia los viñedos producen en promedio 2,2 cosechas al año. Las principales zonas productoras de uva se encuentran ubicadas en el Valle del Cauca, Santander y Boyacá. Para el 2011, el Valle del Cauca se reportó como el productor más importante con 1.551 hectáreas cultivadas (Hernandez C., Trujillo N., & Duran S., 2011).

Por su parte, la plataforma de datos abiertos del gobierno nacional en el informe de superficie sembrada con frutales en hectáreas en el Valle del Cauca año 2017, indica que hay 1867,9 hectáreas sembradas con Vid, que se distribuyen, como se muestra en la **Figura 1-2** Distribución de la producción del cultivo de la vid en el Valle del Cauca para el 2017. En donde se observa que la Unión tiene la mayor producción con un 39,2% seguido por Toro (16,1%) El cerrito (15,2%) y Guacarí (11,3%).

Figura 1-2 Distribución de la producción del cultivo de la vid en el Valle del Cauca para el 2017



Fuente: Adaptación a partir de (Secretaría de ambiente, agricultura y pesca, 2018).

Teniendo en cuenta que, en el norte del Valle, en los municipios de la Unión, Toro y Roldanillo predominan las variedades Red Globe, Italia y Ribier, mientras que en los municipios de Ginebra, Guacarí y el Cerrito predomina la variedad Isabella (Instituto Colombiano Agropecuario, 2012), se puede decir que para el 2017, había aproximadamente 576 hectáreas de uva Isabella sembradas. Teniendo en cuenta que el rendimiento promedio es de 8 toneladas por hectárea (Cano Benitez, 2018), y que se producen 2,2 cosechas al año, se podría decir que, durante este año, hubo una producción aproximada de 10,137 toneladas de uva Isabella.

1.5. Cámaras estáticas para la medición de gases de efecto invernadero en suelos.

La emisión de gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 y NO_2) es un fenómeno muy estudiado en los últimos años, en el cual influyen varios factores, por lo tanto, su estudio y análisis plantea serios desafíos para el diseño experimental, y los métodos de muestreo de gas necesarios para proporcionar una estimación confiable del flujo (Arias N., y otros, 2013).

Debido a las facilidades que proporciona a nivel técnico, operativo y bajos costos, los métodos de muestreo basados en cámaras son los más usados para la medición de GEI en ecosistemas terrestres y la atmósfera (Denmead, 2008).

En estudios atmosféricos de calidad del aire son varios los tipos de muestreadores usados, entre ellos se tienen los pasivos, activos, automáticos, basados en técnicas espectroscópicas o bioindicadores, difieren en su principio de funcionamiento. Las muestras tomadas deben ser enviadas al laboratorio para su respectivo análisis, al igual que los métodos de muestreo, los análisis realizados son diferentes. (**Tabla 1-7**) (Ibarlucía, S. f.).

Tabla 1-7 Análisis de laboratorio para gases efecto invernadero.

Método	Descripción
Volumétrico	La cantidad del contaminante detectado se deduce del volumen de la solución que se ha consumido en una reacción.
Gravimétricos	La determinación se lleva a cabo por una diferencia de pesos, donde se determina la masa pesando el filtro, a temperatura y humedad relativa controladas, antes y después del muestreo.
Cromatografía	El equipo utilizado es el cromatógrafo. Hay varios tipos: gaseosa, líquida y sólida dependiendo del estado de la fase estacionaria y la fase móvil. Tiene el sistema de inyección (donde se inyecta la muestra), la columna cromatográfica (donde se encuentran la fase móvil y la estacionaria), un sistema de detección y uno de registro.
Espectrofotometría	Es la medida de la cantidad de energía radiante absorbida por las moléculas a longitudes de onda específicas. Cada compuesto tiene un patrón de absorción diferente, que da origen a un espectro de identificación.

Fuente: (Ibarlucía, S. f.).

En suelos el método para toma de muestras más común consiste en cámaras cerradas, las cuales pueden ser dinámicas o estáticas, su principio de funcionamiento se basa en cubrir un área de suelo con un recipiente denominado como cámara, totalmente hermético que permita el intercambio de gas entre el suelo y la atmósfera dentro del recipiente. La tasa de cambio de la concentración dentro de la cámara a través del tiempo se cuantifica para calcular una tasa de flujo de gas, esto debido a la ley de Fick, la cual explica que el flujo de

gas es dependiente del gradiente de concentración y la difusividad del suelo (Rochette, 2005).

La diferencia entre una cámara dinámica y una estática consiste en que la primera incorpora un analizador de gases y un sistema automatizado; el segundo no, siendo más económica y fácil de manejar. Las cámaras estáticas cerradas, son el método más usado para estimar GEI, especialmente CH₄ y NO₂ en sistemas agrícolas, aproximadamente el 95% de los estudios realizados utilizan la cámara estática cerrada (Pihlatie, y otros, 2012).

En cuanto al protocolo de la toma de muestra se realiza a través de un septum por medio de una jeringa con la cual se extrae el gas de la parte superior de la cámara, en intervalos de tiempo, estos también suelen variar, en la literatura se encuentran intervalos de 5, 7, 10 o 15 minutos, tomando alrededor de 4 a 5 muestras. Un aspecto importante para tener en cuenta es el tipo de muestreo, se conocen dos, el convencional y el denominado como “gas pooling”, se diferencian en que la segunda es una muestra compuesta, que se toma del mismo modo que la muestra convencional, pero es representativa de una parcela, formada a partir de pequeñas submuestras del sitio. (Arias N., y otros, 2013).

Las muestras son enviadas a un laboratorio de cromatografía de gases a fin de determinar la concentración en ppm de los elementos del gas extraído, con ese dato, se procede a calcular el flujo de N₂O con la ecuación 1.

$$E = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{VM}{AVm}$$

Donde:

E = Flujo de gas por unidad de área y tiempo

dx / dy = Rango de acumulación del gas en el aire dentro del cámara expresado en partes por millón por minuto (ppm/min).

V= Volumen del gas expresado en Litros

A= Área de la cámara en m²

M= Masa de N por cada Mol N₂O.

Vm= Volumen molecular del gas.

El valor de V_m se calcula de la ecuación 2 de gases ideales.

$$V_m = \frac{nRT}{P}$$

Donde:

V_m = Volumen molecular de un gas

n = Moles, (en este caso necesitamos calcular el volumen de una (1) mol del gas).

R = constante de la ley de los gases ideales (0.0820574587 L atm K⁻¹ mol⁻¹).

T = Temperatura dentro de la cámara.

Para la selección del tipo de cámara, así como el método de muestreo deben tenerse en cuenta las condiciones de la zona debido a factores como la temperatura y la humedad del suelo, ya que influyen directamente sobre las tasas de emisión de N₂O, adicional a lo anterior, aspectos como el presupuesto, la facilidad de manejo y los objetivos, también influyen en la decisión, la cual siempre dependerá del criterio del investigador. Algunos con el fin de reducir errores en el muestreo realizan modificaciones de las cámaras estáticas cerradas, por ejemplo, Peng y otros, (2011) usaron cámaras en acrílico con revestido con material reflectante para reducir el efecto de la temperatura. Otro ejemplo, Arenas, (2015) propuso un nuevo diseño de cámara bajo dos criterios “recomendado” y “no recomendado” de acuerdo con lo manifestado por otros autores.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, es importante tener en cuenta varios factores en la selección del tipo de cámara y protocolo de muestreo, sin embargo, se debe procurar mantener el principio de la técnica y tratar de reducir los errores asociados a la misma (Arenas C., 2015).

2. Materiales y métodos

2.1 Localización, descripción del sistema productivo evaluado

La investigación se desarrolló en la hacienda Brasilia, ubicada en el corregimiento de Santa Helena, Municipio de El Cerrito, con coordenadas 3°37'32.3" N 76°15'01.6" W, a una altitud de 1055 msnm (**Figura 2-1** Ubicación lote Hacienda Brasilia en el Valle del Cauca. y **Figura 2-2** Ubicación hacienda Brasilia el Municipio de El Cerrito.), temperatura media 25°C y un promedio de lluvias de 1300 mm media anual. Se caracteriza como un ecosistema bosque cálido seco en piedemonte coluvio-aluvial.

La hacienda Brasilia cuenta con cultivos comerciales de caña de azúcar, uva Isabella, ají y Jalapeño en un área de 70 hectáreas, donde el cultivo de la vid ocupa un área de 4 hectáreas, subdivida en 8 lotes, de aproximadamente 4500-5000m² cada uno.

Figura 2-1 Ubicación lote Hacienda Brasilia en el Valle del Cauca.

UBICACIÓN HACIENDA BRASILIA

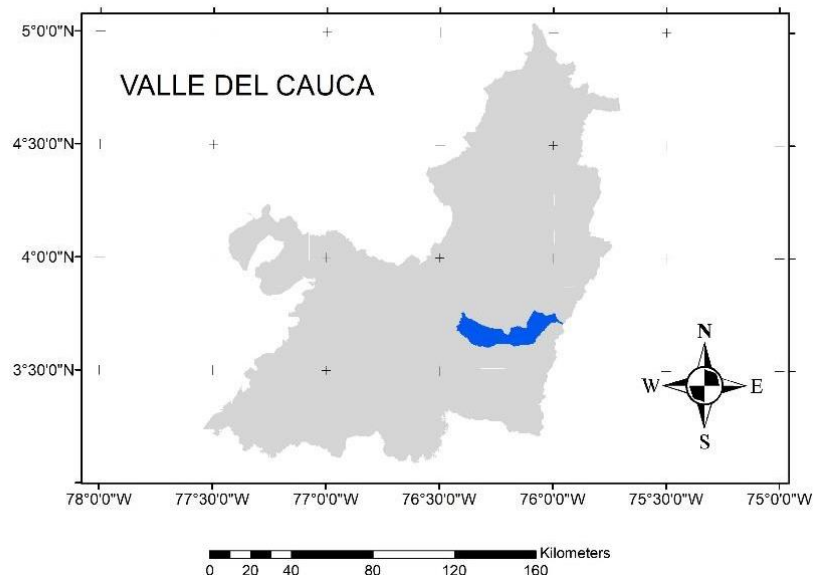
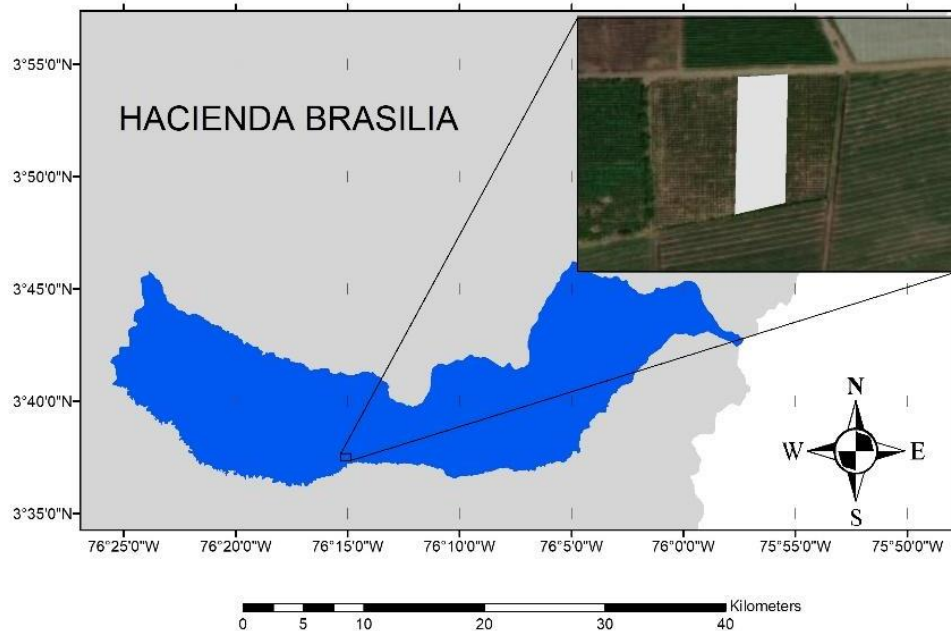


Figura 2-2 Ubicación hacienda Brasilia el Municipio de El Cerrito.

