

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

*Evaluación de la residualidad de pesticidas en fruta y
contaminación por metales pesados en suelo y pulpa de
diferentes sistemas productivos de gulupa (*Passiflora edulis sim*)*

J. Marcela Osorio Bermúdez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2019

Evaluación de la residualidad de pesticidas en fruta y contaminación por metales pesados en suelo y pulpa de diferentes sistemas productivos de gulupa (*Passiflora edulis sim*)

Evaluation of residuality of pesticides in fruit and contamination by metals in soil and pulp of different production systems of passion fruit

J. Marcela Osorio Bermúdez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Medio Ambiente y Desarrollo

Director:

PhD Claudio Jiménez Cartagena

Codirector:

PhD Darío Castañeda Sánchez

Línea de Investigación:

Contaminación ambiental

Grupo de Investigación:

Grupo de investigación aplicada al medio ambiente – GAMA

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2019

For me, of course

Una mejor comprensión de la naturaleza y evolución de la inteligencia humana puede ayudarnos a enfocar con lucidez los peligros ignotos que sin duda esconde el futuro.

Carl Sagan

Agradecimientos

Al Sistema General de Regalías y a la Gobernación de Antioquia, por aportar los datos para el desarrollo de esta investigación.

A la Ingeniera Janeth Lagoyte funcionaria de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de la Gobernación de Antioquia.

A la empresa Agrojar S.A.S, las asociaciones Agrofenix y Copiurrao y todos los productores de gulupa visitados por su tiempo, amable disposición y valiosos aportes para poder desarrollar esta investigación.

A la señora Luz Dary Marín, por su apoyo, disposición e incondicional compañía en esos largos recorridos por las montañas del Oriente antioqueño.

Al productor Alejandro Montoya, por su apoyo, disponibilidad, por abrirme las puertas de su cultivo. A pesar de su juventud y formación por creer en el agro colombiano.

A los profesores Claudio Jiménez y Julián Londoño por su apoyo, enseñanzas y aportes.

Al profesor Darío Castañeda por su paciencia y aportes para darle consistencia a este trabajo.

Al profesor Orlando Simón Ruiz Villadiego, Director Escuela de Geociencias, y al equipo de trabajo del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional sede Medellín.

A mis maestros y demás funcionarios de la Universidad Nacional sede Medellín, por su firme vocación de servicio y enseñanza.

A mis entrañables amigos Andrés Cortés y Paula Aguilar por sus valiosos aportes y gran soporte a lo largo de esta investigación. Aun en los momentos más difíciles siempre presentes con su incondicional amor.

A Juan Felipe Sarrazola por su comprensión, apoyo y paciencia y atenta escucha.

Al escritor Sergi López por su incondicional apoyo en el proceso de edición.

A los arándanos azules, por sus palabras de amor y comprensión.

A mi madre, a mis hermanas, amigos, amigas, compañeros y compañeras, por su apoyo, paciencia y risas a lo largo de este camino.

Resumen

La gulupa es la tercera fruta tropical de mayor exportación en Colombia, su principal destino la UE, presenta normas de inocuidad estrictas en los LMR de plaguicidas y contenidos de metales. Dada la importancia que tiene la gulupa para el renglón productivo de Colombia, este estudio buscó identificar si el tipo de sistema productivo se relacionaba con la residualidad de plaguicidas y el contenido de metales en el suelo y fruto. Para esto se realizaron visitas y encuestas a 35 productores de gulupa. Los cuales se agruparon a partir de un análisis FAMD. De los grupos más contrastantes se tomaron 10 muestras de fruta para análisis de plaguicidas y 12 de fruta y suelo para análisis de metales tóxicos. Se identificaron tres sistemas productivos: tecnificados de grandes productores en el Suroeste, convencional de pequeños productores en el Oriente y en transición de medianos productores en ambas regiones. El 20% de las muestras no presentaron residuos de plaguicidas, el 50% contenía residuos que sobrepasaba el LMR. El Azoxystrobin y tebuconazole, fueron las sustancias identificadas con mayor frecuencia. El sistema convencional cuya asistencia técnica era recibida por casas comerciales de agroquímicos, se caracterizó por el uso de plaguicidas con mayor nivel de peligrosidad y mayores conflictos con el cumplimiento de los LMR. Se identificaron diferencias significativas mediante un ANOVA de dos vías entre el contenido de metales en suelo y el material litológico. Los suelos de origen aluvial presentaron mayores niveles de Cu, Cr y Cd con respecto a suelos ígneos. Las propiedades fisicoquímicas: pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, no se correlacionaron con mayores contenidos de metales en la fruta. El tipo de sistema productivo se relacionó con altos niveles de residualidad de plaguicidas en fruta, pero no con el contenido de metales. Para futuros estudios se sugiere incrementar los puntos de muestreo.

Palabras clave: gulupa, sistemas productivos, metales, LMR, valoración de peligrosidad, contaminación de suelo.

Abstract

The passion fruit is the third most exported tropical fruit in Colombia, its main destination in the EU, has strict safety standards in pesticide MRLs and metal content. Given the importance of gulupa for the productive line of Colombia, this study sought to identify if the type of productive system was related to the residuality of pesticides and the content of metals in the soil and fruit. For this, visits and surveys were conducted with 35 gulupa producers. Which were grouped from a FAMD analysis. From the most contrasting groups, 10 fruit samples were taken for pesticide analysis and 12 for fruit and soil for toxic metal analysis. Three productive systems were identified: technified from large producers in the Southwest, conventional from small producers in the East and in transition from medium producers in both regions. 20% of the samples did not present pesticide residues, 50% contained residues that exceeded the MRL. Azoxystrobin and tebuconazole were the most frequently identified substances. The conventional system whose technical assistance was received by commercial houses of agrochemicals, was characterized by the use of pesticides with a higher level of danger and greater conflicts with compliance with the MRLs. Significant differences were identified by a two-way ANOVA between the content of metals in soil and the lithological material. The soils of alluvial origin had higher levels of Cu, Cr and Cd with respect to igneous soils. The physicochemical properties: pH, organic matter and cation exchange capacity, were not correlated with higher metal content in the fruit. The type of production system was related to high levels of pesticide residuality in fruit, but not to the metal content. For future studies it is suggested to increase the sampling points.

Keywords: passion fruit, cropping systems, heavy metals, MLR, hazard-ranking, soil pollution.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras.....	XI
Lista de tablas.....	XII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XIII
Introducción	17
1. Capítulo 1: Caracterización de los sistemas productivos de gulupa	22
1.1 Introducción	23
1.2 Metodología	25
1.2.1 Selección del área de estudio y variables a nivel finca	25
1.2.2 Captura de información.....	27
1.2.3 Análisis estadístico y validación de los grupos	28
1.2.4 Perfil de los cultivos caracterizados.....	28
1.2.5 Análisis estadístico por componentes	33
1.2.6 Tendencias de agrupamiento	38
1.3 Discusión.....	40
1.4 Conclusiones	42
2. Capítulo 2: Residualidad de plaguicidas en sistemas productivos de gulupa	44
2.1 Introducción	45
2.2 Metodología	47
2.2.1 Toma de muestras	47
2.2.2 Análisis químico	47
2.2.3 Análisis de la información.....	48
2.3 Resultados	53
2.3.1 Frecuencia de los plaguicidas detectados.....	53
2.3.2 Valoración de la toxicidad sobre humanos.....	56
2.3.3 Ecotoxicidad	59
2.3.4 Destino ambiental	61
2.3.5 Clasificación de peligrosidad.....	62
2.3.6 Validación de resultados	63
2.3.7 Sistemas productivos y toxicidad de los plaguicidas.....	65
2.4 Discusión de resultados	66

2.5	Conclusiones	70
3.	Capítulo 3: Metales en frutos y suelos de sistemas productivos.....	72
3.1	Introducción	73
3.2	Metodología	76
3.2.1	Toma de muestras.....	76
3.2.2	Análisis de metales	77
3.2.3	Análisis fisicoquímicos.....	77
3.2.4	Análisis estadístico	77
3.2.5	Determinación del factor de transferencia	78
3.3	Resultados.....	78
3.3.1	Propiedades fisicoquímicas del suelo	78
3.3.2	Concentraciones de metales en suelo	80
3.3.3	Concentración de metales en fruta	81
3.3.4	Factor de transferencia.....	82
3.3.5	Propiedades fisicoquímicas relacionadas con la transferencia de metales 82	
3.4	Discusión de resultados	84
3.4.1	Concentración de metales en los suelos.....	84
3.4.2	Concentración de metales en fruta	87
3.4.3	Variables correlacionadas con la migración de metales del suelo a la fruta 88	
3.5	Conclusiones	89
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	91
	Anexos: estadísticos descriptores cualitativos.....	93
A.	Anexos: Fórmula química de los plaguicidas detectados en muestras de fruta...	94
B.	Anexos: pruebas pareadas para Anova (capítulo 3).....	95
	Bibliografía.....	121

Lista de figuras

Figura 1-1:	Distribución espacial de los cultivos caracterizados	26
Figura 1-2:	Estadísticas del componente ambiental	29
Figura 1-3:	Fotografías de cultivos visitados.....	29
Figura 1-3:	(Continuación)	30
Figura 1-4:	Estadísticas del componente sociocultural	31
Figura 1-4:	(Continuación)	32
Figura 1-5:	Estadísticas del componente agronómico	32
Figura 1-5:	(Continuación)	33
Figura 1-6:	Descriptores del componente ambiental.....	34
Figura 1-7:	Histograma de altitud por subregión	34
Figura 1-8:	Descriptores del componente sociocultural.....	35
Figura 1-9:	Descriptores del componente agronómico.....	37
Figura 1-10:	Descriptores de mayor contribución para el agrupamiento	38
Figura 1-11:	Tendencias de agrupamiento	39
Figura 2-1:	Frecuencia de los plaguicidas detectados	54
Figura 2-2:	Boxplot de valoración de toxicidad por sistema productivo	65
Figura 2-2:	(Continuación)	66
Figura 3-1:	Boxplot de las variables asociadas a la textura del suelo	79
Figura 3-2:	Boxplot con las concentraciones de metales en suelo.....	81
Figura 3-3:	Boxplot con las concentraciones de metales en pulpa	82

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Descriptores agrupados por componentes.....	26
Tabla 1-2: Resultados de las variables cuantitativas analizadas	33
Tabla 2-1: Clasificación para la valoración de riesgos crónicos para la salud humana .	49
Tabla 2-2: Clasificación para la valoración de riesgos agudos para la salud humana ...	50
Tabla 2-3: Clasificación para la valoración de riesgos ecotoxicológicos.....	51
Tabla 2-4: Clasificación y valoración del destino y comportamiento ambiental.....	52
Tabla 2-4: (Continuación).....	53
Tabla 2-5: Concentraciones que sobrepasaron los LMR	55
Tabla 2-6: Residualidad de plaguicidas en los sistemas productivos.....	55
Tabla 2-7: Valoración del riesgo crónico de los plaguicidas detectados.....	56
Tabla 2-8: Valoración del riesgo agudo de los plaguicidas detectados.....	56
Tabla 2-8: (Continuación).....	57
Tabla 2-9: Valoración de toxicidad crónica en humanos	57
Tabla 2-9: (Continuación).....	58
Tabla 2-10: Valoración de toxicidad aguda en humanos.....	58
Tabla 2-11: Resultados de ecotoxicidad de los plaguicidas detectados.....	59
Tabla 2-11: (Continuación).....	60
Tabla 2-12: Valoración de ecotoxicidad en ambiente acuático.....	60
Tabla 2-13: Valoración de ecotoxicidad en abejas.....	61
Tabla 2-14: Resultado de las variables para la categoría destino ambiental.....	61
Tabla 2-14: (Continuación).....	62
Tabla 2-15: Valoración destino ambiental	62
Tabla 2-16: Categorización y clasificación de peligrosidad	63
Tabla 3-1: Estadísticas resumen de las propiedades fisicoquímicas del suelo	78
Tabla 3-1: (Continuación).....	79
Tabla 3-2: Concentraciones de metales en suelos	80
Tabla 3-3: Concentraciones de metales en pulpa	81
Tabla 3-4: Factores de transferencia de metales suelo - fruta.....	82
Tabla 3-5: Correlaciones entre variables	83

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Medida	Definición
<i>BCF</i>	Factor de bioconcentración	Kg ⁻¹	
<i>DT50</i>	Vida media	Días	Tiempo requerido de una sustancia para convertir el 50% de ésta en otra(s) sustancia(s)
<i>EC50</i>	Concentración efectiva media	mg/L	La concentración de una sustancia química que puede causar un efecto no letal definido en el 50 por ciento de la población analizada.
<i>Koc/Kofc</i>	Coefficiente de sorción	-	Razón entre la concentración de plaguicida en estado de adsorción (es decir adherido a las partículas de suelo) y la fase de solución (es decir, disuelto en el agua del suelo)
<i>LC50</i>	Concentración letal media	mg/L	Concentración letal requerida para matar al 50% de la población.
<i>LD50</i>	Dosis letal media	mg/L	Dosis requerida para matar el 50% de la población en un periodo de tiempo determinado.
<i>NOEC</i>	Concentración a la cual no se observa efecto	mg/L	La mayor concentración o nivel de una sustancia, encontrada por observación o experimento, que no causa ningún efecto detectable.