El ciclo productivo de la uva Isabella es de 5 meses (150 días), inicia con una primera aplicación de vinaza, inductor de raíces, nitrógeno y potasio, y se deja en periodo de descanso de un mes. Posterior se realiza una segunda fertilización al voleo 15 días antes de la poda y una segunda 15 días después de la poda, al momento de la poda se aplica un fitorregulador de crecimiento con el fin de romper la dormancia y estimular la brotación de las yemas y la floración. Se realizan tres fertilizaciones adicionales en drench y foliares.

El control fitosanitario se realiza totalmente preventivo con fungicidas, con un total de diez aplicaciones durante el ciclo productivo, a fin de evitar problemas de mildew veloso, mildew polvoso y chamusquina. En la **Tabla 2-1** se presenta el resumen del manejo cultural del cultivo de la uva Isabella donde en la hacienda donde se desarrolló la investigación.

Tabla 2-1 Manejo cultural del cultivo de uva Isabella en la hacienda La Brasilia

Día del ciclo	Actividad	Objetivo
-30	Fertilización inicio ciclo productivo	Materia orgánica
		Inducir el crecimiento de raíces

42 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmosfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

		Engrosamiento
		Aporte de nitrógeno y fosforo.
		Aporte de múltiples nutrientes N, P, K, Ca, S, entre otros.
-15	Fertilización antes de poda	Fuente de nitrógeno amoniacal.
		Fuente de nitrógeno total y amoniacal y fósforo asimilable.
		Fuente potásica
		Fuente potásica y elementos menores
0	Poda y aplicación de Dormex.	Romper la dormancia y estimular la brotación
15	Urea / 150 Kg lote	Fuente de nitrógeno amoniacal.
	DAP / 100 Kg lote	Fuente de nitrógeno total y amoniacal y fósforo asimilable.
	KCL / 150 Kg lote	Fuente potásica
	Fertich / 50 Kg lote	Fuente potásica y elementos menores
21, 24, 28	Control fitosanitario	Fungicidas
30	Fertilización por Drench	Fuente de nitrógeno, fósforo y potasio
		Elementos menores y estimulantes.
36 y 39	Control fitosanitario	Fungicidas
42	Fertilización por Drench	Fuente de nitrógeno, fosforo y potasio
		Elementos menores y estimulantes.
42 y 45	Control fitosanitario	Fungicidas
65	Fertilización por Drench	Fuente de nitrógeno, fosforo y potasio
		Elementos menores y estimulantes.
67, 73 y 88	Control fitosanitario	Fungicidas
90	Fertilización Foliar	Elementos menores y estimulantes.
120	Cosecha	

2.2 Diseño experimental

Para lograr los objetivos trazados en la investigación, se planteó un diseño de bloques, con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento (3x3). Los bloques consistieron en tres sublotos de 1270 m², los cuales cuentan con una densidad de siembra de 2 x 2.5m, para un total de 2000 plantas por hectárea y 256 plantas por sublote.

Los tratamientos consistieron en tres aplicaciones diferenciadas de fertilizantes nitrogenados que se realizaron en cada sublote, la diferenciación se tomó con base a trabajos realizados por (Puerto, Mejia de Tafur, Menjivar, & Puentes, 2014) y (Galindo, Toro, & Garcia, 2006); variando un 50% por encima y por debajo de la aplicación normal del cultivo. En este caso el viticultor realiza fertilización nitrogenada con base en el manual técnico de fertilización de cultivos Microfertiza 2012, el cual indica que el cultivo de Uva Isabella requiere 120kg N/ha, tomando la variación se tiene tratamiento 1 (T1): 60 Kg N/ ha, tratamiento 2 (T2): 120 Kg N/ ha y tratamiento 3 (T3): 180 Kg/ ha, como el viticultor tiene como fuente nitrogenada la urea, y esta tiene un porcentaje de N del 46% en la **Tabla 2-2** se presentan los valores de Kg Urea aplicados.

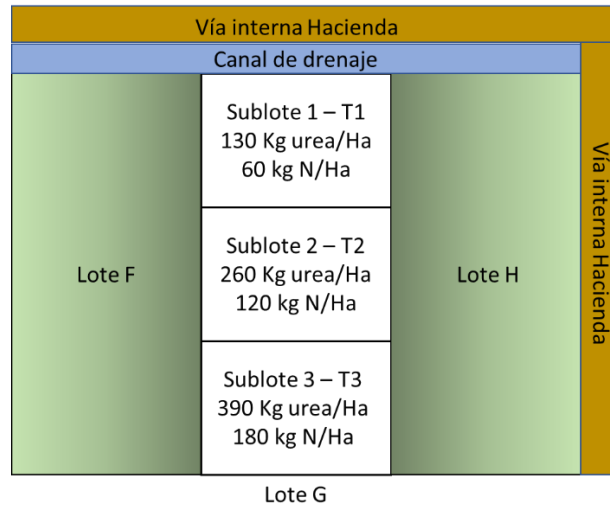
Tabla 2-2 Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Fertilizante aplicado por sublote	
	Kg Urea/ha	Kg N/ha
T1	130	60
T2	260	120
T3	390	180

Fuente: Creación propia.

Posteriormente se tomaron los datos de emisiones de óxido nitroso N₂O, incidencia de mildew veloso y generación de biomasa (hojas y flores), como se explica en el ítem 2.6 respectivamente.

Figura 2-3 Esquema sublotes y tratamientos.



2.3. Caracterización de suelos

Se tomo una muestra de suelo del lote bajo método convencional, tomando 10 submuestras de suelo en lugares al azar con ayuda de un Palín y dentro de los 20 cm del suelo, depositándolas en un balde donde posteriormente se tomó una muestra compuesta de 1 kg, que fue colocada en una bolsa plástica sellable, y fue enviada para análisis químico al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

El resto de la muestra compuesta fue llevada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, donde se determinó textura mediante el método de Bouyoucos.

2.4 Muestreo de óxido nitroso N₂O

La toma de muestras de gas se realizó por medio de cámara estática cerrada, debido a su bajo costo y facilidad de trabajo en campo. La cámara estática cerrada, consta de una base de inserción en el suelo (tubo de PVC de 6") (**Ilustración 2-1** Inserción en el suelo de base de cámara estática cerrada.), sobre la cual se coloca la cámara y sella con un neumático; la cámara cuenta con dos septum, uno para la extracción de gas y el otro para la medición de la temperatura, la cual se realizó con la instalación de una termocupla para medición con

multímetro (**Ilustración 2-2** Prueba de medición de temperatura en cámara estática cerrada con termocupla y multímetro.).

Ilustración 2-1 Inserción en el suelo de base de cámara estática cerrada.

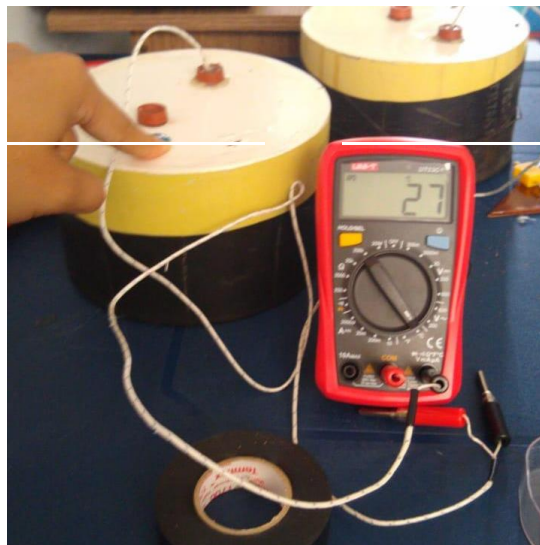


Ilustración 2-2 Prueba de medición de temperatura en cámara estática cerrada con termocupla y multímetro.

Se instalaron aleatoriamente nueve cámaras, tres cámaras por cada subparcela (repeticiones), las bases se enterraron 5 cm 48 horas antes de iniciar los muestreos, esto con la finalidad de dar tiempo al suelo de recuperarse de la perturbación realizada. Los muestreos se realizaron tres días, el primero antes del tratamiento, el segundo un día

después y el último al tercer día, con el fin de determinar el comportamiento de la emisión al momento de la aplicación de los tratamientos, que corresponden a las aplicaciones más altas de nitrógeno en el ciclo productivo.

El muestreo se realizó entre las 8:00 am y las 11:00am, tiempo en el cual se evidencia una temperatura promedio diaria. Las muestras de gas fueron tomadas bajo método convencional, con una jeringa homogenizando el gas dentro de la cámara antes de tomar 10ml por cada cámara a los tiempos 0, 15, 30 y 45, tiempos comúnmente usados en este tipo de investigaciones, el gas fue introducido en viales al vacío y enviados al laboratorio para ser analizadas las concentraciones de óxido nitroso N_2O por cromatografía de gases; también se tomó la temperatura dentro de la cámara en cada toma de gas.



Ilustración 2-3 Muestreo de gases en cámara estática en campo.

2.4.1. Humedad y nitrógeno total

Los días de muestreo de gases se tomaron muestras de suelo cerca de cada cámara para determinación de humedad y nitrógeno total. La humedad fue determinada mediante método gravimétrico y el nitrógeno total fue determinado en laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

2.4.2. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los flujos de emisión de N₂O se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa JMP sas, el cual determina la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores con el fin de detectar diferencias entre las dosis aplicadas y las emisiones generadas y se construyeron gráficas para mostrar el comportamiento del flujo de emisiones de N₂O, con sus respectivos ajustes.

2.5. Desarrollo de biomasa

Con el fin de determinar los efectos en términos de generación de biomasa producto de las aplicaciones diferenciadas de nitrógeno se tomaron datos de crecimiento de nueve plantas, tres por subote, en términos de número de hojas e inflorescencias en periodos semanales por dos meses después de la aplicación de los tratamientos, hasta que se realizó la actividad de desoje y raleo de racimos. Con los resultados obtenidos se realizaron correlaciones con respecto a la dosis del nitrógeno para identificar la influencia que esta tiene en los valores respuesta, para posteriormente ser graficados y analizados.

2.6. Incidencia de Mildew velloso (*Plasmopara viticola*).

Para cuantificar la incidencia se seleccionaron nueve plantas, tres por subote con el fin de cuantificar la enfermedad de Mildew velloso en el agroecosistema, cumpliendo por lo señalado por señalado por Kranz (1988) de que al medir la intensidad de la enfermedad se cumpliera con el papel fundamental de hacer un buen diagnóstico del complejo-nitrógeno-*plasmopara*. La incidencia se tomó con base en la metodología sugerida por Peláez & Garnica, 2018 con base en criterios fitopatométricos, para reconocer el progreso de la enfermedad y estimación de daños provocada por la sinergia entre los factores ambiente, planta y patógeno, en relación con las futuras perdidas de cosecha. Con los resultados obtenidos se realizaron correlaciones con respecto a la dosis del nitrógeno para identificar la influencia que esta tiene en los valores respuesta, para posteriormente ser graficados y analizados.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización del suelo

3.1.1. Características físicas

El análisis de suelos determinó un suelo clase ArA arcillo arenoso con un porcentaje de Arenas del 48%, Limos 16% y Arcillas 36%, lo que indica un suelo pesado, caracterizado por baja infiltración y por ende alta retención de agua. Estas condiciones físicas del suelo no son las recomendables para el cultivo, aunque la vid se puede desarrollar en varios tipos de suelo, prefiere suelos livianos, bien drenados y permeables, de textura media, profundos y buena capacidad de retención de agua (Castro, Toro, & Escobar, 1986) (Almanza Merchán, 2011).

3.1.2. Características químicas

Las características químicas del suelo del lote en estudio, antes de iniciar el ciclo productivo se presentan en la **Tabla 3-1**.

Tabla 3-1 Características químicas del suelo en el lote de uva Isabella en la hacienda la Brasilia, Cerrito.

Parámetro	Valor / Unidad	Nivel
pH	5.6	Moderadamente ácido
Materia orgánica	3,5%	Media
Ca	16,0 cmolc kg ⁻¹	Alto
Mg	5,1 cmolc kg ⁻¹	Alto
K	0,94 cmolc kg ⁻¹	0.94
CICE	22	Alto
P	80 mg kg ⁻¹	Alto
S	5 mg kg ⁻¹	

Fe	127 mg kg ⁻¹	Alto
Mn	23 mg kg ⁻¹	Alto
Cu	9 mg kg ⁻¹	Alto
Zn	7 mg kg ⁻¹	Alto
B	1,1 mg kg ⁻¹	Alto
N-NO ₃	25 mg kg ⁻¹	Alto
N-NH ₄	10 mg kg ⁻¹	Alto

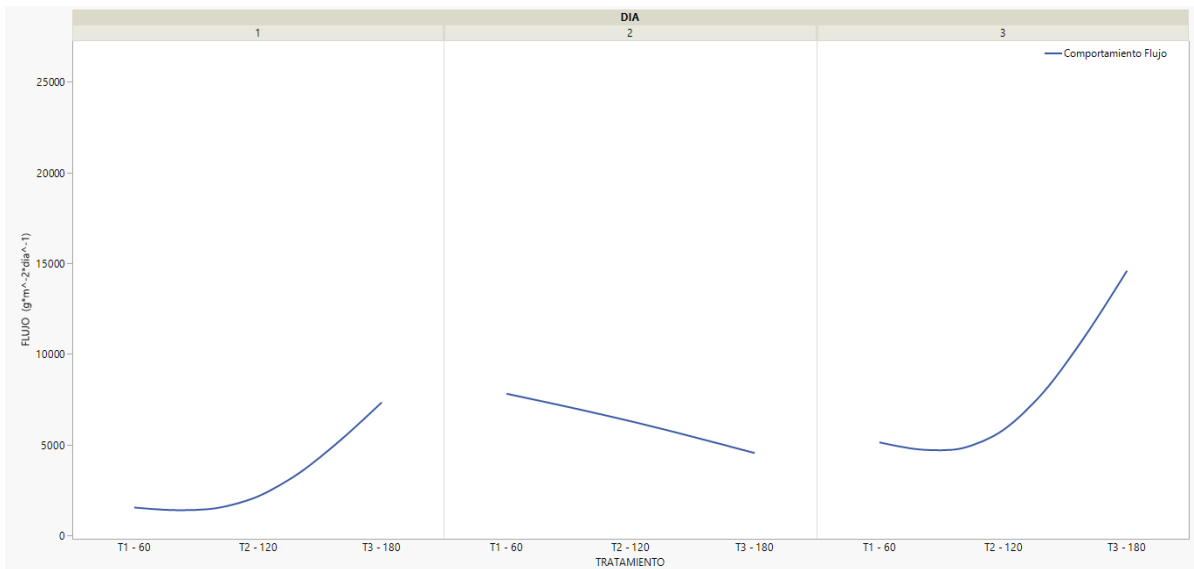
El pH recomendado para el cultivo de la vid se está entre 5,5 y 6,5 por tanto el suelo se encuentra dentro del rango, en cuanto a la materia orgánica (Castro, Toro, & Escobar, 1986) y (Almanza Merchán, 2011), estipulan que la vid debe tener suficiente materia orgánica pero no establecen una medida, para el análisis de suelo el valor obtenido fue de 3,5% que corresponde a un nivel de referencia medio. Los demás micronutrientes y macronutrientes se encuentran en niveles altos en el suelo. Las necesidades nutricionales de la vid dependen del estado fenológico, la mayor cantidad de nitrógeno se requiere en el estado juvenil. Los nutrientes que se encuentran en un nivel alto pueden causar toxicidad en el cultivo sobre todo el hierro, magnesio y azufre, por ser un suelo arcillo arenoso con mal drenaje. Se presume que los altos contenidos de cobre Cu, es debido a la aplicación de fungicidas a base de cobre (Brunetto, y otros, 2019).

3.2. Flujo de emisión de Óxido nitroso N₂O

En la **Figura 3-1** se presentan los flujos de Óxido Nitroso (N₂O) para cada uno de los días donde se tomaron datos. En primera instancia se puede observar que antes de realizar la aplicación de los tratamientos (día 1), las subparcelas ya presentaban una diferencia en el flujo de emisiones de Óxido Nitroso (N₂O), donde en orden de menor a mayor flujo de emisión, se encuentra el sublote 1 (T1 – 60 kg/ha), seguido del sublote 2 (T2 – 120 kg/ha) y por último el sublote 3 (T3 – 180 kg/ha). Se puede observar que los sublotes 1 y 2 la diferencia no es muy marcada en comparación con el tercero donde el flujo de emisión es más alto.

50 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

Figura 3-1 Flujos de Óxido Nitroso por día



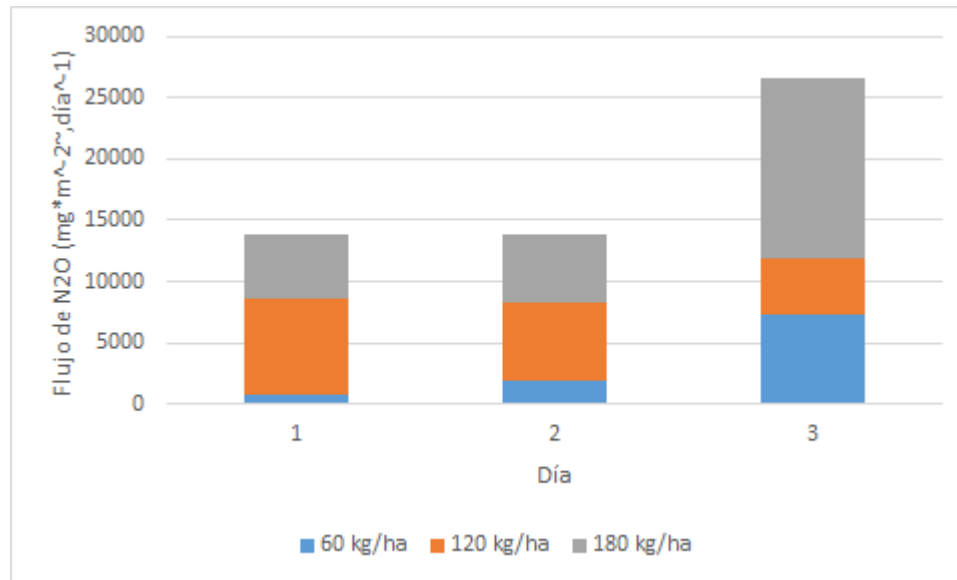
Después de la aplicación de los tratamientos (día 2), se presenta un aumento considerable en los flujos de emisión en el subplote con la menor aplicación de fertilizante nitrogenado (60 kg/ha), seguido del subplote dos (120 kg/ha), coincidiendo con los resultados de (Louro, 2010) en donde en un cultivo de maíz (*Zea maíz*), en Galicia España, los picos de emisiones de N_2O se vieron reflejados justamente después de la aplicación de fertilizantes. Por otro lado, el subplote tres (180 kg/ha), presenta las emisiones más bajas, con respecto a los otros dos subplots. Esta disminución en el flujo de emisiones se encuentra asociado con la tasa de desnitrificación y es debido precisamente a la disponibilidad de sustrato – nitrógeno amoniacal, el cual una vez es convertido a nitratos, es reducido a óxido nitroso N_2O ; de manera que existe una relación directa entre la tasa de aplicación de nitrógeno y la desnitrificación, asociada a altas aplicaciones de N (Wang, Chadwick, Cheng, & Yan, 2018).

Para el tercer día, se observa una mínima reducción del flujo de emisión para T1 – 60 kg/ha, del mismo modo que T2 – 120 kg/ha y un considerable aumento para T3 – 180 kg/ha; cabe mencionar que entre el día 2 y 3, hubo un episodio de lluvia, que pudo influir en el aumento del flujo de emisión de N_2O , la humedad pudo incidir en la poca difusión de O_2 por alto contenido de humedad, en estas condiciones las bacterias nitrificantes son más propensas

a usar el nitrito como aceptor de electrones reduciéndolo a NO y N₂O, generando más emisiones. Smith & Dobbie, 2001 aconsejan que los muestreos se realicen después de cualquier evento que aumente los niveles de N en el suelo o que puedan crear una limitación de oxígeno en el espacio poroso; para el caso de la presente investigación se dieron las dos situaciones.

En la **Figura 3-2** se presentan los flujos de emisión acumulado de Óxido nitroso (N₂O) para cada uno de los días de muestreo y los tratamientos aplicados en cada uno de los sublotos. Se observa como el tratamiento 1 y 2 con aplicaciones de 60 y 120 kilogramos por hectárea respectivamente, tuvieron unas emisiones totales muy similares, mientras que las emisiones totales del tratamiento 3 doblan las emisiones de los otros tratamientos. Este comportamiento podría indicar a primera vista una relación directamente proporcional entre altas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y altos flujos de emisión de óxido nitroso N₂O. Ahora bien, es importante analizar el comportamiento presentado en 1 y 2, pues el primero, aunque tiene una fertilización por debajo de la dosis normal tiene unas emisiones totales casi iguales a las del segundo tratamiento que tiene la fertilización regular, esto puede encontrarse asociado a que a partir de un nivel de nitrógeno aplicado las emisiones aumentan. Lo anterior concuerda con lo que encontrado por Malhi, Lemke, Wang, & Chhabra (2006), donde se observó que sólo cuando los niveles de N fertilizado excedían los 80 kg N ha⁻¹ las emisiones de N₂O aumentaban, para las condiciones específicas del agroecosistema en estudio podría estar alrededor de los 120 kg N ha⁻¹.

Figura 3-2 Emisiones acumuladas de N₂O por día y tratamiento.



Peng, Qi, Dong, Xiao, & He (2011), indican de acuerdo con los resultados de su investigación que los diferentes niveles y formas de adición de N al suelo tienen fuertes efectos en las emisiones de N₂O del suelo. Lo anterior es un aspecto que podría concluirse a simple vista, sin embargo existe una precisión acerca de los suelos y es que son universalmente heterogéneos, por tanto al hablar del comportamiento del nitrógeno en el suelo y de su proceso de desnitrificación, este dependerá de las condiciones específicas del agroecosistema en estudio, y aun así se presentaran variaciones, un ejemplo de ello es el resultado de mediciones de óxido nitroso en caña de azúcar obtenidos en diferentes haciendas producto de aplicaciones diferenciadas de vinaza, donde el óxido nitroso mostró diferentes comportamientos entre haciendas (Universidad del Valle; Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018).

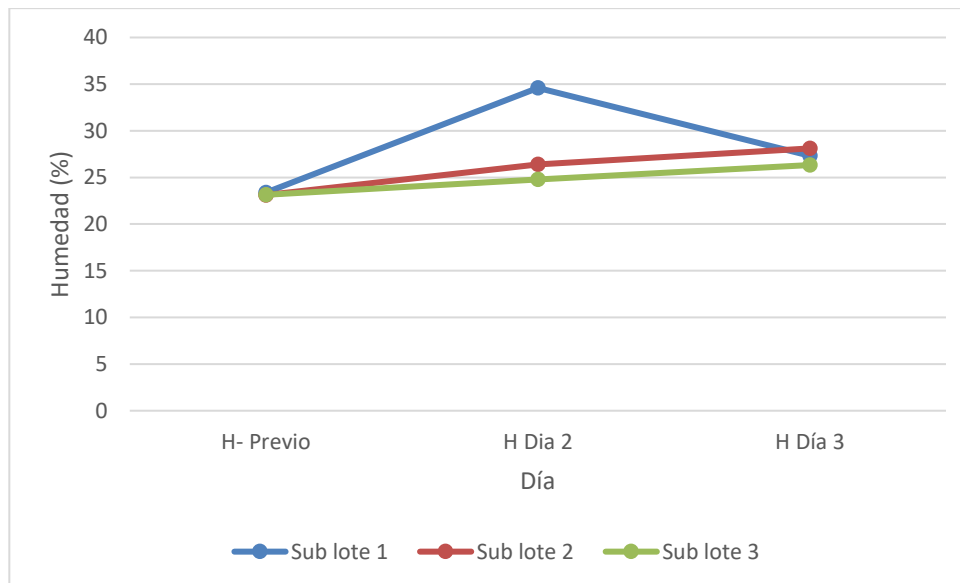
3.2.1. Humedad

La humedad es un factor determinante en las emisiones de óxido nitroso N₂O. Estos se deben a que los flujos de emisiones se encuentran directamente relacionados con el proceso de desnitrificación, y por tanto se ven fuertemente influenciadas por el espacio

poroso saturado de agua, ya que en la medida que este aumenta, disminuye el contenido de oxígeno, estimulando el proceso de desnitrificación sobre el de nitrificación (Toboada, Cosentino, & Constantini, 2018). En ese sentido, diferentes autores reportan mayores emisiones con condiciones de alta humedad del suelo y bajas emisiones asociadas con condiciones de suelo seco.