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>A</i>	Arena
<i>Agronet</i>	Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario
<i>Ar</i>	Arcilla
<i>Argo</i>	Origen del Agua de Riego
<i>Aso</i>	Asociatividad
<i>At</i>	Tipo de Asistencia Técnica Recibida
<i>Caleq</i>	Calibración de Equipos De Aspersión
<i>Cd</i>	Cadmio
<i>Cdp</i>	Cadmio en Pulpa
<i>Cds</i>	Cadmio en Suelo
<i>CE</i>	Comunidad Europea
<i>Cert</i>	Certificaciones Ambientales o Similares
<i>C_{metal - fruta}</i>	Concentración del metal en fruta
<i>C_{metal - suelo}</i>	Concentración del metal en suelo
<i>Comptox</i>	Comptox Chemicals Dashboard
<i>Cr</i>	Cromo
<i>Crp</i>	Cromo En Pulpa

Abreviatura	Término
<i>Crs</i>	Cromo En Suelo
<i>Cu</i>	Cobre
<i>Cultant</i>	Cultivo Anterior a Gulupa
<i>Cup</i>	Cobre en Pulpa
<i>Cus</i>	Cobre en Suelo
<i>Demun</i>	Distancia a Centros Urbanos o Cabeceras Municipales
<i>Disdren</i>	Distancia al Cuerpo de Agua más Cercano
<i>Ds</i>	Densidad de Siembra
<i>Dvdep</i>	Distancia a Vías Departamentales
<i>Dvsec</i>	Distancia a Vías Secundarias
<i>EPA</i>	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
<i>EU</i>	Unión Europea
<i>F</i>	Fungicida
<i>FAO</i>	Organización de Las Naciones Unidas para La Alimentación y La Agricultura
<i>Form</i>	Nivel de Formación Del Productor
<i>HCIO₄</i>	Ácido Tetraoxoclórico (VII) - Ácido Perclórico
<i>HNO₃</i>	Acido Nítrico
<i>HSDB</i>	Hazardous Substances Data Bank
<i>I</i>	Insecticida
<i>L</i>	Limo
<i>Lit</i>	Litología
<i>LMR</i>	Límite Máximo Residual
<i>Mano</i>	Tipo de mano de obra empleada
<i>MatOrg</i>	Contenido de materia orgánica
<i>MO</i>	Materia Organica
<i>Monit</i>	Monitoreo de plagas y enfermedades
<i>msnm</i>	Metros sobre el nivel del mar
<i>N</i>	Número De Categorías Analizadas
<i>NR</i>	No Reporta
<i>OMS</i>	Organización Mundial de La Salud
<i>PAN</i>	Pesticide Action Network International
<i>Peg</i>	Presencia de otros cultivos
<i>Peraplic</i>	Periodicidad de aplicación
<i>Plant</i>	Número de plantas cultivadas
<i>PPDB</i>	Pesticide Properties Database
<i>Pptn</i>	Precipitación promedio anual
<i>Reg</i>	Subregión
<i>Reg.</i>	Reglamento
<i>Rh</i>	Riesgo Humano
<i>Rimisp</i>	Centro Latinoamericano Para El Desarrollo Rural
<i>Semt</i>	Semitecho
<i>Sistrgo</i>	Sistema de riego
<i>SP1</i>	Sistema Productivo 1
<i>SP2</i>	Sistema Productivo 2
<i>SP3</i>	Sistema Productivo 3
<i>Temp</i>	Temperatura promedio anual
<i>Text</i>	Textura
<i>TF</i>	Factor de Transferencia
<i>TFCd</i>	Factor de Transferencia de Cadmio
<i>TFCr</i>	Factor de Transferencia de Cromo
<i>TFCu</i>	Factor de Transferencia de Cobre
<i>Tipplag</i>	Tipo de plaguicidas empleados
<i>Tipten</i>	Tipo de tenencia
<i>Toxnet</i>	Toxicology Data Network
<i>Vm</i>	Valoración máxima

Abreviatura	Término
<i>Voc</i>	Vocación del duelo

Introducción

La gulupa es una planta perenne tipo enredadera que pertenece a la familia *Pasiflorácea*, género que tiene alrededor de 530 especies (Ocampo, 2013). Es una planta originaria del sur de Brasil, Paraguay y norte de Argentina. Los primeros países en cultivarla con propósitos comerciales fueron Australia y Nueva Zelanda, popularizando su consumo hacia 1950 y expandiendo su cultivo a todos los continentes excepto Europa (Morton, 1987).

Cuenta con un sistema radicular fasciculado, fibroso y ramificado por un grupo de raíces secundarias poco profundas (40-60 cm), las cuales se originan de una raíz primaria de escaso crecimiento (Ocampo & Morales, 2012). Su fruto es morado en forma de ovoide, con alto contenido en antioxidantes, ácido ascórbico y fósforo (Medina *et al.*, 2017; Orjuela, Pérez, Flórez, Hernández, & Melgarejo, 2011; Septiembre, Stanislas, Douraguia, & Gonthier, 2016). Su consume en fresco o para la elaboración de jugos y néctares.

En Colombia los cultivos crecen en un rango altitudinal entre los 1.400 a 2.500 msnm, siendo el rango óptimo entre 1.800 y 2.200 msnm (Angulo, 2009). En valores inferiores a los 900 msnm, se ha observado que los cultivos presentan una menor tasa de crecimiento y son más propensos a plagas y enfermedades. Por el contrario, en altitudes superiores a los 2.500 msnm disminuye la incidencia de problemas fitosanitarios y el tiempo de cosecha (Guerrero, Potosí, Melgarejo, & Hoyos, 2012).

En cuanto a las condiciones climáticas óptimas para su desarrollo, la temperatura ideal se sitúa de los 15 a 20°C (Jiménez, Carranza, & Rodríguez, 2009). Entre el 60 al 70% de humedad relativa, con precipitaciones de 2.000 a 2.500 mm anuales distribuidos de manera

homogénea. Su crecimiento mejora en zonas con vientos moderados y libres de heladas (Angulo, 2009).

En Colombia aún no existen reportes de cultivares mejorados, por lo cual, los agricultores seleccionan las semillas de los mejores frutos de cada cosecha o de plántulas provenientes de viveros comerciales sin garantía de calidad genética. (Ocampo & Urrea, 2012). La propagación se realiza en forma vegetativa por estacas, injertos y cultivo de meristemos, o in vitro, siendo la forma sexual o por semilla el proceso idóneo (Angulo, 2009).

Para su cultivo se emplean sistemas de tutorado con espaldera sencilla, doble o emparrados, en semitecho. Las distancias de siembra recomendadas varían dependiendo del sistema de tutorado de 2.5 a 7.0 metros entre surcos y de 5 a 7 metros entre plantas (Miranda & Carranza, 2010; Ocampo, Marin, Posada, López, & Solano, 2012). Se recomiendan suelos de textura liviana -franco arenosos o franco arcillosos, enriquecidos con materia orgánica ($\geq 5\%$) y de pendientes moderadas (Ocampo & Posada, 2012; Perez Martínez *et al.*, 2012).

Los requerimientos de fertilización del cultivo están sujetos a las condiciones del suelo, sin embargo, Angulo (2009), sugiere que ante la ausencia de estos y con el fin de suplir las necesidades nutricionales se realicen cuatro aplicaciones al año de un fertilizante compuesto, enriquecido con fosfato y gallinaza y dos veces al año se recomienda una aplicación de elementos menores. Por otra parte, Ocampo, Marin, López, & Casas (2012) sugieren una fertilización edáfica entre 200 y 300 g/planta cada cuatro o cinco semanas en dosis y mezclas moderadas de acuerdo a las necesidades de la etapa de cultivo.

Entre las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo se encuentran: “Roña” (*Cladosporium cladosporioides*); secadera (*Nectria haematococca* - *Fusarium solani*); bacteriosis o mancha de aceite (*Xanthomonas axonopodis*); antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*); virus del mosaico de la soja (Soybean mosaic potyvirus, SMV); virus del mosaico del pepino (*Cucumber mosaic cucumovirus*, CMV) y nematosis (*Meloidogyne spp.*, *Pratylenchus sp.*, *Helicotylenchus sp.*, y otros); Trips (*Frankliniella sp.*); mosca del ovario

(*Dasiops spp*) (Angulo, 2009; Ramírez, Bonilla, Ocampo, & Wyckhuys, 2012; Villegas, Ocampo, & Castillo, 2012).

Para el control de plagas y enfermedades se ha identificado la implementación de prácticas culturales, controles químicos, etológicos y biológicos. Respecto al control químico, los plaguicidas de mayor uso son: neonicotinoides, triazoles, imidazoles, ftalimidas, Dicarboximidias, tiocarbamatos, carbamatos, benzimidazoles, anilinopyrimidinas, organofosforados, organofosfatos, sulfonas, piretroides, benzonitrilos, anilinopirimidinas, productos a base de cobre y antibióticos como la Kasugamicina (Angulo, 2009; Bastidas, Guerrero, & Wyckhuys, 2013; Villegas *et al.*, 2012).

Debido a que la gulupa es una planta alógama se requiere el uso de polinizadores naturales como los abejorros negros y las abejas melíferas (Ocampo, Melo, Rendón, Arias, & Marín, 2012). Por este motivo, el uso inadecuado de insecticidas de alta toxicidad y la incorrecta implementación de buenas prácticas agrícolas afectan la presencia de estas especies en el cultivo; y en consecuencia, los procesos de polinización deben ser realizados de forma manual, aumentando los costos de producción y afectando la calidad del fruto (Ángel-Coca, Nates-Parra, Ospina-Torres, Ortiz, & Amaya-Márquez, 2011).

En Colombia, la gulupa se ha posicionado como una de las frutas de mayor demanda a nivel internacional, principalmente para el mercado europeo (Procolombia, 2016). Sirva de ejemplo que durante 2016 fueron exportadas un total de 5.447 toneladas, de las cuales 5.397 toneladas fueron exportadas hacia Europa (Agronet, 2018) generando unos ingresos de 25 millones de dólares en la balanza comercial (Agronet, 2018) y convirtiéndose en una de las especies incluidas como apuesta exportadora de Colombia para el año 2019 (Franco, 2013). De hecho, esta situación se ha reflejado en la expansión de hectáreas destinadas a su cultivo.