En la **Figura 3-3** se presenta una comparación de la humedad del suelo entre los sublotes evaluados cada día de muestreo. Se observa como en los sublotes 2 y 3 la humedad es muy similar, mientras que el sublote 1 tiene un pico de humedad el segundo día, que puede encontrarse asociado con un episodio de lluvia que se presentó el día anterior y consecuente aumento del nivel del agua del canal de riego que colinda con este sublote, generando una saturación en el suelo por infiltración.

Figura 3-3 Humedad del suelo



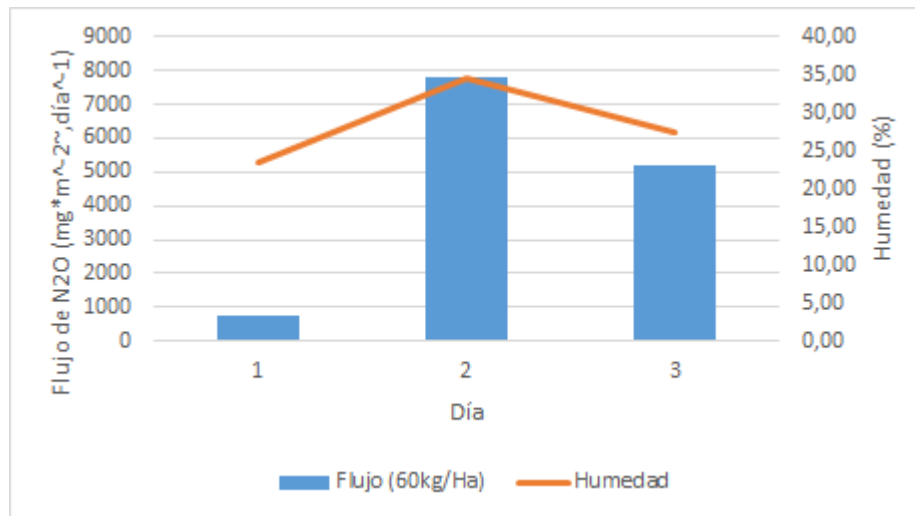
Las

Figura 3-4, **Figura 3-5** y **Figura 3-6**, muestran la información correspondiente a los flujos en cada uno de los sublotes por día, comparado con la humedad del suelo presente en cada día. Los resultados del T1 - 60 kg/ha revelan una relación directa entre la humedad y el flujo de óxido nitroso (N_2O). El primer día, previo a la aplicación del tratamiento, la

54 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

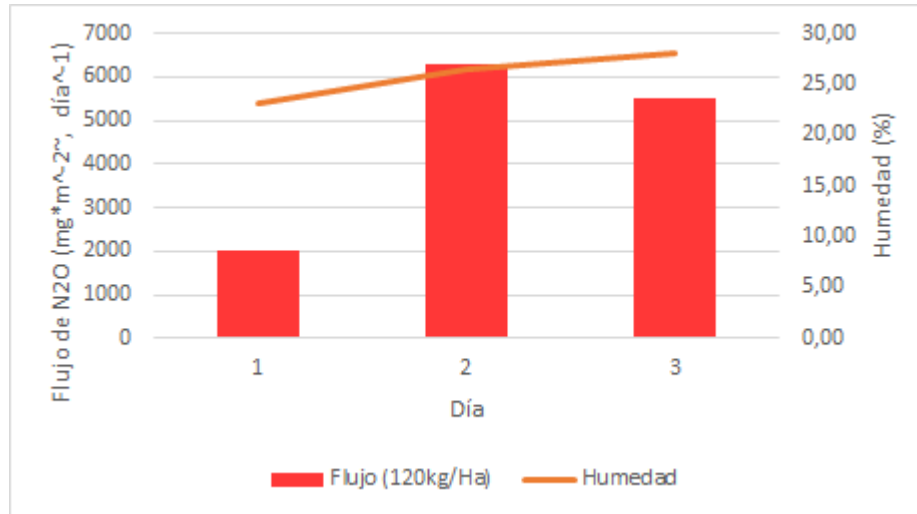
humedad es inferior al 25% y coincide con el menor flujo de emisiones. El segundo coincide con el pico de humedad (35%) y el incremento en los flujos de emisiones.

Figura 3-4 Humedad Vs Flujo de gases sublote 1.



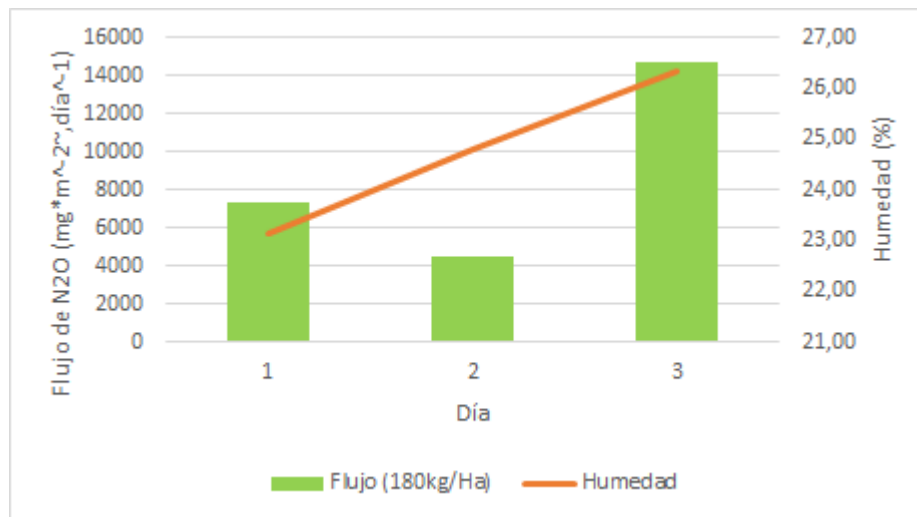
En el T2 - 120 kg/ha, la humedad se encontró entre un 23% y un 28%, que se presentó el tercer día. A diferencia del T1 - 60, el pico de humedad no coincidió con el del flujo de las emisiones de óxido nitroso, pero sí con el incremento de 23% a 26%. De manera que ese incremento en la humedad puede haber influido en la disponibilidad de oxígeno, que estimula la desnitrificación y el aumento de las emisiones, sumado a la actividad microbiana tras la aplicación de un fertilizante (Toboada, Cosentino, & Constantini, 2018).

Figura 3-5 Humedad Vs Flujo de gases sublote 2.



En el T3 - 180 kg/ha el pico de humedad coincide con el del flujo de emisiones de óxido nitroso, con una humedad de 26%, como en el T2 - 120 kg/ha, aunque este pico a diferencia de en los T1 y T2, se presenta el tercer día y no el segundo. Este comportamiento puede estar asociado con las condiciones iniciales de emisiones de óxido nitroso que presentaba el T3.

Figura 3-6 Humedad Vs Flujo de gases sublote 3.



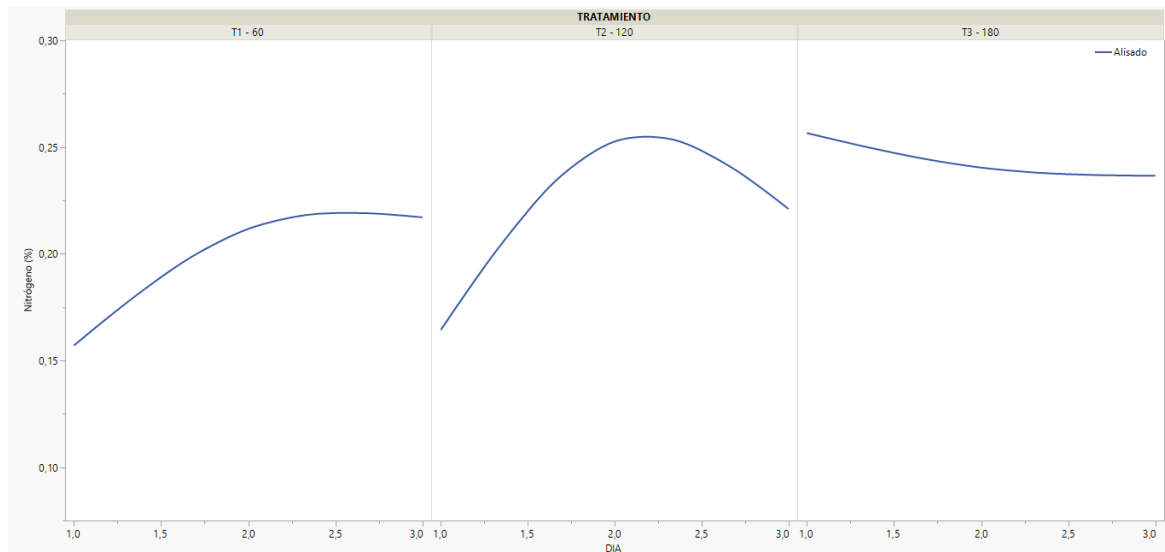
Los resultados obtenidos concuerdan con lo planteado por Arenas C. (2015), quien indica que la cantidad de óxido nitroso que se produce en el suelo dependerá de las cantidades

de nitrato y la humedad del suelo, esto debido a que en ausencia de oxígeno el nitrato es un buen sustrato alternativo para los procesos de respiración, entonces el movimiento de agua en el suelo crea zonas con diferentes tasas de degradación y con diferentes condiciones de oxígeno, variando así espacialmente la producción de óxido nitroso (N_2O) en el suelo, el cual, entonces es favorecido por condiciones anaerobias en el suelo.

3.2.2. Nitrógeno total

En cuanto al porcentaje de nitrógeno total en el suelo, la **Figura 3-7** presenta los resultados obtenidos. Se puede observar cómo en los T1 - 60 kg/ha y T2 - 120 kg/ha antes de la aplicación de los tratamientos el nitrógeno se encontraba alrededor de un 16% en contraste con el T3 - 180 kg/ha, que contaba con un 26%. Una vez aplicados los tratamientos hubo un incremento del nitrógeno para T1 y T2, y una pequeña reducción para el sub lote 3. En general al tercer día empieza a comportarse de una manera estable de manera decreciente.

Figura 3-7 Nitrógeno total en el suelo



El nivel de nitrógeno en el suelo más alto fue de 26%, a partir de este valor se presenta una disminución. Lo anterior puede indicar que una vez alcanzado un nivel de nitrógeno en el suelo va a tender a escaparse a la atmósfera en forma de Óxido Nitroso o infiltrarse a capas

subsuperficiales del suelo; en cualquiera de los dos casos, se presenta un impacto ambiental, por el aumento de las concentraciones de este elemento en el ecosistema.

La permanencia del nitrógeno en el suelo está condicionada por la capacidad de este de retenerlo en los sitios de intercambio iónico de la fase sólida del suelo, entre otros factores como el pH el cual en condiciones ácidas tenderá a adsorber aniones con mayor facilidad (Valencia, 2008) (Bohn, Mc Neal, & O'Connor, 1979).

Ahora bien, los porcentajes de nitrógeno evaluados corresponde a nitrógeno total, por tanto, no discrimina entre nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos o nitratos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el análisis de suelo inicial mostró unos niveles medios de materia orgánica, y buenos niveles de nitritos y nitratos lo que puede implicar que la mayor parte del nitrógeno encontrado corresponda a estos elementos, además de que el suelo estudiado tiene un pH moderadamente ácido, lo cual muestra una tendencia a la adsorción de aniones. Lo anterior da indicios que los sitios de intercambio aniónico posiblemente estarían ya ocupados, y con las condiciones de pH y aumento de las concentraciones de nitritos en la solución del suelo, donde precisamente estos tienen la menor preferencia de adsorción entre los aniones del suelo. Por consiguiente, una vez aplicados los tratamientos y surtida la nitrificación las concentraciones de nitratos en el suelo pudieron verse aumentadas y al no poder ser retenidos, parte de estos se infiltrarían y otra se irían por el proceso de desnitrificación donde uno de los productos de la reacción en el óxido nitroso.

3.2.3. Análisis estadístico

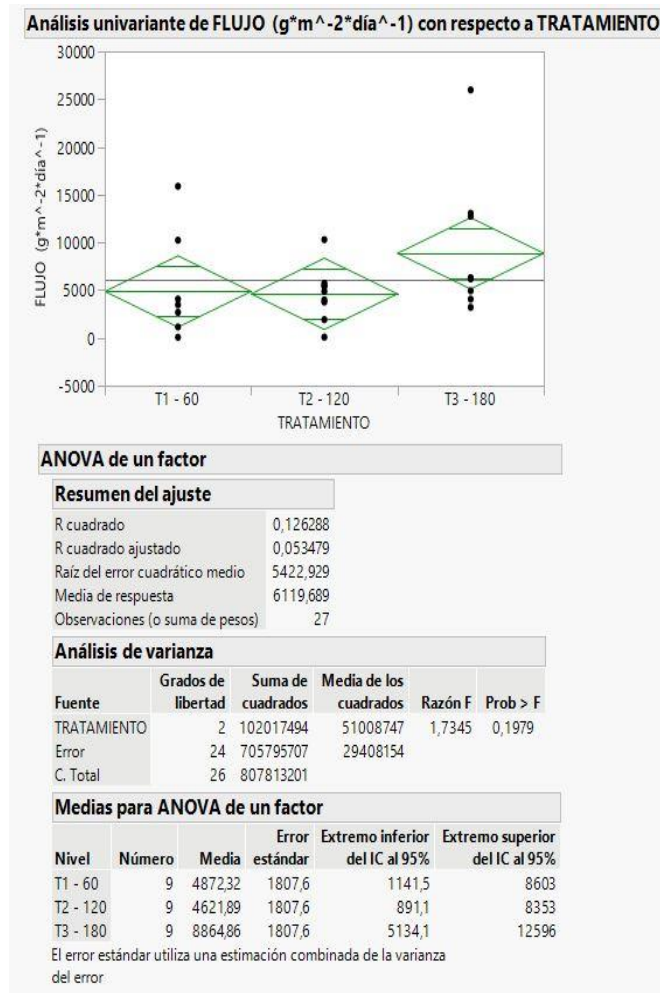
Una vez examinado el comportamiento de los flujos de emisión y los factores relacionados como la humedad y los porcentajes de nitrógeno en el suelo, se procedió a realizar un análisis de varianza sencillo mediante el programa JMP sas, con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre los flujos de emisión producto de los tratamientos aplicados.

El análisis de varianza arrojó que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos aplicados en relación con el flujo de emisión, contraviniendo estadísticamente las relaciones observadas. Sin embargo, llama la atención lo observado en relación con los contenidos de nitrógeno en el suelo, los cuales indican que sea una alta o baja dosis de fertilizante, esta

58 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

no aumentará la disponibilidad de este elemento en el suelo, lo que lleva a considerar los costos de producción, los cuales son mayores cuanto más se aplique fertilizante, aspecto que no se verá reflejado en una mayor producción. Lo anterior se abordará en el siguiente ítem donde se presentan los datos obtenidos en cuanto a generación de biomasa y productividad para cada tratamiento.

Figura 3-8 Análisis de varianza.



3.3. Dosis de nitrógeno y su relación con la generación de biomasa en *Vitis labrusca*.

Como se presentó en la metodología, se realizó un seguimiento a la generación de biomasa expresada en número de hojas e inflorescencias para cada tratamiento. Se realizó un ejercicio estadístico de correlación para determinar el grado de dependencia entre las variables.

La **Tabla 3-2** muestra las correlaciones entre la dosis, el día del ciclo productivo, las inflorescencias y las hojas. En donde se observa como la dosis y el día del ciclo productivo no se relacionan pues el valor p equivale a 1, esto se debe a que son dos variables independientes que se correlacionan con la producción de biomasa expresada en la producción de inflorescencias y hojas.

De igual manera, se aprecia como la correlación de Pearson entre la dosis de fertilizante aplicado y la producción de biomasa es negativa, indicando que a medida que aumenta la dosis disminuye la producción de biomasa. Mientras que la correlación con el día productivo es positiva, siendo más fuerte con el número de hojas, indicando que a medida que se avanza el ciclo productivo también aumenta la producción de biomasa.

Finalmente, la correlación entre el número de inflorescencias y hojas es positiva, coincidiendo con el desarrollo fenológico y vegetativo que se da en el cultivo como lo expresa Almanza Merchán (2011), en donde estos dos procesos se suceden de manera simultánea y dependen a su vez de las condiciones ecológicas con las que cuenta el cultivo.

Tabla 3-2 Correlación de biomasa.

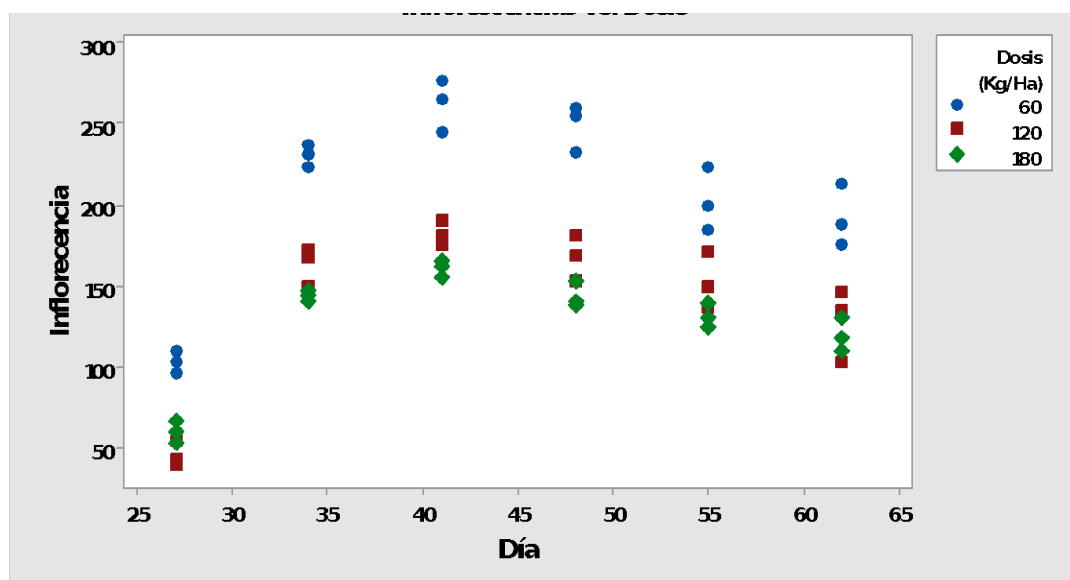
	Dosis (Kg/Ha)	Día del ciclo productivo	Inflorescencias (Número)
Día del ciclo productivo	0,000		
	1,000		
Inflorescencias (Número)	-0,569	0,272	
	0,000	0,047	
Hojas (Número)	-0,408	0,851	0,571

En la ecuación se observa cómo a medida que avanza el ciclo productivo se presenta un aumento en el número de hojas, siendo directamente proporcionales, mientras que a medida que aumenta la dosis de fertilizante nitrogenado, disminuye el número de hojas siendo inversamente proporcionales.

Este comportamiento es diferente al esperado, pues con un aumento en el nitrógeno se esperaba tener un mayor desarrollo foliar, ya que es un macronutriente que tiene efectos directos en el crecimiento y desarrollo vegetal (Vega Contreras, 2015). No obstante, este comportamiento puede deberse a que un exceso de nitrógeno en la planta debilita las paredes celulares, haciéndola más susceptible al ataque de patógenos, influyendo en el desarrollo foliar.

En la **Figura 3-10** se muestra el número de inflorescencias en relación con los días del ciclo productivo y la dosis de nitrógeno aplicada para cada sublote. Se observa cómo los tres van aumentando paulatinamente hasta el día 41, y a partir de allí empieza a decrecer, este comportamiento se debe a la aparición de Mildeo vellosa desde el día 34 que representó una disminución de las inflorescencias en todos los sublotes. El mayor número de inflorescencias se presentaron en el sublote 1 con la menor dosis de nitrógeno, seguido del 2 y 3.

Figura 3-10 Número de inflorescencias en cada sublote.

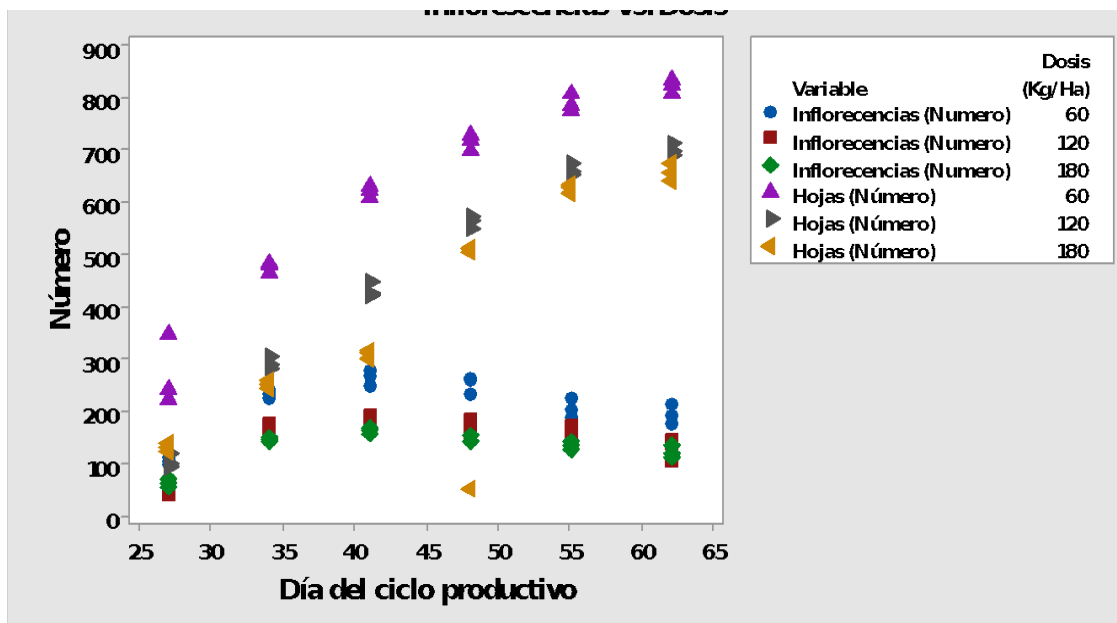


En el ciclo vegetativo, posterior a la aparición de las inflorescencias se produce el desarrollo, cuajo y llenado del fruto; con un aumento en la cantidad de nitrógeno, se estimula el crecimiento y vigor de las hojas, pero se reduce la producción de carbohidratos que se dirigen al fruto y la inflorescencia (Almanza Merchán, 2011), lo que podría explicar la menor producción de inflorescencias para el sublote 2 y 3, que tienen una baja diferencia en su comportamiento, en comparación con el sublote 1.

De acuerdo con lo anterior, donde el sublote 1 registra el mayor número de inflorescencias con una fertilización por debajo de las dosis aplicadas normalmente, se puede hablar de una reducción en los costos asociados a la fertilización en un 25%; si bien el nitrógeno es fundamental en el desarrollo y crecimiento del cultivo, no se requiere en grandes cantidades para mejorar los rendimientos (Malhi, Lemke, Wang, & Chhabra, 2006).