Entre el año 2007 y el 2016 el área sembrada de gulupa en el país se triplicó y la producción pasó de 5.000 a 16.000 toneladas (Agronet, 2018). Consecuentemente, este hecho incentivó el desarrollo de investigaciones sobre requerimientos agronómicos y generalidades del cultivo (Angulo, 2009; Miranda *et al.*, 2009; Ocampo & Wyckhuys, 2012); estudios en

biología y ecofisiología de la planta (Ángel-Coca *et al.*, 2011; Melgarejo, 2012); prevención de plagas y enfermedades (ICA, 2011; K A G Wyckhuys *et al.*, 2012; Kris A.G. Wyckhuys, Lopez, Rojas, & Ocampo, 2011); procesos tras la cosecha (Medina *et al.*, 2017; Melgarejo & Hernández, 2011); residualidad y gestión de plaguicidas (Bastidas *et al.*, 2013; Cardona & Pino, 2016), entre otros.

En referencia a la exportación, los altos niveles de residualidad en los productos ha sido una de las principales limitaciones de Colombia (Norton, 2017). Ante esta problemática, la gulupa no es una excepción, situación que se ha asociado a la escasa implementación de buenas prácticas agrícolas y al uso intensivo de plaguicidas (Bastidas *et al.*, 2013). Lo cual ha generado sanciones económicas, legales y de una imagen poco favorable para todos los eslabones de la cadena productiva.

Las concentraciones de metales en el fruto también son un limitante para la exportación de frutas, debido a su impacto sobre la salud (Londoño Franco, Londoño Muñoz, & Muñoz Garcia, 2016). Estos elementos se encuentran regulados por entidades internacionales como: el Codex Alimentarium (1995) y la EU (2006). Dado que algunos fertilizantes inorgánicos y plaguicidas presentan altas concentraciones de estas sustancias, la implementación de buenas practicas agrícolas y la concientización a los productores en el uso y disposición de agroquímicos resulta estratégico para el cumplimiento de dichas normativas (Norton, 2017).

Dada la importancia que tiene el cultivo de gulupa en el renglón productivo de Colombia, los riesgos e impactos de los plaguicidas y metales en el ambiente y sobre la salud de las personas, esta investigación tiene como objetivo evaluar la residualidad de plaguicidas y el contenido de metales en suelo y frutos de gulupa, a partir de la caracterización de los sistemas productivos en las regiones del Oriente y Suroeste de Antioquia, en las cuales durante el 2016 se concentró el 99% de la producción del Departamento (Agronet, 2018).

Esta investigación se desarrolla en tres capítulos y un anexo con conclusiones generales del estudio. En el capítulo 1, se presenta la caracterización de los sistemas productivos de los municipios de mayor producción de las subregiones del Oriente y Suroeste de Antioquia. Se

emplea una metodología adaptada de la RIMISP de cuatro etapas. Se utilizan 33 descriptores agrupados en tres componentes (ambiental, sociocultural y agronómico). El análisis estadístico de la información se realiza empleando un análisis factorial de datos mixtos (FAMD) que permite el uso de variables cualitativas y cuantitativas crudas para el agrupamiento de los productores.

En el capítulo 2, se analizan los límites máximos residuales de plaguicidas en fruta y se desarrolla un método para la evaluación del nivel de peligrosidad de los plaguicidas identificados, el cual considera el riesgo crónico y agudo sobre la salud humana, el nivel de ecotoxicidad y el destino ambiental de estas sustancias. Para ello se toma una submuestra de los productores caracterizados en el capítulo 1. A partir de una Anova se identifican las diferencias significativas entre los sistemas productivos estudiados. Como resultado, se encuentran diferencias respecto a la frecuencia, niveles de residualidad y peligrosidad de los plaguicidas detectados.

En el capítulo 3, se evalúa el comportamiento espacial de los metales en suelo y fruta, tomando en cuenta el material litológico y las propiedades fisicoquímicas del suelo. Para ello se ha tomado una submuestra de los productores caracterizados en el capítulo 1, considerando el tipo de sistemas productivo y el material litológico sobre el cual se ubicó el cultivo. A partir de un análisis de varianza se identificó las relaciones entre el contenido Cd, Cr y Cu con el material litológico y el sistema productivo; así como las relaciones de transferencia de los metales entre el suelo y la pulpa y las propiedades fisicoquímicas del suelo involucradas en la transferencia.

1. Capítulo 1: Caracterización de los sistemas productivos de gulupa

Resumen

Los sistemas productivos se definen como un conglomerado de unidades productivas individuales que en su conjunto presentan una base de recursos, prácticas y limitaciones similares. Se denominan sistemas complejos debido a las interacciones que se dan entre los componentes bióticos, abióticos, antrópicos o socioeconómicos que los conforman. Estas interacciones establecen las bases para su clasificación y proporcionan herramientas para identificar las necesidades de una región o de una cadena productiva. En este capítulo se caracterizaron los sistemas productivos de gulupa de las subregiones del Oriente y Suroeste del departamento de Antioquia, en donde se concentró en el 2016 el 99% de la producción (MinAgricultura, 2018). Se empleó una metodología adaptada en cuatro etapas de la propuesta por la RIMISP (Escobar & Berdegúe, 1990). Se emplearon 32 descriptores agrupados en tres componentes: ambiental, sociocultural y agrícola. Como medios de captura de información se emplearon encuestas semiestructuradas, información cartográfica y análisis de laboratorio. El área de estudio fueron los municipios de Concepción, San Vicente, El Peñol, Marinilla, Jericó, Urrao y Andes. Para el análisis de la información se empleó un análisis factorial de datos mixtos. Como resultado se identificaron tres tipos de sistemas productivos: 1. Sistemas de tipo familiar y convencional localizados en la subregión del Oriente, 2. Sistemas tecnificados localizados en la subregión del Suroeste y 3. Sistemas en transición localizados en ambas regiones. El uso intensivo de agroquímicos se asoció a los sistemas productivos convencionales, los cuales reportaron una escasa implementación

de buenas practicas agrícolas, asistencia técnica proporcionada por casas comerciales de agroquímicos y menores niveles de formación académica.

Palabras clave: agroquímicos, gulupa, sistemas productivos, plaguicidas.

1.1 Introducción

Un sistema agropecuario se define como el conglomerado de unidades productivas individuales que en conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, formas de subsistencia y limitaciones similares (FAO, 2001). Son definidos como sistemas complejos porque engloban un conjunto de componentes dinámicos – bióticos, abióticos, antrópicos o socioeconómicos – que interactúan entre sí e influyen en la sostenibilidad de la producción (Cleves & Jarma, 2014; Quinteros & Sánchez, 2017; Walters *et al.*, 2016).

Las interacciones entre los componentes dinámicos establecen las bases para la clasificación de los sistemas productivos (Torres, Gallego, & Zakzuk, 1996). Esta tipos de clasificaciones ha permitido desarrollar estudios que permitan identificar el desarrollo agrícola de una región, el diseño de políticas agropecuarias o la puesta en marcha de proyectos de investigación (Escobar & Berdegué, 1990).

Actualmente, no existen criterios estandarizados para clasificar los sistemas productivos debido a la complejidad, dinamismo y heterogeneidad que presentan. Algunos autores (Marique & Prager, 2001) al establecer como límite la unidad productiva – finca – han definido los conceptos de estructura y función como criterios de clasificación y el resultado de esta combinación la han denominado tipificación del sistema.

Existen diferentes metodologías para la tipificación de los sistemas productivos, una de ellas es la propuesta por el Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural – RIMISP – sintetizada por Escobar & Berdegué (1990) en seis etapas: 1. Determinación de un marco teórico, 2. Selección de variables del sistema finca, 3. Aplicación de encuestas u otros medios para recolección de datos, 4. Análisis estadístico multivariado, 5. Validación de tipología y 6. Clasificación de nuevas fincas. Este método con algunas variantes se ha empleado en

estudios recientes como los de Cleves & Jarma (2014) y Robaina, Vásquez, Restrepo, & Márquez (2017).

La tipificación de los sistemas productivos está definida por descriptores, es decir, variables no estandarizadas que obedecen al dinamismo de los sistemas. Algunos de los más empleados son: tamaño de la finca, nivel de capitalización, mano de obra, nivel de intensificación tecnológica, tipo de tenencia de la tierra, calidad del suelo, articulación con los mercados, localización geográfica y agroecológica (Escobar & Berdegué, 1990). Sin embargo, para autores como Saravia Matus, Cimpoeis, & Ronzon (2013), el tamaño de la finca y el tipo de mano de obra (familiar o contratada) son los parámetros de clasificación claves.

La selección de descriptores se realiza a partir del objeto de interés, ejemplo de ello, es el estudio “Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza” de la FAO (2001), que buscaba comparar sistemas productivos de todos los continentes con unos parámetros de medición homogéneos. En este se identificaron como factores de clasificación claves: los recursos naturales disponibles, el patrón predominante de actividades agrícolas y la intensidad de las actividades de producción de los objetos de estudio.

En Colombia se han llevado a cabo diferentes investigaciones para tipificar sistemas productivos. Es el caso, de los cítricos en el Meta (Cleves & Jarma, 2014), de tabaco en Santander (Jiménez C., Aranda C., & Darghan, 2017), de café en Antioquia (Machado Vargas, Nicholls, Márquez, & Turbay, 2015; Robaina *et al.*, 2017) y de pasifloras en Cundinamarca (Miranda & Carranza, 2010). En estas investigaciones los principales descriptores que permitieron la tipificación se asociaron a las prácticas agronómicas, las características generales y condiciones agroclimáticas de la unidad productiva.

Los estudios de tipificación realizados en el país no han profundizado en temas relacionados con la inocuidad del producto o el uso intensivo de agroquímicos. Investigaciones sobre este tema permitirían identificar las causas del incumplimiento de las normativas de inocuidad de los productos. Lo cual podría permitir el diseño de estrategias de sostenibilidad y políticas

públicas, así como priorizar los focos de inversión para solventar las problemáticas agropecuarias.

En la gulupa se han detectado niveles de residualidad que sobrepasan los límites máximos permitidos (Bastidas et al., 2013), pero no se han identificado las causas específicas de esta situación. Por lo general, el nivel de formación del productor (Marique & Prager, 2001), el tipo de asistencia técnica recibida (Jallow, Awadh, Albaho, Devi, & Thomas, 2017) o la implementación prácticas de manejo fitosanitarios, se relacionan con esta situación (Kris A.G. Wyckhuys *et al.*, 2011).

El objetivo de este capítulo ha sido identificar los sistemas productivos de gulupa del Departamento de Antioquia, en donde se concentró el 53% de la producción nacional (MinAgricultura, 2018). Las zonas de estudio son las subregiones del Oriente y Suroeste, en las cuales, durante el 2016 se generó el 99% de la producción del Departamento (MinAgricultura, 2018). Se han empleado 32 descriptores agrupados en tres componentes: ambiental sociocultural y agrícola.

1.2 Metodología

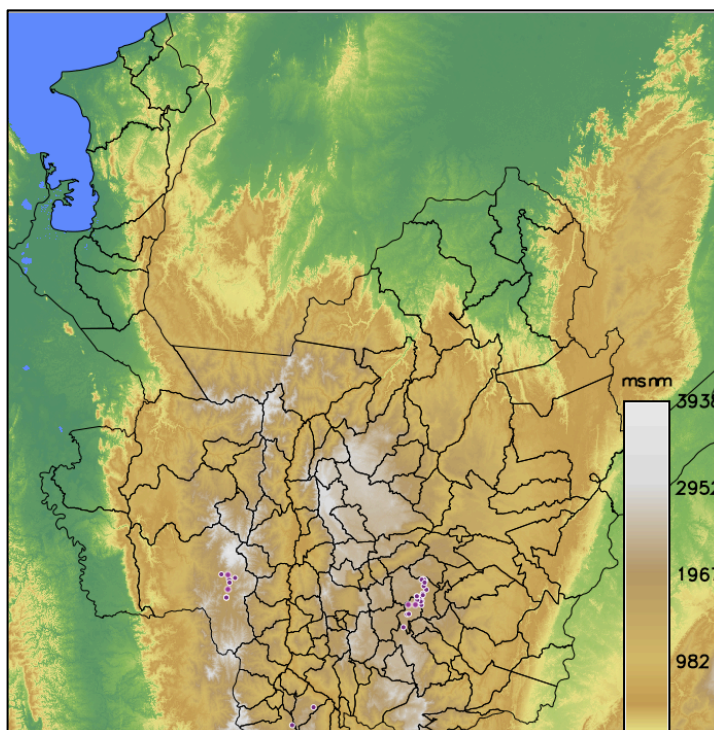
Se empleó una metodología adaptada de la propuesta por la RIMISP (Escobar & Berdegúe, 1990) en cuatro etapas: (1) selección de área de estudio y variables, (2) captura de información, (3) análisis estadístico y (4) clasificación.

1.2.1 Selección del área de estudio y variables a nivel finca

El trabajo de campo se llevó a cabo durante los meses de enero a junio del 2016 y septiembre del 2018 en las subregiones del Oriente y Suroeste de Antioquia. Se seleccionaron 35 productores (Figura 1-1) de los municipios de Concepción (1.650 msnm), San Vicente (2.201 msnm), El Peñol (2.100 msnm), Marinilla (2.120 msnm), Jericó (1.910 msnm), Urrao (1.830 msnm) y Andes (1.360 msnm).

Los productores fueron elegidos de manera aleatoria de bases de datos suministradas por la Secretaria de Agricultura del Departamento de Antioquia y las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA).

Figura 1-1: Distribución espacial de los cultivos caracterizados



Considerando los requerimientos agronómicos del cultivo de gulupa se han seleccionado 32 descriptores agrupados en tres componentes: ambiental, sociocultural y agronómico (Tabla 1-1). En el componente ambiental se caracterizaron las condiciones edafoclimáticas y la disponibilidad de recursos hídricos, en el sociocultural se identificaron las relaciones del productor con su entorno y en el agronómico la gestión del cultivo orientado hacia el uso y gestión de plaguicidas.

Tabla 1-1: Descriptores agrupados por componentes

Componente ambiental	
Subcomponente	Descriptores
Climático	Altitud (msnm) Temperatura promedio anual (Temp) Precipitación promedio anual (Pptn)

Componente ambiental	
Subcomponente	Descriptorios
Suelos	Pendiente Litología (Lit) Vocación del suelo (Voc) pH Textura (Text) Contenido de materia orgánica (MatOrg)
Fuentes de agua	Distancia al cuerpo de agua más cercano (Distren)
Localización	Subregión (Reg)
Componente sociocultural	
Subcomponente	Descriptorios
Características del productor y el predio	Tipo de tenencia (tipten): propia, alquiler, comodato, etc. Presencia de otros cultivos (Peg) Nivel de formación del productor (Form) Distancia a vías secundarias (Dvsec) Distancia a vías departamentales (Dvdep) Distancia a centros urbanos o cabeceras municipales (Dcmun)
Características del cultivo	Tipo de mano de obra empleada (Mano) Asociatividad (Aso) Tipo de asistencia técnica recibida (AT) Dinámica comercial de la fruta
Componente agronómico	
Subcomponente	Descriptorios
Características del cultivo	Número de plantas cultivadas (Plant) Densidad de siembra (Ds) Semitecho (Semt) Sistema de riego (Sistrgo) Origen del agua de riego (Argo) Monitoreo de plagas y enfermedades (Monit) Cultivo anterior a gulupa (Cultant)
Manejo y uso plaguicidas	Calibración de equipos de aspersión (Caleq) Tipo de plaguicidas empleados (Tipplag): orgánicos, síntesis química, etc. Periodicidad de aplicación de plaguicidas (Peraplic) Certificaciones ambientales o similares (Cert)

1.2.2 Captura de información

Los productores fueron visitados directamente en el cultivo, se le realizó una encuesta y entrevista semiestructurada orientada a la captura de información de los componentes socioculturales y agronómicos. Para determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo (pH, textura y contenido de materia orgánica) se tomaron muestras compuestas de suelo siguiendo el protocolo del IGAC (s.f.), las cuales fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

El cultivo se georreferenció en su perímetro para determinar su ubicación y altitud. Las coordenadas geográficas fueron extrapoladas usando el software GRAS GISS. Se empleó un

DEM con resolución de 12 metros para rectificar la altitud identificada en el GPS, calcular la pendiente, formación de cuerpos de agua y su distancia entre estos y los cultivos. Con cartografía base del departamento de Antioquia (escala: 1:25.000) se determinó litología y vocación del suelo, se calculó la distancia a vías departamentales, secundarias y centros urbanos. El promedio temperatura y precipitación anual se identificó con información de las bases de datos de WorldClim (<http://www.worldclim.org>).

1.2.3 Análisis estadístico y validación de los grupos

Se consolidó una base de datos en Excel con la información geoespacial de los cultivos visitados y los resultados de las encuestas y entrevistas semiestructuradas. Como las variables a analizar fueron mixtas (cualitativas y cuantitativas), con el software R versión 1.1.463 (R Team) se realizó un análisis factorial de datos mixtos (FAMD) (Pagès J, 2004), usando los paquetes: FactoMineR y factoextra. El cual permitió la agrupación a partir de las variables comunes y calcular el grado de relación entre individuos (Kassambara, 2017).

El análisis factorial de datos mixtos por etapas, primero se analizaron las variables de cada componente (ambiental, socioeconómico y agronómico) para identificar las de mayor contribución en la formación de grupos. Posteriormente, con las variables identificadas se realizó un nuevo análisis FAMD el cual permitió agrupar a los individuos. Esta clasificación por etapas se realizó porque este tipo de análisis pierde robustez al considerar más de 25 variables (Pagès J, 2004).

1.2.4 Perfil de los cultivos caracterizados

Tal y como se indica en la Figura 1-2, el 74.3% de los productores encuestados se hallaron en la subregión del Oriente, el 25.7% en el Suroeste (Figura 1-3 cultivos visitados). En los cultivos visitados, con respecto a la vocación del suelo el 62.9% son de tipo forestal, el 8.6% agroforestal, el 17.1% agrícola y el 11.4% de conservación (en el anexo 1, se encuentran el resumen estadístico de las variables cualitativas analizadas).

En referencia al material litológico de los suelos seleccionados en este estudio, el 8.6% son de origen metamórfico, 17.1% de depósitos aluviales y el 74.3% ígneos (Figura 1-2). El

48.6% de las muestras de suelo presentaron texturas franco arenosas (FA), el 17.1% francas (F), el 20% franco arcillo arenosas (FArA) y el 14.3% franco arcillosas (FAr) (1-1).

Figura 1-2: Estadísticas del componente ambiental

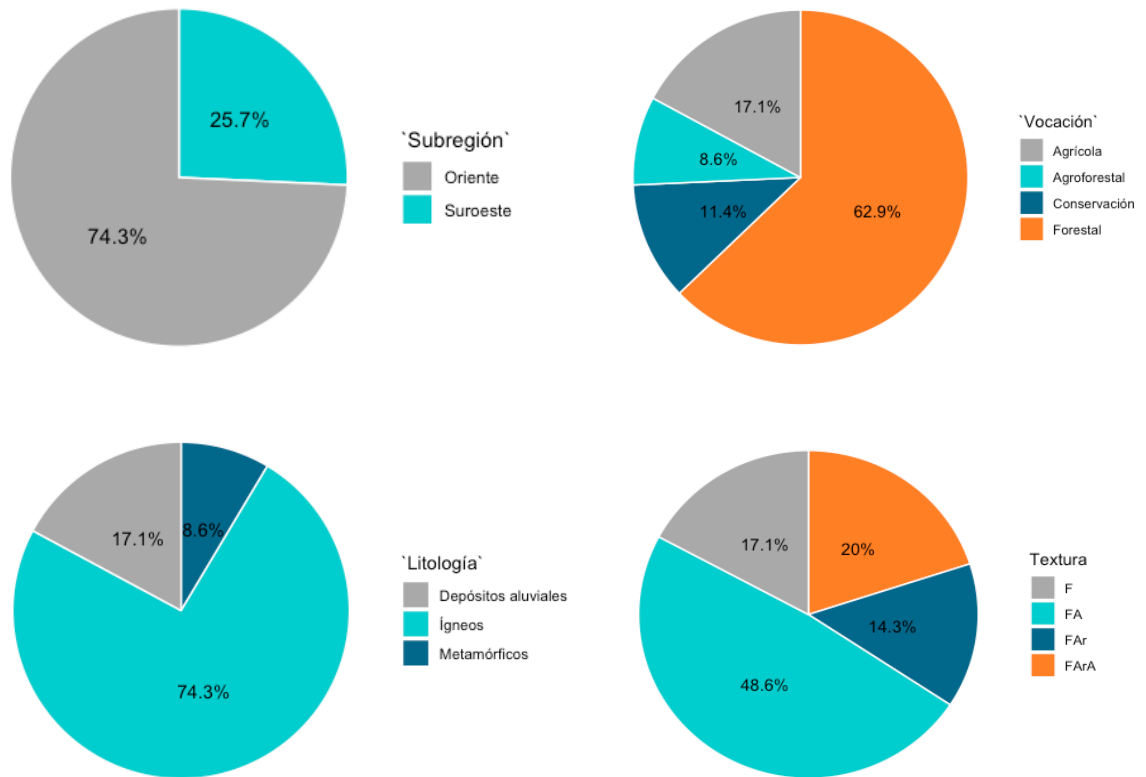


Figura 1-3: Fotografías de cultivos visitados



Municipio del Peñol



San Vicente

Figura 1-4: (Continuación)



Municipio de Marinilla



Municipio de Urrao

Fuente: autor



Municipio de Andes

En cuanto a las características socioculturales de los productores encuestados (Figura 1-5), el 77% o bien eran propietarios directos de la tierra o bien esta era de tipo familiar. El porcentaje restante pagaba renta por el uso de esta. Respecto a la mano de obra empleada en el cultivo, el 69% de los productores trabajaba directamente en este o usaba mano de obra familiar; el porcentaje restante empleaba mano de obra contratada. En referencia al uso del

suelo, previamente al cultivo de gulupa actual, el 63% producía tomate, el 14% ganadería, el 11% tenía el terreno en barbecho, y el porcentaje restante cultivaba frutas tipo exportación diferentes a la gulupa.

Con respecto al nivel de formación académica, el 77.1% de los productores contaba con un nivel de formación básico (primaria – secundaria) y el 22.9% de tipo profesional (técnico, tecnológico, universitario o posgradual) (Figura 1-2).

El 80% de los productores encuestados pertenecían a una asociación y comercializaban la fruta a través de ésta y el porcentaje restante comercializaba la fruta directamente con las empresas exportadoras. El 77% recibía asistencia técnica por parte de la asociación, proporcionada por casas comerciales que contactaban al líder de la asociación o por entidades estatales como el SENA. El 23% restante contrataba la asistencia técnica de un agrónomo independiente (Figura 1-5).