El ajuste de los datos a los modelos de regresión estuvo por debajo del 50%, esto se debe a una dispersión atípica de los datos, que se puede deber a factores como la aparición de Mildeo.

En la **Figura 3-11** se relacionan el número de hojas e inflorescencias con las dosis de nitrógeno, que fueron mostradas individualmente anteriormente; se observa cómo va aumentando el número de hojas en la medida en que las inflorescencias disminuyen, esto se explica por la aparición de Mildeo veloso en los días entre el 35 y 40 del ciclo productivo, teniendo un mayor efecto sobre las inflorescencias que sobre las hojas.

Figura 3-11 Relación hojas – inflorescencia para cada sublote.

De acuerdo con lo observado se puede evidenciar que la hacienda Brasilia puede ajustar sus planes de fertilización, reduciendo las dosis aplicadas actualmente en un 20 a 30%, realizando un monitoreo esporádico para verificar los niveles de nitrógeno en el suelo. Adicionalmente es importante mejorar los sistemas de riego usados en el lote, el riego por inundación realiza un lavado horizontal y vertical de nutrientes, lo que implica una mayor concentración de estos en algunas zonas del lote.

El estado nutricional de las plantas influye en la producción y composición de los frutos; por lo tanto, el fertilizante nitrogenado debe usarse a tasas específicas para evitar esta influencia negativa en los componentes de producción y el contenido de otros nutrientes en la planta y en el suelo (Rocha, Bassoi & Silva, 2015).

3.4. Dosis de nitrógeno y su relación con la incidencia de Mildeo veloso

En la **Tabla 3-3** se muestra la correlación entre la incidencia de Mildeo veloso tanto entre las inflorescencias como en las hojas, con la dosis de fertilizante aplicado y el avance del cultivo en el ciclo productivo. Se observa como todas las correlaciones son positivas

64 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

indicando que a medida que aumenta la dosis también lo hace la incidencia tanto en hojas como en inflorescencias, así como en el avance del ciclo productivo.

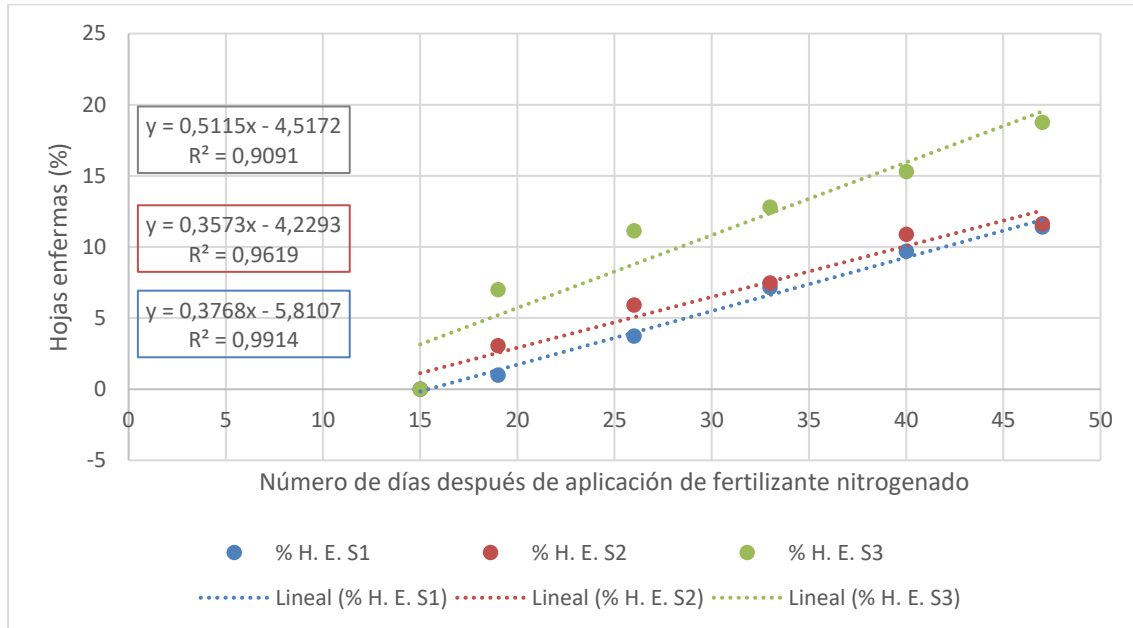
Tabla 3-3 Correlación incidencia de Mildeo veloso en el cultivo

	Dosis (Kg/Ha)	Día del ciclo productivo	Incidencia Hojas
Día del ciclo productivo	0,000		
	1,000		
Incidencia Hojas	0,283	0,291	
	0,038	0,032	
Incidencia en inflorescencias	0,454	0,796	0,349
	0,001	0,000	0,010

Contenido de la celda
Correlación de Pearson
Valor p

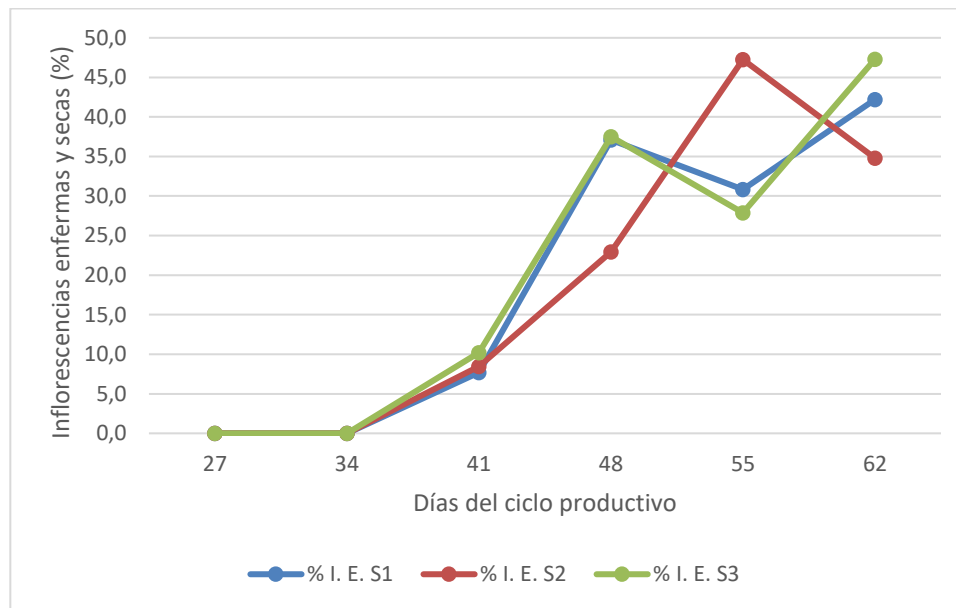
La **Figura 3-12** muestra el porcentaje de acumulación de hojas enfermas después de la aplicación de fertilizantes. Dentro del cultivo se presentaron daños en las hojas como consecuencia de la aparición de Mildeo veloso. En la figura se puede apreciar cómo el comportamiento en los tres sublotes es lineal creciente, aunque de acuerdo con el R^2 , la regresión que más se ajusta es la correspondiente al sublote 1 que si bien tiene la menor cantidad de hojas enfermas tiene una pendiente dos centésimas mayor a la del sublote 2. Ahora, el sublote 3 es el que presenta el mayor porcentaje de hojas enfermas, así como los datos más dispersos.

Figura 3-12 Porcentaje acumulado de hojas enfermas en cada sublte



La **Figura 3-13** presenta el porcentaje de inflorescencias enfermas y secas en cada uno de los subplots. Se observa como el subplote 1 y 3 tienen un comportamiento muy similar subiendo hasta el 39% en el día 48, donde baja la incidencia con una diferencia entre estos para el día 55 y 62, donde el subplote 3 presentó una incidencia mayor, superior al 45%, al igual que el subplote 2 para el día 55, mostrando un comportamiento muy similar para las dosis de 120 y 180 kg.

Figura 3-13 Porcentaje de Inflorescencias enfermas y secas en cada sublotes.



En términos generales, la incidencia de Mildeo veloso se presentó mayormente en el sublote 3, muestra entonces al igual que en el numeral anterior un impacto negativo ocasionado por una alta dosis de nitrógeno, reflejada en la reducción de la productividad por el ataque de un patógeno.

Si lo comparamos con el sublote 1 este teniendo dos veces menos nitrógeno, desarrollo más biomasa y un 7% menos incidencia de mildeo veloso, aunque la ocurrencia de lluvias en la época de medición tuvo un efecto, ya que es el medio por el cual se disemina la enfermedad por efecto combinado del viento y las salpicaduras de la lluvia. Yamada (1996) argumenta que el efecto de la nutrición mineral de las plantas se analiza casi siempre en términos de aumento de la productividad, pero la nutrición también influye en la calidad del producto en postcosecha y en la resistencia de la planta al ataque de plagas y enfermedades, como lo estudiado en esta investigación. Las dosis de fertilización por encima pudo aumentar la incidencia del Mildeo y por consiguiente se disminuyó la resistencia del patógeno, debido a su efecto en el patrón de crecimiento retardado, en la morfología y anatomía de las hojas y de su caída prematura, lo que sumado a la

composición química de la planta presentó un efecto depresivo (Agris, 2005). Como no presentó tolerancia a la fertilización alta de nitrógeno, no operó la resistencia, aumentando el estrés y expresándose en cambios en la anatomía (células epidérmicas más gruesas y mayor grado de lignificación y/o salificación), esto posiblemente se manifestó mediante cambios en las propiedades fisiológicas y bioquímicas y una poca producción de sustancias que inhibieran a *Plasmopara vitícola*.

Ahora, como el objeto de evaluación en esta investigación fue puntual y enfocado directamente a la emisión de óxido nitroso y no, sobre recalcar la información acerca de los efectos nutricionales de las unidades de observación (las hojas) no se evaluaron los mecanismos de defensa que actuaron contra *Plasmopara*, pero según los resultados de esta investigación se presentó evidencia de un efecto sinérgico de la nutrición nitrogenada a favor de la expresión de la enfermedad del Mildeo, que inicia en la superficie de las hojas por el desbalance de la nutrición mineral que dio como resultado un brote epidémico, en las unidades experimentales y en las unidades de observación, posiblemente el ion nitrógeno no ayudó a que se creará una barrera física que evitará la penetración de las hifas al no haber una cutícula gruesa y lignificación de las paredes celulares por un posible antagonismo por acumulación de silicio en la capa de células epidémicas (Bélanger, Benhamou, & Menzies, 2003).

La alta dosis nitrógeno (N) dispuesta en el experimento de campo, redujo la producción de compuestos fenólicos (fungistáticos) y de lignina de las hojas, disminuyendo la resistencia a *Plasmopara vitícola*, que es un endoparásito obligado. Como una conclusión preliminar, la presencia alta de nitrógeno no favoreció las actividades metabólicas y de síntesis de las células y aceleraron la senescencia de la planta hospedera. Marshner, 2012 plantea que con altas aplicaciones de Nitrógeno se aumenta la concentración de aminoácidos y de amidas en el apoplasto en las láminas foliares, los que aparentemente tienen mayor influencia en la germinación y desarrollo de los esporangios, favoreciendo el desarrollo de *P. vitícola*.

El hongo atacó a todos los órganos verdes de la Uva Isabella, principalmente a las hojas e inflorescencias, favorecido por las lluvias durante las etapas de evaluación, lo que favoreció las condiciones de infección de este patógeno policíclico, lo que desencadenó las

infecciones primarias en el envés, correspondiente a la esporulación de *P. vitícola*. Las infecciones postsecundarias, se agravaron en el periodo vegetativo siguiente de floración-cuajado, estados fenológicos I-J, que en la literatura local se han reportado como muy sensibles al ataque del hongo (Peláez y Ruiz, 2018). Entonces las condiciones de elevada humedad requieren de especial atención, la cual sumada con la fertilización nitrogenada en estos estadios fenológicos, aumenta la susceptibilidad en los periodos de lluvias, como los meses de abril y mayo en los cuales se condujo esta investigación; al finalizar las lluvias es posible que el racimo deje ser sensible a la enfermedad, y se presente una tolerancia inducida por la acumulación del nitrógeno (Instituto Colombiano Agropecuario, 2012).