Figura 1-5: Estadísticas del componente sociocultural

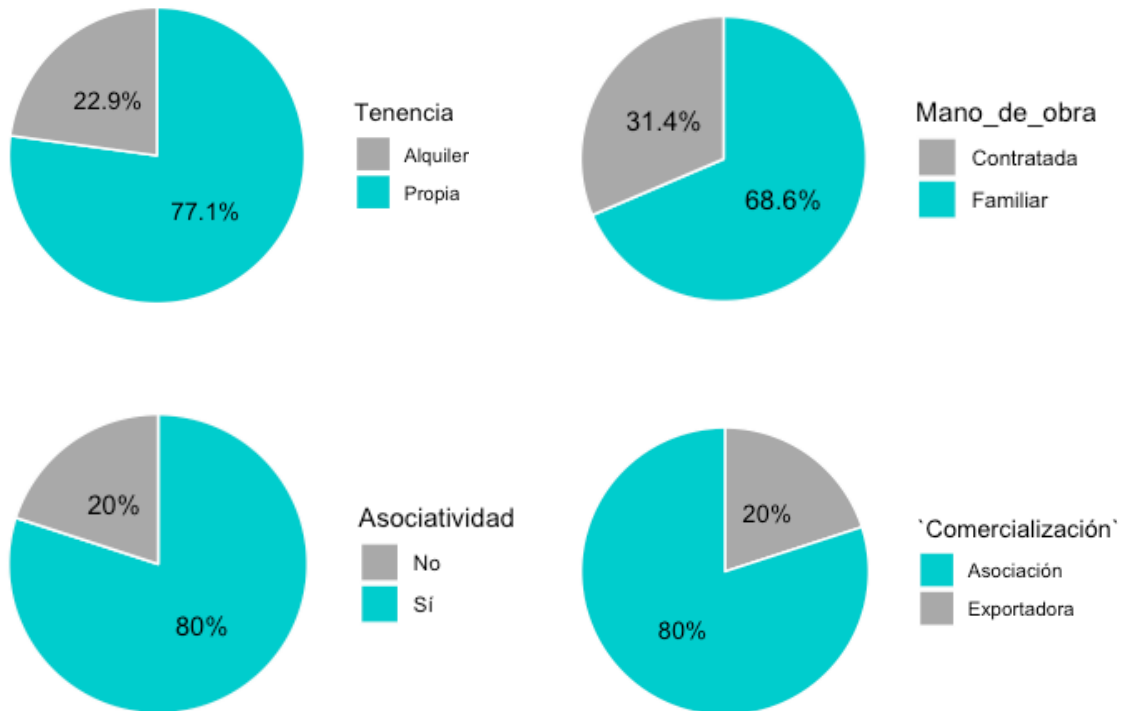


Figura 1-6: (Continuación)



Respecto a las características agronómicas, el 94% de los cultivos contaban con semitecho. En lo que concierne al agua de riego, el 43% se abastecía del acueducto veredal, el 40% de afloramientos naturales y el porcentaje restante de agua lluvia. El 31% de los productores tenía sistema de riego por goteo, el porcentaje restante no contaba con uno.

En cuanto a las buenas practicas agrícolas y el manejo fitosanitario del cultivo, solo el 14% de los productores reportó tener un programa de manejo integrado de plagas. Únicamente el 23% monitoreaba el cultivo y tan solo el 20% calibraba sus equipos de aplicación. En consideración al uso de plaguicidas, el 71% usaba productos orgánicos y de síntesis química, el porcentaje restante productos exclusivamente de síntesis química; el 69% aplicaba agroquímicos de forma periódica sin previa evaluación del cultivo, con una periodicidad de cuatro o más veces al mes. El 6% tres veces al mes, el 11% dos veces al mes y el 14% entre cero y una vez al mes (Figura 1-5).

Figura 1-7: Estadísticas del componente agronómico

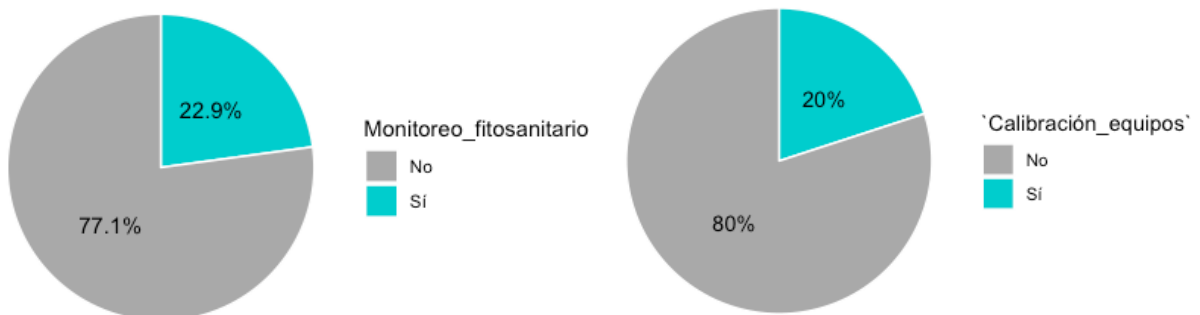
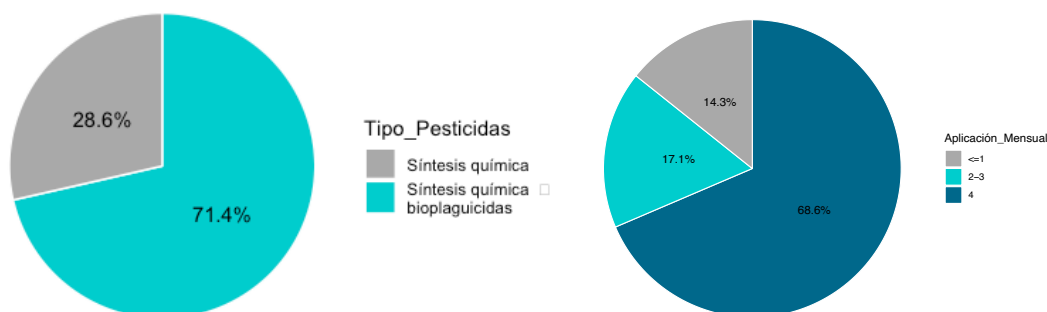


Figura 1-8: (Continuación)



Respecto a las variables cuantitativas de los cultivos analizados, estas se sintetizan en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Resultados de las variables cuantitativas analizadas

Componente	Tipificador	Mínimo	Promedio	Máximo	SD	CV
Ambiental	Temperatura (°C)	16	17.29	18	1	0.03
	Precipitación (mm año)	2.196	2.470	2.904	167	0.07
	Altitud (msnm)	1.856	2.066	2.261	105	0.05
	Pendiente (°)	1	7	23	5	0.75
	pH	4.6	5.01	6.5	2	0.49
	Mat. Orgánica (%)	5.3	13.06	25.20	7	0.59
	Distancia a drenajes (m)	6	252.6	478	147	0.58
Sociocultural	Distancia centros urbanos (Km)	1	5.3	10.4	2	0.44
	Distancia vías departamentales (Km)	0.8	3.9	8.2	2	0.57
	Distancia a vías secundarias (Km)	<1	1	4	1	0.82
Agronómico	Número de plantas	50	1.785	11.000	2.875	1.61
	Distancia entre surcos (m)	1	2.1	5	1	0.48
	Distancia entre plantas (m)	1	3.7	7	2	0.46
	Densidad de siembra (Número de plantas/m ²)	0.08	0.19	0.48	0.11	0.58

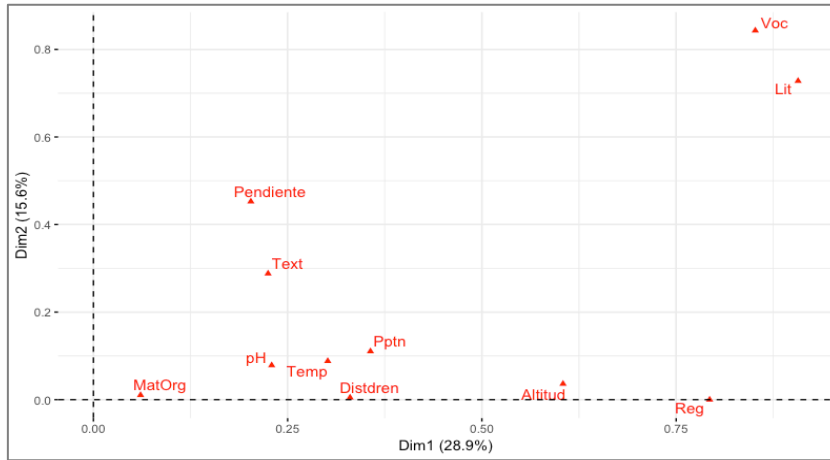
1.2.5 Análisis estadístico por componentes

- **Componente ambiental**

La variabilidad del componente ambiental fue explicada en un 74% por cinco dimensiones. Los descriptores: litología, vocación, región y altitud, explican el 65% de la variabilidad de

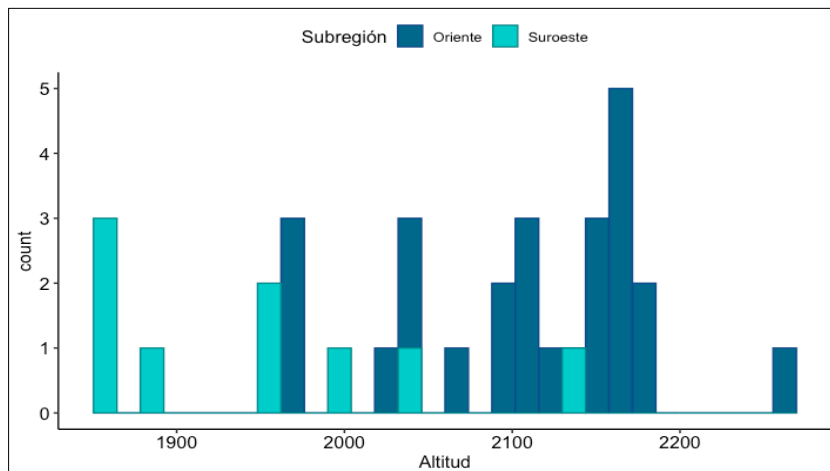
la primera dimensión. Así mismo, los descriptores litología y vocación, explican el 70% de la segunda dimensión (Figura 1-6).

Figura 1-9: Descriptores del componente ambiental.



Considerando las variables de mayor contribución, lo individuos se agruparon por subregión. Los cultivos caracterizados del suroeste se encontraban en un rango altitudinal entre 1.850 y 2.150 msnm (Figura 1-9); sobre todos los tipos de materiales litológicos y de vocación identificados. Por otra parte, los cultivos de la subregión del oriente se ubicaron en un rango altitudinal entre 1.950 y 2.260 msnm (Figura 1-9), en suelos formados a partir de materiales ígneos, metamórficos y depósitos aluviales, de vocación agroforestal, forestal y de conservación.

Figura 1-10: Histograma de altitud por subregión

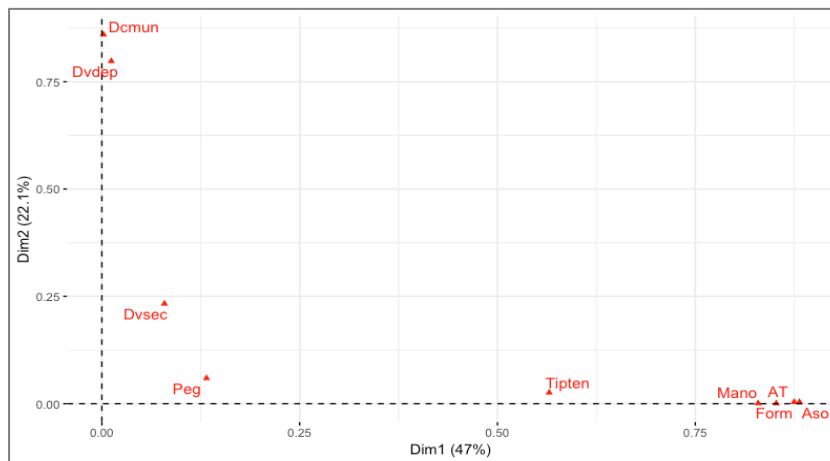


▪ **Componente sociocultural**

Cabe destacar que la dinámica comercial de todos productores que reportaron estar asociados, siempre se realizaba a través de la asociación. En cuanto a aquellos que no estaban asociados comercializaban directamente con la exportadora. En consecuencia, para evitar la redundancia entre variables, se omitió el descriptor “dinámica comercial” del análisis FAMD, puesto que este se encontraba implícito en la variable “asociatividad”.

Según el análisis de los datos socioculturales el 95.5% de la variabilidad es explicada por cinco dimensiones. En la primera dimensión, los descriptores: asociación, asistencia técnica, formación y mano de obra contribuyeron en un 81% en la variabilidad de esta dimensión (Figura 1-8). Las dos primeras variables presentaron una fuerte correlación puesto que las asociaciones brindan asesoría técnica a sus asociados. Sin embargo, ninguna de las dos variables se encuentra implícita en la otra, dado que algunos productores asociados contratan de manera independiente la asistencia técnica.

Figura 1-11: Descriptores del componente sociocultural.



La segunda dimensión es explicada en un 80.5% por los descriptores: distancia a las cabeceras municipales y a vías departamentales (Figura 1-8). Se evidenció una relación entre estas variables porque las vías departamentales pasan cerca de centros urbanos o cabeceras municipales.

La agrupación de los individuos en este componente se dio en función de las variables: asociación y mano de obra. Se identificó un grupo de productores asociados, ubicados en los municipios de la subregión del Oriente, cuya asistencia técnica era proporcionada por la asociación. Empleaban mano de obra de tipo familiar y contaban con una formación académica básica (primaria o secundaria). En este grupo se identificaron los cultivos más alejados a las vías departamentales (0.7 a 8.2 Km) y a centros urbanos (1.3 a 10.4 Km).

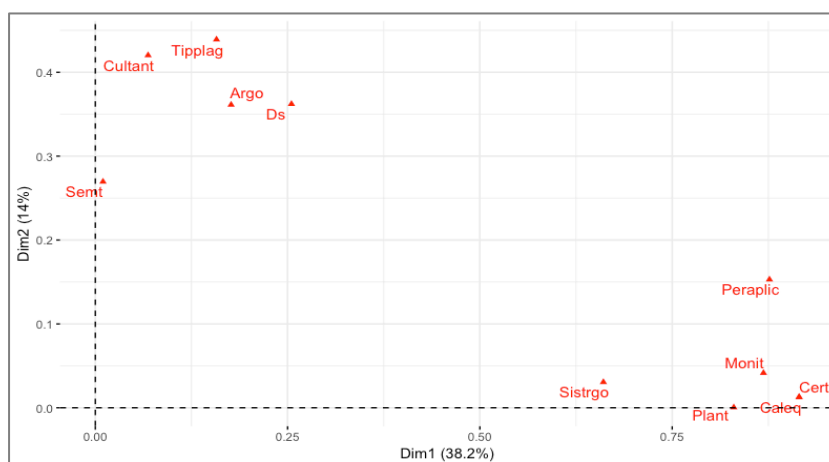
El segundo grupo, constituido por productores no asociados de la subregión del Suroeste, que empleaban mano de obra contratada y asistencia técnica independiente. Paralelamente presentaron una formación profesional (técnica, tecnológica o Universitaria) y sus cultivos se ubicaban a distancias entre 0.1 y 7 Km de las vías departamentales o cabeceras urbanas.

El tercer grupo, son productores situados en ambas subregiones, en los municipios de Urrao y El Peñol. Presentan características del grupo del suroeste, no necesariamente se encuentran asociados y empleaban mano de obra familiar. Sus cultivos se localizaron entre 5 y 6 Km a centros urbanos y de 1 a 5 Km a vías departamentales.

▪ **Componente agronómico**

La variabilidad del componente agronómico es explicada en un 77% por cinco dimensiones. Los descriptores calibración de equipos, certificación, periodicidad de aplicación, monitoreo, número de plantas y sistema de riego contribuyeron en un 88.4% en la variabilidad de la primera dimensión (Figura 1-9). La segunda dimensión ha sido explicada en un 41% por las variables tipo de plaguicidas y cultivo anterior.

El primer grupo de productores de la subregión del Oriente, presentaron una periodicidad de aplicación de cuatro o más veces por mes de productos de síntesis química y bioplaguicidas. Sin embargo, dentro de este grupo se identificaron productores que usaron exclusivamente productos de síntesis química. Ninguno cuenta con algún tipo de certificación ambiental o fitosanitaria. No realizan actividades de monitoreo de plagas y enfermedades, ni calibran sus equipos. En general, los cultivos oscilan entre 50 y 1.100 plantas cultivadas y no cuentan con sistema de riego.

Figura 1-12: Descriptores del componente agronómico.

El segundo grupo de productores de la subregión del Suroeste, presentaron una periodicidad de aplicación de cero a una vez al mes de productos de síntesis química y bioplaguicidas. Reportaron realizar actividades de monitoreo de plagas y enfermedades y calibración de los equipos de aspersión. En este caso, los cultivos estaban constituidos por más de 6.000 plantas, con sistema de riego y certificaciones ambientales y fitosanitarias.

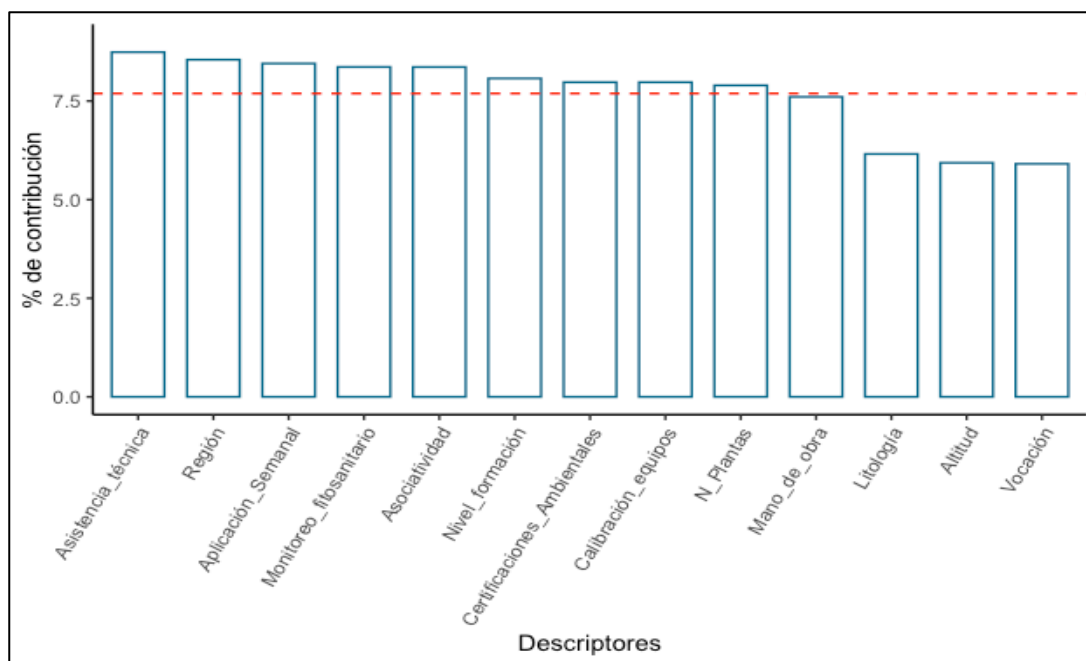
Los productores del tercer grupo pertenecían a los municipios de Urrao y El Peñol, reportaron una periodicidad de aplicación de dos a tres veces al mes de productos de síntesis química y bioplaguicidas, excepto por un productor que usaba exclusivamente productos de síntesis química. Los cultivos oscilaban entre 1.000 a 2.000 plantas, disponían de sistema de riego y una o más características del segundo grupo.

Se evidenció que los productores que tenían implementadas BPA -monitoreo y calibración de equipos- contaban con certificaciones ambientales y fitosanitarias. Simultáneamente, las certificaciones se presentaron solo en cultivos con más de 1.000 plantas.

1.2.6 Tendencias de agrupamiento

Se realizó un análisis FAMD con las variables de mayor contribución de cada componente¹ para la primera dimensión. Se excluyeron los descriptores sistema de riego y cultivo anterior, debido a la dispersión que generaron en la conformación de grupos. De las variables seleccionadas, el 38% corresponde al componente agronómico, el 31% al sociocultural y 31% al ambiental. Las primeras cinco dimensiones explican el 88% de la varianza acumulada de los datos, el 55.4% de esta variabilidad es explicada por la primera dimensión, siendo las variables del componente ambiental las de menor contribución (Figura 1-10).

Figura 1-13: Descriptores de mayor contribución para el agrupamiento

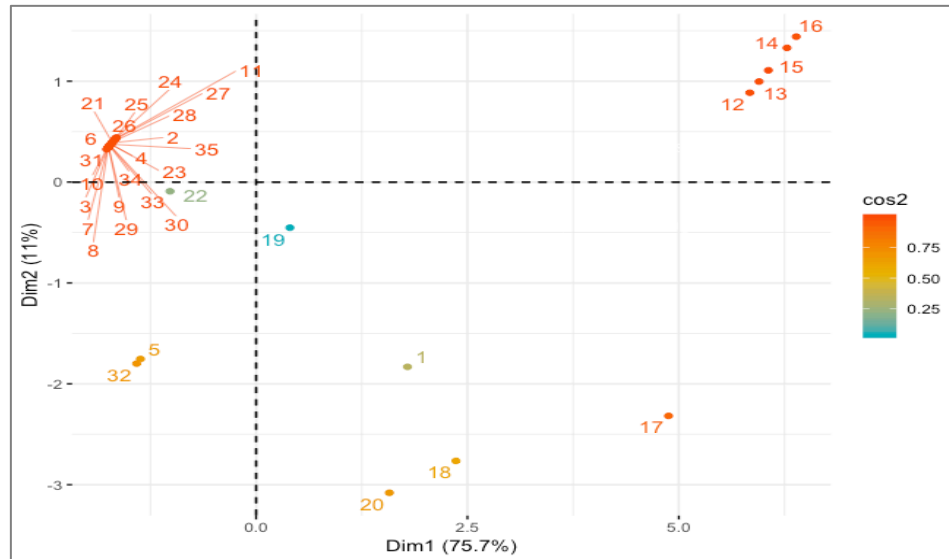


Con las variables de mayor contribución se analizaron las tendencias de agrupamiento usando el análisis FAMD (Figura 1-11). Se identificaron tres grupos, dos de ellos (Grupo 1 y 3) con individuos que presentaron valores de \cos^2 mayor a 0.75, lo cual indica una fuerte correlación entre sí. Y un tercer grupo de individuos (grupo 2) con menor correlación entre sus individuos cuyos valores de \cos^2 fueron inferiores a 0.5. Una vez identificados los

¹ Componente ambiental: litología, vocación, región y altitud. Componente sociocultural: asociación, asistencia técnica, formación y mano de obra. Componente agronómico: calibración de equipos, cultivo anterior, certificación, periodicidad de aplicación, monitoreo de plagas y número de plantas.

grupos, se seleccionaron los individuos que presentaron mayor correlación entre sí y se validó su información en campo

Figura 1-14: Tendencias de agrupamiento



- **Grupo 1 – SP1-:** este grupo concentró el 71% de los productores encuestados. Algunos de sus individuos presentaron una alta correlación entre ellos ($\text{Cos}^2 > 0.75$). Están localizados en la subregión del oriente antioqueño, en altitudes entre 1.960 y 2.260 msnm. Pertenecen a una asociación de productores, comercializan la fruta y reciben asistencia técnica por parte de esta. Emplean mano de obra familiar; tienen entre 50 y 1.100 plantas sembradas. Su formación académica es básica (primaria o secundaria), no tienen certificaciones fitosanitarias o ambientales; no calibran los equipos de aspersión; no realizan monitoreo de plagas y enfermedades, tienen un régimen de aplicación de agroquímicos periódico que no obedece a las necesidades del cultivo, con un promedio de aplicación de cuatro o más veces al mes.

- **Grupo 2 – SP2-:** los individuos de este grupo presentaron una baja correlación entre sí ($\text{Cos}^2 < 0.75$). Se trata de productores ubicados en ambas subregiones y en altitudes entre 1.880 y 2.250 msnm. Sus cultivos tienen entre 640 y 2.000 plantas. Se caracterizan por no usar mano de obra familiar. No todos se encuentran asociados y algunos aún estando asociados reciben asistencia técnica diferente a la ofertada por la asociación. Estos productores usualmente no calibran sus equipos de aspersión, son conscientes de la

importancia de realizar monitoreo de plagas y enfermedades en sus cultivos, pero no es una actividad que realicen con frecuencia. Tienen un régimen de aplicación de agroquímicos periódico que no obedece a las necesidades del cultivo, con un promedio de aplicación de dos a tres veces al mes.