Con relación a los problemas fitosanitarios y los factores de predisposición por estrés en los desbalances nutricionales por nitrógeno, se puede ver agravado a causa de los problemas de incidencia de Mildeo veloso, ya que *Plasmopara viticola* puede presentar riesgo de generar resistencia a fungicidas, ya que el agricultor afronta temor a la aversión y buscar solucionar estas situaciones con productos químicos. De ser así, es importante plantear estudios sobre manejo integrado nutricional y la complementación con un plan de rotación de fungicidas que incluya ingredientes activos con diferentes modos de acción y mezcla con fungicidas de amplio espectro, y buscar siempre el balance nutricional, para evitar que el nitrógeno (que es muy reactivo y móvil) se escape a aguas subterráneas o superficiales, o se transforme en óxido de nitroso y llegue a la atmósfera, que en cualquiera de los casos generará un afectación ambiental.

3.5. Relación entre los factores evaluados

La respuesta del agroecosistema de la uva isabella en la hacienda Brasília al cambio en los niveles de fertilización, tuvo en gran parte una respuesta esperada. La literatura indica que el nitrógeno tiene un impacto positivo en el desarrollo vegetativo de los cultivos hasta un límite, una vez superado, su aplicación desencadena problemas fitosanitarios que dependen de las características del patosistema (planta - patógeno - ambiente), lo cual pudo evidenciarse en el desarrollo del trabajo de investigación. En términos del flujo de emisiones de óxido nitroso, no se habían realizado investigaciones de este tipo en uva

isabella, reportando nueva información en este campo, sobre todo para las condiciones de dosis, clima, suelo y humedad del agroecosistema evaluado en la hacienda.

Ahora bien, realizando un análisis integral del resultado de los tratamientos en el flujo de emisión de óxido nitroso, biomasa e incidencia de Mildeo, podemos partir del comportamiento presentado por el nivel de nitrógeno usado normalmente por el viticultor (120 kg/ha), el cual tuvo resultados poco efectivos en el componente productivo, desarrollando hojas e inflorescencias por debajo de la aplicación más baja (60 kg/ha), teniendo de igual forma una incidencia de Mildeo y flujo de emisiones acumuladas similares.

Por otra parte, el tratamiento con la mayor aplicación de nitrógeno (180 kg/ha) presentó la menor generación de biomasa, pero la mayor incidencia de la enfermedad, aspectos que guardan relación entre sí. En cuanto al flujo de emisión, presentó las lecturas más altas en comparación con las dosis media y baja. Aunque no se obtuvieron diferencias significativas en esta variable de respuesta, existe un comportamiento que debe tenerse en cuenta cuando se evalúan los porcentajes de nitrógeno en el suelo, los cuales tienen una relación con esta variable; una vez alcanzados ciertos niveles de nitrógeno en el suelo, este tenderá a infiltrarse o volatilizarse. Teniendo en cuenta lo anterior, la dosis baja, no alcanza fácilmente estos niveles, teniendo una tasa de degradación normal de nitrógeno, por lo tanto, no tuvo un aumento exponencial de los flujos de óxido nitroso, como si lo tuvo el tratamiento con la dosis más alta de nitrógeno aplicada normalmente.

Lo expuesto anteriormente indica que para el cultivo de uva isabella, bajo las condiciones evaluadas, reducir paulatinamente las aplicaciones de nitrógeno como fertilizante no afectará el desarrollo del cultivo, y tendrá efectos positivos en términos de reducción de la incidencia de enfermedades como el mildew y se mantendrá unos niveles de nitrógeno en el suelo que no incrementarán el flujo de óxido nitroso, reduciendo el impacto ambiental de la actividad agrícola en cuestión.

Es claro que las tasas de N por encima de los requisitos de las plantas promueven un efecto negativo, sin aumento en la producción de uva. Precisamente Lorensini y col. (2015) evaluaron las vides Cabernet Sauvignon con aplicación anual de tasas de N (0, 10, 15, 20, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹) obteniendo los mejores resultados en rendimientos con aplicaciones

70 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

de 20 kg N ha⁻¹, las tasas más altas de N - urea (90 y 120 kg ha⁻¹) generaron un exceso de N en el suelo, causando disminuciones significativas en la producción de las vides. Lorensini concluye que el uso de altas tasas de N no proporciona beneficios y dificulta la productividad de las plantas, provoca pérdidas económicas y tiene consecuencias ambientales, como la contaminación de la capa freática con nitrato debido al proceso de lixiviación.

Lo anterior muestra el efecto negativo que puede ocasionar el nitrógeno sobre los componentes productivos de la vid, cuando se usan cantidades inadecuadas. Sin embargo, para el caso de la *Vitis labrusca* son prácticamente inexistentes investigaciones relacionadas, más aún si tomamos las características de suelo y clima específicos de las zonas agroecológicas donde se desarrolla el cultivo de la Uva Isabella en el Valle del Cauca, Colombia, que se caracteriza por ubicarse en zona tropical, ecosistema de bosque seco, suelos con niveles freáticos altos, principalmente de los órdenes molisoles, inceptisoles y entisoles.

Otros estudios, como en maíz y soya, se han enfocado en determinar los efectos del uso de otras fuentes de nitrógeno como compostajes y abonos orgánicos (estiércoles) verdes, obteniendo menores emisiones de óxidos nitroso cuando se mezcla sin tener un impacto en la productividad (Nyamadzawo, y otros, 2014) (Louro, 2010) resultados que sustentan científicamente que es una buena opción en términos de la relación costo beneficio. Este tipo de investigaciones podrían llegar a desarrollarse en los cultivos del Valle del Cauca específicamente en la uva Isabella, como alternativa de reducción de costos de fertilización y aprovechamiento de residuos de otros sistemas productivos, conllevando beneficios en una reducción de impactos ambientales asociados a la producción, comercialización y distribución de fertilizantes minerales.

Además, dentro de la literatura revisada, se observaron estudios mucho más largos en el tiempo, lo que indica una mayor cantidad de datos que explican el fenómeno en estudio, por lo tanto, realizar este tipo de estudios para las condiciones de manejo agrícola de los

cultivos del valle del cauca representa una enorme oportunidad de generar conocimiento alrededor de un tema tan importante como lo es el cambio climático.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Si bien no hay un respaldo estadístico que permita establecer diferencias significativas acerca de que mayores niveles de fertilización conlleven mayores emisiones de óxido nitroso, aplicaciones por debajo de la dosis normalmente usada de 120kg/ha para la hacienda Brasilia mantendrán unos niveles de nitrógeno en el suelo que no implicarán emisiones elevadas de N_2O , pero si conlleva un ahorro en la compra de fertilizante, ya que se observó un mejor comportamiento en el desarrollo vegetativo del cultivo con dosis por debajo de la ya mencionada. En cambio, niveles por encima de este valor con las características edáficas del corregimiento de Santa Helena, genera condiciones favorables para el desarrollo de mildew, ocasionando pérdidas económicas para el productor.
- Los mecanismos de retención de nitratos en el suelo, al igual que la humedad juegan un papel fundamental en los procesos de desnitrificación, como consecuencia de la disminución de oxígeno en el espacio poroso del suelo, que generara condiciones favorables para la generación de N_2O .
- Aunque el desarrollo de biomasa fue aumentando exponencialmente en los tres tratamientos, el mayor número de hojas e inflorescencias se presentaron en el subote con el nivel de fertilización bajo 60kg/ha lo cual se traduce en una mejor asimilación por el cultivo, en comparación con la dosis usada actualmente en la Hacienda Brasilia. Por tanto, los excesos de fertilización entran en detrimento del desarrollo de biomasa.
- El nitrógeno tiene un efecto sinérgico en la incidencia de *Plasmopara viticola*, en la medida que se aumentan las dosis de nitrógeno usada la planta presenta una mayor susceptibilidad al desarrollo del patógeno, el cual afecta el desarrollo de hojas e inflorescencias, por tanto, dosis bajas ajustadas a los contenidos del elemento en el suelo, tiene el potencial de generar un efecto positivo en el cultivo ya que tendría un mejor estado fitosanitario y por ende se podrían generar mejores rendimientos.

4.2 Recomendaciones

Futuras investigaciones en el tema pueden enfocarse a realizar mediciones en otra época del año con otros cultivos, ajustando otras dosis y fuentes de nitrógeno, incluyendo metodologías que permita establecer la cantidad de nitrógeno adsorbido por las plantas, con el fin de realizar un balance de nitrógeno, determinando cuales son las pérdidas al ambiente para las condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauca.

Con el fin de conocer la relación existente entre la fertilización y la incidencia de enfermedades, se recomienda realizar trabajo con otros patógenos diferentes a este hongo y realizar lo mismo en otros cultivos, su importancia radica en que es una manera de justificar una reducción en el uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas, por ende, una minimización del impacto de la agricultura sobre los ecosistemas.

Es importante plantear estudios sobre rotación de fungicidas que incluya ingredientes activos con diferentes modos de acción y mezcla con fungicidas de amplio espectro, teniendo en cuenta un manejo integrado nutricional, para evitar que el nitrógeno (que es muy reactivo y móvil) se escape a aguas subterráneas o superficiales, o se transforme en óxido nitroso y llegue a la atmósfera, que en cualquiera de los casos generará una afectación del medio ambiente.

- 74 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.
-

Bibliografía

- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. Amsterdam ; Boston Elsevier Academic Press.
- AgroEs. (n.d.). *Exceso de nitrógeno en la nutrición de la Vid*. Retrieved from AgroEs.es: <http://www.agroes.es/cultivos-agricultura/vid-vino-bodegas/vid-cultivo/105-exceso-de-nitrogeno-en-la-nutricion-de-la-vid>
- Almanza Merchán, P. J. (2011). *Determinación del crecimiento y desarrollo del fruto de vid (vitis vinifera L.) bajo condiciones de clima frío tropical. (Tesis doctoral)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Escuela de Posgrados.
- Alvarez, R. P., García, V. R., Mora, H. M., González Díaz, J., & Salgado, S. M. (2013). Estado actual de *Peronospora sparsa*, causante del Mildiu Velloso en Rosa (*Rosa* sp.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 113-125.
- Andreu, J., Betrán, J., Delgado, I., Espada, J., Gil, M., Gutiérrez, M., . . . Muñoz, F. (2006). *Fertilización nitrogenada Guía de actualización*. Aragon: Unión Europea, Fondo europeo de orientación y de garantía agrícola.
- Arenas C., L. N. (2015). Diseño de cámara estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos. Palmira: Facultad de Ingeniería y administración, Universidad Nacional de Colombia. .
- Arias N., C., Díaz-Pinés, E., Ralf, K., Rosenstock, T. S., Rufino, M. C., Stern, D., . . . Butterbach-Bahl, K. (2013). Gas pooling: A sampling technique to overcome spatial heterogeneity of soil carbon dioxide and nitrous oxide fluxes. *Soil Biology & Biochemistry*, 20-23. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.011>
- Bélanger, R., Benhamou, N., & Menzies, J. G. (2003). Cytological Evidence of an Active Role of Silicon in Wheat Resistance to Powdery Mildew (*Blumeria graminis* f. sp. tritici). *Phytopathology*, 402-12. doi:10.1094/PHYTO.2003.93.4.402.
- Billen, G., Garnier, J., & Lassaletta, L. (2013). The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales. *Philosophical transactions of the royal society B*. doi:<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0123>