- **Grupo 3 -SP3-:** los individuos de este grupo fueron los que presentaron el mayor nivel de correlación entre sus individuos ($\text{Cos}^2 > 0.75$). Localizados en la subregión del Suroeste y en una altitud entre 1.850 y 2.000 msnm. Estos cultivos presentaban un número entre 2.500 y 10.000 plantas. No se encuentran asociados y comercializaban su fruta directamente con las empresas exportadoras. La mano de obra y asistencia técnica son contratadas. Tienen una formación profesional, certificaciones ambientales o fitosanitarias. Realizan monitoreo periódico de plagas y enfermedades en sus cultivos y calibran sus equipos de aspersión. La periodicidad de aplicación de agroinsumos – fertilizantes y plaguicidas - obedece a los requerimientos del cultivo con una periodicidad de aplicación inferior a una vez al mes.

1.3 Discusión

Los resultados obtenidos frente a la caracterización realizada para cultivos de gulupa en el Departamento de Cundinamarca (Miranda & Carranza, 2010) indican que en Antioquia a diferencia de Cundinamarca se encuentran grandes productores de economía tipo empresarial cuya forma de comercialización se da sin intermediarios.

Respecto al estudio de Miranda & Carranza (2010), también se evidencian diferencias respecto a los descriptores claves para la agrupación, puesto que los descriptores de tipo ambiental en este estudio presentaron una menor contribución mientras que para los sistemas caracterizados en Cundinamarca, variables como la altitud o la textura de los suelos fueron factores discriminantes claves.

Todos los cultivos caracterizados se localizaron en zonas cuya altitud, temperatura y precipitación se encuentran dentro de los rangos recomendados para el óptimo desarrollo de la gulupa (Angulo, 2009). El 71% de los cultivos caracterizados presentaron conflictos por

el uso del suelo al ubicarse en zonas con vocación de conservación o forestal. El 92% de ese porcentaje fueron cultivos de la subregión del Oriente. Esto confirma lo señalado por Mora & Muñoz (2008), quienes indicaron que a nivel de Antioquia, el Oriente es la subregión que presenta mayor conflicto en el uso del suelo.

En cuanto al uso de plaguicidas, los productores del Suroeste presentan una menor periodicidad de aplicación de agroquímicos (menos de una vez por mes) respecto a los productores de Oriente (cuatro o más veces al mes). Estas diferencias no se relacionan con la subregión, sino con los descriptores socioculturales y agronómicos de mayor contribución (asistencia técnica, formación académica, monitoreo fitosanitario, calibración de equipo y certificaciones) que permitieron la diferenciación entre los grupos de productores.

Los niveles más bajos de formación académica se identificaron en los productores de la subregión del Oriente, simultáneamente estos productores son los que presentan una mayor periodicidad de aplicación de agroquímicos. Esta relación ha sido señalada en estudios como los de Jallow et al. (2017) y Khan et al. (2015) quienes identificaron que a mayores niveles de formación y capacitación disminuye la propensión al uso intensivo de plaguicidas. Así mismo, Bagheri, Emami, Damalas, & Allahyari (2019) y Sharifzadeh, Abdollahzadeh, Damalas, Rezaei, & Ahmadyousefi (2019) han demostrado que a mayor nivel educativo aumentan los comportamientos de seguridad de los productores, en la gestión de estas sustancias.

La tendencia de asociación identificada en los productores del Oriente y su relación con la asistencia técnica y comercialización, se puede explicar porque la asociatividad para los pequeños productores es una estrategia efectiva de comercialización para la distribución de gastos de producción o la asistencia técnica (Forero, Rodríguez, Gutiérrez, & Nieto, 2016). Sin embargo, en este caso la asistencia técnica no resultó ser una estrategia efectiva puesto que al ser proporcionada por casas comerciales las recomendaciones carecían de independencia, lo cual se evidencia con la alta periodicidad de aplicación que reportaron estos productores.

La relación entre la ausencia de asistencia técnica independiente y el uso intensivo de plaguicidas, también ha sido reportada en sistemas productivos cítricos del Departamento del Meta (Colombia) (Cleves & Jarma, 2014). Por otra parte la baja implementación de BPA (monitoreo fitosanitario y calibración de equipos) que reportó el grupo del Oriente con respecto al suroeste, confirma lo planteado en algunos estudios (Ali et al., 2013; Feola & Binder, 2010; Jallow et al., 2017) que señalan la estrecha relación entre el uso intensivo de plaguicidas, la baja promoción de programas en MIP, con la asistencia técnica y capacitación ofertada por vendedores de agroinsumos.

Algunas asociaciones de los municipios de El Peñol y Marinilla mostraron cierto interés hacia el manejo sostenible de plaguicidas y el uso de bioplaguicidas, sin embargo, al desconocer alternativas de manejo a los problemas fitosanitarios diferentes al control químico, continuaron con las prácticas de aplicación intensiva de plaguicidas. Situación que ya habían planteado Cowan & Gunby (1996) y Wyckhuys et al. (2011) quienes relacionaron el uso intensivo de plaguicidas al desconocimiento de alternativas, soluciones básicas para estas problemáticas y la falta de acceso a métodos no sintéticos viables en el control de plagas.

Los productores del Suroeste además de presentar una menor frecuencia de aplicación de agroquímicos, también se caracterizaron por contar con algún tipo de certificación ambiental o fitosanitaria. Esta relación coincide con lo identificado por Glasbergen (2018) e Ibanez & Blackman (2016) quienes señalan que este tipo de procesos conllevan a una producción más sostenible. Sin embargo, no garantizan un menor grado de exposición a los plaguicidas por parte de los empleados (Cardona & Pino, 2016).

1.4 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, en Antioquia se identifican tres sistemas productivos de gulupa. Sistemas productivos convencionales de pequeños productores (<1.100 plantas) localizados en la subregión del Oriente. Sistemas tecnificados de grandes productores (>2.500 plantas) ubicados en el Suroeste y Sistemas productivos en transición (de

convencional a tecnificado) de medianos productores (600 a 2.000 plantas) localizados en ambas subregiones.

Los sistemas productivos convencionales presentan una frecuencia de aplicación de agroinsumos (cuatro o más veces al mes) mayor en comparación con los sistemas tecnificados (una o menos de una vez al mes). Esta diferencia se asocia a factores como bajos niveles de educación, poca implementación de buenas prácticas agrícolas y una asistencia técnica proporcionada por casas comerciales de agroquímicos, mientras en sistemas tecnificados la asistencia técnica fue proporcionada por un agrónomo independiente. Cabe destacar que a mayores niveles de formación académica de los productores aumenta el nivel de desarrollo tecnológico del cultivo y disminuye el uso intensivo de agroquímicos.

Se deduce que si los productores o las asociaciones reciben capacitaciones en la gestión del cultivo de gulupa, el uso intensivo de agroquímicos podría disminuir, así como las frutas que no cumplen con los requerimientos inocuidad requeridos por los países consumidores. Paralelamente, para lograr esta disminución sería conveniente proveer a los pequeños productores de una asistencia técnica (bien sea independiente de las casas comerciales o articulada con éstas) en donde se promueva un uso responsable de agroquímicos y se exploren otro tipo de prácticas de control.

2. Capítulo 2: Residualidad de plaguicidas en sistemas productivos de gulupa

Resumen

Los niveles de residualidad altos y el uso intensivo de plaguicidas plantean una problemática que no solo afecta a la salud de los consumidores y agricultores, sino también a los ecosistemas y los servicios que estos ofrecen. El cultivo de gulupa en Colombia se ha expandido en los últimos años, siendo el mercado Europeo el principal destino, sin embargo, los altos niveles de residualidad identificados en las frutas han sido un limitante para la exportación de este producto. En este capítulo se analizaron diez muestras de fruta de dos sistemas productivos de gulupa (convencional y tecnificado) con el objetivo de identificar si el tipo de sistema productivo se relacionó con los niveles de residualidad y peligrosidad de los plaguicidas empleados. Para evaluar la peligrosidad del plaguicida se implementó un método que analizó su toxicidad en humanos, ecotoxicidad y destino ambiental. Las frutas se analizaron en laboratorios certificados para análisis de plaguicidas. El nivel de peligrosidad se cuantificó a partir de información secundaria de bases de datos especializadas en toxicidad y ecotoxicidad. Se identificaron muestras que sobrepasaron los LMR, así como el uso de sustancias prohibidas por los países consumidores de gulupa y tres sustancias como probablemente cancerígenas. Se presentaron diferencias significativas entre los dos sistemas productivos, siendo el sistema convencional más propenso al uso de sustancias con una mayor nivel de peligrosidad en las categorías analizadas y el que presentó un mayor número de frutas que no cumplían con los LMR establecidos.

Palabras claves: LMR, gulupa, plaguicidas, peligrosidad, sistemas productivos

2.1 Introducción

Actualmente, el uso intensivo de plaguicidas es una práctica problemática a nivel mundial y en las últimas décadas se ha manifestado con mayor impacto en los países suramericanos (Hjorth *et al.*, 2011). Concretamente en Suramérica las legislaciones respecto al uso de sustancias altamente peligrosas son poco estrictas (Schreinemachers & Tipraqsa, 2012) y se observa una baja implementación de estrategias integradas para el manejo de plagas y enfermedades. Situación que repercute directamente en una disminución de la producción, pérdidas poscosecha (Bastidas *et al.*, 2013) y en el ingreso a mercados internacionales.

Por sus condiciones climáticas y su oferta hídrica, Colombia presenta una ventaja competitiva para la exportación de frutas y hortalizas; sin embargo, los productores han prestado poca atención a la calidad del producto, particularmente en lo que concierne a la residualidad (Norton, 2017). Motivo que ha sido una de las principales razones del retraso del país para exportar a nuevos mercados (Norton, 2017). La gulupa no es una excepción a esta problemática, al ser un producto tipo exportación, las normas fitosanitarias y de inocuidad química, han representado una barrera para el ingreso a mercados extranjeros (Otsuki, Wilson, & Sewadeh, 2001).

Los altos niveles de residualidad identificados en *pasifloras* han generado alertas a nivel internacional en los países consumidores debido al riesgo que representa su consumo, principalmente para la población infantil, la cual, debido a su metabolismo menos desarrollado es altamente vulnerable (Claeys *et al.*, 2011). Particularmente en pasifloras colombianas los compuestos activos que han sobrepasado con mayor frecuencia los límites máximos residuales son los ditocarbamatos, piretroides (Bastidas *et al.*, 2013; Hjorth *et al.*, 2011) y organoclorados como el clorotalonil (Poulsen & Andersen, 2003).

El uso intensivo de estas sustancias también tiene implicaciones sobre el medio ambiente y la oferta de servicios ecosistémicos, como por ejemplo, es el caso de los polinizadores silvestres, los cuales, son claves para la agricultura (Calatayud-Vernich, Calatayud, Simó, & Picó, 2018) en particular para las pasifloras (Rendón, Ocampo, & Urrea, 2013). El uso de polinizadores silvestres en comparación con la polinización manual, ha demostrado ser más

efectiva, produciendo frutos de mayor tamaño y reduciendo los costos laborales (Rendón et al., 2013; Silva, Almeida, de Siqueira, Souza, & Castro, 2018).

La apicultura es una de las principales fuentes de polinizadores silvestres, sin embargo, durante las últimas décadas a nivel mundial las colonias de abejas han sufrido una disminución en sus poblaciones (Seitz *et al.*, 2015). Según Traynor *et al.* (2016), los plaguicidas son la principal causa de morbilidad y mortalidad de estas especies. A raíz de esto, se ha promovido el uso de plaguicidas con bajos niveles de toxicidad para limitar el impacto sobre estas especies.

Esta problemática también se extiende a los ecosistemas acuáticos. Se ha observado que los plaguicidas actúan sobre los organismos como agentes inductores de estrés, afectando el estado funcional de los tejidos y bioconcentrándose en su cuerpo (Naqvi, Shoaib, & Ali, 2017). Por efectos de biomagnificación acaban ingresando a la cadena trófica (Fan *et al.*, 2019; Yahia & Elsharkawy, 2014) afectando la estabilidad del ecosistema y consecuentemente la salud de los seres humanos tras el consumo de estos alimentos.