- Bohn, H., Mc Neal, B., & O'Connor, G. (1979). *Soil Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Brunetto, G., Rosa, D., Ambrosini, V., Heinzen, J., Ferreira, P., Ceretta, C., . . . Tiecher, T. (2019). Use of phosphorus fertilization and mycorrhization as strategies for reducing copper toxicity in young grapevines. *Scientia Horticulturae*, 176-183.
- Cano Benitez, L. M. (2018). *Caracterización del sistema de producción de uva (Vitis Labrusca L.) en relación a las prácticas fitosanitarias convencionales en el municipio de Ginebra, Valle del Cauca (Tesis de maestría)*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Sede palmira. Facultad de ciencias agropecuarias.
- Castro, R., Toro, J., & Escobar, W. (1986). El cultivo de la vid en el Valle del Cauca. *Boletín Técnico 202 - Instituto Colombiano Agropecuario*, 13.
- Chaparro, L., Cuervo, M., Gomez, J., & Toro, M. (2001). Emisiones al ambiente en colombia. In m. y.-l. Instituto de hidrología, *El medio ambiente en Colombia*. Bogota, Colombia.
- Chapuis L., L., Wrage, N., Metay, A., Chotte, J.-L., & Bernoux, M. (2007). Soils, a sink for N₂O? A review. *Global Change Biology*, 1-17. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01280.x
- Chirinda, N., Loaiza, S., Arenas, L., Ruiz, V., Faverín, C., Alvarez, C., . . . Cardenas, L. (2019). Adequate vegetative cover decreases nitrous oxide emissions from cattle urine deposited in grazed pastures under rainy season conditions. *Nature*. doi:https://doi.org/10.1038/s41598-018-37453-2
- Coderoni, S., & Esposti, R. (2018). CAP payments and agricultural GHG emissions in Italy. A farm-level assessment. *Elsevier B.V.*, 427- 437. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.197
- Corrales González, M., Rada , F., & Jaimez, R. (2016). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolux ex Hook. f.). *Acta Agron.*, 255-260. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v65n3/v65n3a07.pdf>
- Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A., & Winiwarter, W. (2016). N₂O Release from Agro-biofuel Production Negates Global Warming Reduction by Replacing Fossil Fuels. *Springer*, 227-238.
- Denmead, O. T. (2008). Approaches to measuring fluxes of methane and nitrous oxide between landscapes and the atmosphere. *Plant Soil*, 309:5-24. doi:10.1007/s11104-008-9599-z

76 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

- FAO. (2004). *Estimaciones globales de las emisiones gaseosas de NH₃, NO y NO₂ provenientes de las tierras agrícolas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Firestone, M. K., & Davidson, E. A. (1989). Microbiological Basis of NO and N₂O Production and Consumption in Soil. *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*, 7-21.
- Galindo, J. L., Toro, J. M., & Garcia, A. O. (2006). Manejo Técnico del Cultivo de la Vid en el Valle del Cauca. *Ceniuva - Colciencias*, 54.
- Granath, G., & Strengbom, J. (2017). Nitrogen fertilization reduces wild berry production in boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 119-126.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.024>
- Guzman, J. (2016, abril 12). *Agronegocios*. Retrieved from <https://www.agronegocios.co/agricultura/colombia-duplicaria-su-produccion-de-uva-y-el-valle-del-cauca-es-el-lider-2621888>
- Hernandez C., J., Trujillo N., Y., & Duran S., D. (2011, Junio - Abril 21). Contenido fenólico e identificación de levaduras de importancia vínica de la uva isabella (*Vitis labrusca*) procedende de Villa del Rosario (Norte de Santander. *Vitae, revista de la facultad de química farmacéutica*, 18(1), 17-25. Retrieved Mayo 15, 2019, from <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v18n1/v18n1a03.pdf>
- Huber , D., Römheld, V., & Weinmann, M. (2012). Chapter 10 Relationship between Nutrition, Plant Diseases and Pests. In P. Marschner, *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (pp. 283-298). Digital: Elsevier.
- Ibarlucía, D. (S. f.). *Determinación del NO₂ (Dióxido de Nitrógeno) atmosférico en la ciudad de Tandil mediante muestreadores pasivos y una técnica espectrofotométrica*. Buenos Aires.
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de la vid (Vitis vinifera y V. labrusca). Medidas para la temporada invernal*. Bogotá D.C. Colombia: Ministerio de agricultura y desarrollo rural.
- Instituto de hidrología, m. y.-I., & PNUD, P. d. (2016). *Inventario nacional y departamental de gases de efecto invernadero* . Bogota, Colombia: Puntoaparte.

- IPCC. (1992). *Primer informe de evaluación del Grupo intergubernamental de expertos sobre los cambios climaticos*. Canada: Programa de las naciones unidas para el Medio Ambiente.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York: Cambridge University Press.
- ISPRA . (2016). *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2014*. Institute for Environmental Protection and Research, Roma.
- Johansson, C., & Galbally, I. E. (1984). Production of Nitric Oxide in loam under aerobic and anaerobic conditions. *Applied and environmental microbiology*, 1284-1289.
- Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Anglade, J., & Garnier, J. (2014). 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *IOP Publishing Environmental Research Letters*. doi:10.1088/1748-9326/9/10/105011
- Louro, A. B. (2010). EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO EN UN SUELO CULTIVADO CON MAIZ TRAS EL APORTE DE DISTINTOS FERTILIZANTES. *Producción vegetal* , 291-297.
- Malhi, S., Lemke, R., Wang, Z., & Chhabra, B. S. (2006). Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. *Soil and Tillage Research*, 171-183.
- Marshner, P. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Australia: Elsevier.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. (1998). *Manejo integrado de las enfermedades de importancia económica de la vid en colombia*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MINAGRICULTURA. Retrieved from <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6401>
- Mundy, D., & Beresford, R. (2007). Suceptibility of grapes to Botrytis Cinerea in relation to verry nitrogen and sugar concentration. *New Zeland Plan Protection* 60, 123-127.
- Nastaro B., B., Mariano, E., Antunes A., R., & Ocheuze T., P. C. (2019). Influence of nitrate - ammonium ratio on the growth, nutrition, and metabolism of sugarcane. *Plant Physiology and Biochemistry*, 246-255. doi:<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.024>

78 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

- Nyamadzawo, G., Shi, Y., Wu, W., Meng, F., Chirinda, N., & Olesen, J. (2014). Combining organic and inorganic nitrogen fertilisation reduces N₂O emissions from cereal crops: a comparative analysis of China and Zimbabwe. *Springer Science*. doi:10.1007/s11027-014-9560-9
- Oliveira, L., Schwalbert, R., Augusto, R., De conti, L., Severo, M., Garlet, L., . . . Brunetto, G. (2019). Nitrogen supply method affects growth, yield and must composition of young grape vines (*Vitis vinifera* L. cv Alicante Bouschet) in southern Brazil. *Scientia Horticulturae*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108910>
- Palma, J. F. (2006). Estrategias de fertilización en VID de mesa diseños y monitorización. *Estrategias de fertilización en VID de mesa diseños y monitorización* (pág. 39). Santiago de Chile: Tercer seminario de fertirigación.
- Pelaez, M., & Ruiz, V. (2018). *MIPUN herramientas de tecnología móvil – tic para la gestión de plagas y enfermedades en parcelas vitícola bajo procesos de desarrollo rural integral, en clínicas agrobiológicas*. Palmira.
- Peng, Q., Qi, Y., Dong, Y., Xiao, S., & He, Y. (2011). *Soil nitrous oxide emissions from a typical semiarid temperate steppe in inner Mongolia: effects of mineral nitrogen fertilizer levels and forms*. Beijing: Springer Science. doi:10.1007/s11104-010-0699-1
- Pihlatie, M. K., Christiansen, J. R., Aaltonen, H., Korhonen, J. F., Nordbo, A., Rasilo, T., . . . Vicca, S. (2012). Comparison of static chambers to measure CH₄ emissions from soils. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124-136. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.11.008>
- Pire C. , R., De Fréitez, Y., De Pire, L., & Tortolero, E. (1989). El riego de la Vid (*Vitis Vinifera* L.) en el Tocuyo, Edo, Lara, III. Respuestas el cultivo. *Agronomía tropical*. 39, 131-149. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/265598759_El_riego_de_la_vid_III_Respuestas_del_cultivo
- Puerto, O., Mejía de Tafur, S., Menjivar, J. C., & Puentes, Y. (2014). Influencia del Potasio en el cultivo de la Vid (*Vitis labrusca*) cv. Isabella . 148-154.
- Rizo, E. (2008, Noviembre 3). *Exceso de nutrientes*. Retrieved from Hortalizas: <https://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/exceso-de-nutrientes/>

- Rochette, P. (2005). Measurement of Soil Respiration in situ: Chamber Techniques. *Publications from USDA-ARS / UNL Faculty*. Retrieved from <http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1379>
- Schierenbeck, M., Fleitas, M. C., Gerard, G. S., Dietz, J. I., & Simón, M. R. (2019). Combinations of fungicide molecules and nitrogen fertilization revert nitrogen yield reductions generated by *Pyrenophora tritici-repentis* infections in bread wheat. *Crop Protection*, 173-181. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.04.004>
- Secretaría de ambiente, agricultura y pesca. (2018, Enero 26). *Superficie sembrada con frutales en hectáreas en el Valle del Cauca año 2017*. Retrieved from Datos abiertos. El futuro digital es de todos. MinTIC: <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/SUPERFICIE-SEMBRADA-CON-FRUTALES-EN-HECT-REAS-EN-E/j4i5-8vau>
- Secretaría Técnica Cadena Productiva Frutícola. (2006). *Manual Técnico del Cultivo de la Uva (Vitis Labrusca) En el Departamento del Huila*. Retrieved from Manual Técnico Cultvo de Uva: <http://huila.gov.co/documentos/M/manual%20tecnico%20de%20la%20uva%20en%20el%20Huila.pdf>
- Smith, K. A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K. E., Massheder, J., & Rey, A. (2003). Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, 779-791. doi:10.1046/j.1365-2389.2003.00567.x
- Tecnico agrícola. (2013, Abril 25). *Ciclo del nitrógeno en el suelo*. Retrieved from www.tecnicoagricola.es: <http://www.tecnicoagricola.es/ciclo-del-nitrogeno-en-el-suelo/>
- Thomidis, T., Zioziou, E., Kounduras, S., Karagiannidis, C., Navrozidis, I., & Nikolau, N. (2016). Effects of nitrogen and irrigation on the quality of grapes and the susceptibility to Botrytis bunch rot. *elsevier*.
- Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature international journal of science*, 671-677.
- Toboada, M., Cosentino, V., & Constantini, A. (2018). Emisiones de óxido nitroso desde suelos agrícolas y alternativas para mitigarlas. *Ciencia e investigación*, 5.
- Toro Zapata, N., & Suárez Osorio, L. (2012). *Obtención y caracterización del aceite de las semillas de Vitis labrusca L. (Uva Isabella) y evaluación de su actividad*

80 Relación del nitrógeno con la productividad y emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera en el cultivo de uva Isabella (*Vitis labrusca*) en el Valle del Cauca, Colombia.

antioxidante (Tesis de pregrado). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. Escuela de química.

Torres, R. (s.f.). Incrementos en la fijación biológica del nitrógeno. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Universidad del Valle; Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2018). *LÍNEA BASE DE EMISIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO POR LA APLICACIÓN DE SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE LA VINAZA, EN LAS PARCELAS PRIORIZADAS EN LOS INGENIOS RISARALDA, RIOPAILA, PROVIDENCIA, MANUELITA, MAYAGÜEZ E INCAUCA COMO PARTE DEL MONITOREO DEL SUELO*. Santiago de Cali.

Valencia, C. (2008). *Química de Suelos*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Vega Contreras, A. (2015). El efecto del nitrógeno en las enfermedades de las plantas. *Agronomía y forestal*(52), 33-35. Retrieved from <http://agronomia.uc.cl/extension/133-el-efecto-del-nitrogeno-en-las-enfermedades-de-las-plantas/file>

Wang, J., Chadwick, D., Cheng, Y., & Yan, X. (2018). Global analysis of agricultural soil denitrification in response to fertilizer nitrogen. *Science of the Total Environment*, 616–617 (2018) 908–917.

World Bank. (2019, MAYO 23). Retrieved from <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.AGRI.ZS>

Yamada, T. (1996). La nutrición mineral y la resistencia de las plantas a las enfermedades. *Informaciones agronómicas No 23*, 7-10. Retrieved from [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/C8A9AFABC2A11B3585258012006B83C4/\\$FILE/Art%203.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/C8A9AFABC2A11B3585258012006B83C4/$FILE/Art%203.pdf)