Además de la toxicidad y ecotoxicidad de los plaguicidas sus propiedades fisicoquímicas determinan su destino ambiental y la exposición de las especies no objetivo. Propiedades asociadas a la degradación (tiempo de vida media DT_{50}), movilidad (solubilidad, coeficiente de sorción K_{oc}/K_{ofc}) (FAO, 2000) y bioconcentración (BCF), son determinantes para identificar el comportamiento y posible destino ambiental de estas sustancias una vez son liberadas al ambiente.

Organizaciones como la FAO, PAN, OMS y El Sistema Armonizado de Etiquetas, han empleado diferentes categorías para identificar el nivel de peligrosidad de los plaguicidas. Sin embargo, se han enfocado en la toxicidad aguda y el riesgo de cancerigenocidad de estas sustancias, pero no han indagado en otros impactos crónicos sobre la salud y el medio ambiente. Por lo cual se hace necesaria la implementación de una metodología que evalúe en su totalidad todos los riesgos para la salud de las comunidades agrícolas, de los consumidores y el impacto sobre el medio ambiente (Sugeng, Beamer, Lutz, & Rosales, 2013).

Este capítulo tiene como objetivo identificar si entre los dos sistemas productivos (convencional y tecnificado) hay diferencias en la frecuencia, residualidad y peligrosidad de los plaguicidas empleados. Con este fin a partir de bases de datos certificadas se ha realizado una valoración de toxicidad considerando la clasificación toxicológica aguda y crónica sobre humanos, la ecotoxicidad y el destino ambiental de las sustancias identificadas en las muestras colectadas en ambos sistemas productivos.

2.2 Metodología

2.2.1 Toma de muestras

De acuerdo a los resultados de la caracterización de los sistemas productivos (Capítulo 1), se seleccionaron cinco productores de los sistemas convencionales (Grupo 1 – SP1-) y cinco de los sistemas tecnificados (Grupo 3 -SP3-), cuyos individuos presentaron un mayor grado de relación entre sí ($\text{Cos}^2 > 0.75$), contaran con predios de más de 500 plantas y estuvieran en periodo de cosecha.

Las muestras se tomaron entre los meses de junio a septiembre del 2016, siguiendo las recomendaciones de la Directiva 2002/63/EC de la Unión Europea (UE, 2002). De forma aleatoria se tomaron 30 frutos por predio en plantas sin síntomas de enfermedad. Las muestras se guardaron en bolsas de polipropileno debidamente rotuladas y posteriormente almacenadas en neveras portátiles hasta su ingreso en el laboratorio de la Corporación Universitaria Lasallista, en donde fueron almacenadas a -20°C hasta finalizar todo el muestreo.

2.2.2 Análisis químico

El análisis de residuos de plaguicidas se realizó en un laboratorio acreditado bajo la norma ISO 17025:2005 en el análisis de plaguicidas en matrices alimentarias. Se cuantificaron 359 de 479 plaguicidas que reglamenta la Unión Europea para gulupa, bajo el reglamento (CE) No 396/2005 (UE, 2005), registrados en la base de datos “EU Pesticides Database” (UE, 2016a), para frutos de la pasión (código: 0162030).

El análisis se realizó por métodos multiclase y multiresiduos, incluyendo metabolitos y productos de degradación. Se analizaron 169 moléculas por cromatografía de gases con detector de espectrofotometría de masas (GC-MSMS) y 190 por cromatografía líquida con detector de espectrofotometría de masas (LC-MSMS). Para la detección de ditocarbamatos, maneb, mancozeb, metiram, propineb, tiran y ziram, se emplearon métodos multiresiduo por espectrofotometría ultravioleta (CS2_01_B).

2.2.3 Análisis de la información

▪ Frecuencia y sistemas productivos

Tras realizar los análisis de residualidad se tabularon las sustancias detectadas de acuerdo al sistema productivo. Con esta información se construyó una base de datos binaria según la presencia o ausencia de las sustancias identificadas. Posteriormente, se sumaron los valores por productor y se correlacionaron con el sistema productivo al cual pertenecía. Usando el software R versión 1.1.463 (R Team) se construyó un modelo lineal para determinar diferencias significativas entre los sistemas productivos a partir de un análisis de varianza de dos vías (ANOVA), se evaluó significancia a un valor de $P < 0.01$.

▪ Residualidad y sistemas productivos

Los valores máximos residuales de las sustancias identificadas se establecieron de acuerdo a la regulación No 396/2005 (UE, 2005) de la Unión Europea para residuos de plaguicidas. Se empleó la base de datos EU Pesticides Database (UE, 2016a) para frutos de la pasión (código: 0162030). Se aplicó esta regulación porque el 99% de la gulupa exportada por Colombia tiene como destino países socios de la Unión Europea (Agronet, 2018).

Una vez identificados los valores máximos permitidos para cada pesticida, se construyó una base de datos binaria, considerando las muestras que sobrepasaron estos valores, es decir, se asignó un valor de uno a las muestras que no cumplieran con los LMR, de lo contrario cero. Para identificar las diferencias significativas entre el sistema productivo y los niveles de residualidad se siguió el mismo método empleado en el análisis de frecuencia.

▪ **Evaluación de la peligrosidad de los plaguicidas**

Para determinar las diferencias significativas entre los sistemas productivos respecto al nivel de toxicidad de los plaguicidas empleados se construyó un indicador de peligrosidad de acuerdo al nivel de riesgo sobre la salud humana, ecotoxicidad, destino y comportamiento ambiental de las sustancias identificadas en las muestras analizadas. Se empleó una matriz de valoración que fue adaptada a partir de la metodología propuesta por la red de acción en plaguicidas (en adelante PAN (2018)) y Kudsk *et al.* (2018).

El riesgo sobre salud humana (Rh) se calculó a partir de lo establecido en la norma CE 1272/2008 de la EU (2008), el Potential Annual Cancer Report 2018 de la EPA (2018) y el banco de datos de sustancias peligrosas -HSDB- (Toxnet, 2019). Se analizaron dos categorías de riesgo agudo y crónico, compuestos a su vez por cuatro subindicadores que recibieron una valoración de cero a tres, en donde cero equivale a ningún riesgo y tres al riesgo máximo (Tabla 2-1 y Tabla 2-2).

Tabla 2-1: Clasificación para la valoración de riesgos crónicos para la salud humana

Categoría	Sub-categoría	Valoración	Descripción	EU Reg. 1272/2008 (UE, 2008)
Riesgo Crónico	Carcinogenicidad	0	No es probable que sea carcinógeno para los humanos	
		1	Evidencia sugestiva de potencial carcinogénico/Información inadecuada para evaluar el potencial carcinogénico	
		2	Es probable que sea carcinogénico para los humanos	H351
		3	Carcinogénico para los humanos	H350
	Mutagenicidad	0	Sin reportes	
		1	Se sospecha que provoca defectos genéticos	H341
		2	Puede provocar defectos genéticos	H340
		3	Clastogeno - mutagénicos de alta toxicidad	
	Toxicidad reproductiva	0	Sin reportes	
		1	Se sospecha que puede perjudicar a la fertilidad o dañar al feto	H361
		2	Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna	H362
		2	Puede perjudicar a la fertilidad o dañar al feto	H360
	Toxicidad específica exposición repetida	0	Sin reportes	
		1	Se sospecha que puede perjudicar a determinados órganos	
		2	Puede perjudicar a determinados órganos	H373
		3	Perjudica a determinados órganos	H372

Tabla 2-2: Clasificación para la valoración de riesgos agudos para la salud humana

Categoría	Sub-categoría	Valoración	Descripción	EU Reg. 1272/2008 (UE, 2008)
Riesgo agudo	Toxicidad oral	0	Sin reportes	
		1	Nocivo en caso de ingestión	H302
		2	Toxico en caso de ingestión	H301
		3	Mortal en caso de ingesta	H300
	Toxicidad cutánea	0	Sin reportes	
		1	Nocivo en contacto con la piel	H312
		2	Toxico en contacto con la piel	H311
		3	Mortal en contacto con la piel	H310
	Toxicidad por inhalación	0	Sin reportes	
		1	Nocivo en caso de inhalación	H332
		2	Toxico en caso de inhalación	H331
		3	Mortal en caso de inhalación	H330
	Toxicidad específica exposición única	0	Sin reportes	
		1	Se sospecha que puede perjudicar a determinados órganos	
		2	Puede perjudicar a determinados órganos	H371
		3	Perjudica a determinados órganos	H370

El riesgo ecotoxicológico se calculó a partir de indicadores de toxicidad en el ambiente acuático y abejas. El riesgo sobre el ambiente acuático buscó abordar toda la cadena trófica analizando los valores de toxicidad aguda y crónica para plantas, invertebrados y peces. La información se extrajo de la base de datos Ecotox (EPA, 2019b) y la base de datos de propiedades de plaguicidas (en adelante PPDB (AERU, 2007)).

En la tabla 2-3 se encuentran los parámetros de clasificación empleados basados en la clasificación de la PPDB (AERU, 2007). La valoración se realizó asignando valores de uno a tres, en donde uno equivale a un nivel bajo de ecotoxicidad y tres a niveles altos.

Posteriormente se sumaron todos los valores para las dos categorías analizadas (toxicidad acuática y abejas). En el medio acuático se evaluaron cinco parámetros y respecto a las abejas, se evaluaron dos parámetros. De esta manera el máximo que puede alcanzar la categoría del medio acuático es quince y sobre abejas el máximo es seis. A fin de poder comparar la ecotoxicidad relativa de cada categoría, los resultados se escalaron a valores

entre cero y uno, dividiendo por el valor máximo que alcanzaría cada categoría si todos los parámetros obtuvieran el nivel máximo de toxicidad.

Tabla 2-3: Clasificación para la valoración de riesgos ecotoxicológicos

Categoría	Subcategoría	Valoración	Parámetros PPDB	Clasificación PPDB (AERU, 2007)
Toxicidad abejas	Toxicidad contacto agudo	1	LD50 48 horas >100 mg/L	Baja
		2	100 mg/L > LD50 48 horas >1 mg/L	Moderada
		3	LD50 48 horas < 1 mg/L	Alta
	Toxicidad oral agudo	1	LD50 48 horas >100 mg/L	Baja
		2	100 mg/L > LD50 48 horas >1 mg/L	Moderada
		3	LD50 48 horas < 1 mg/L	Alta
Toxicidad acuática	Toxicidad aguda peces	1	LC50 96 horas >100 mg/L	Baja
		2	100 mg/L > LC50 96 horas > 0.1 mg/L	Moderada
		3	LC50 96 horas < 0.1 mg/L	Alta
	Toxicidad crónica peces	1	NOEC 21 días >10 mg/L	Baja
		2	10 mg/L < NOEC 21 días < 0.01 mg/L	Moderada
		3	0.01 mg/L < NOEC 21 días	Alta
	Toxicidad aguda invertebrados	1	EC50 48 horas > 10 mg/L	Baja
		2	10 mg/L > EC50 48 horas > 0.01 mg/L	Moderada
		3	EC50 48 horas < 0.01 mg/L	Alta
	Toxicidad crónica invertebrados	1	NOEC 21 días >10 mg/L	Baja
		2	10 mg/L < NOEC 21 días < 0.01 mg/L	Moderada
		3	0.01 mg/L < NOEC 21 días	Alta
	Toxicidad aguda plantas	1	EC50 7 días > 10 mg/L	Baja
		2	10 mg/L > EC50 7 días > 0.01 mg/L	Moderada
		3	EC50 7 días < 0.01 mg/L	Alta

El destino y comportamiento ambiental de las sustancias detectadas se evaluó tomando en cuenta su capacidad de degradación (persistencia en el suelo - DT50), movilidad en el agua (solubilidad) y suelo (coeficiente de sorción - Koc/Kof) y bioacumulación (factor de bioconcentración - BCF).

Los valores de persistencia en el suelo, solubilidad y coeficiente de sorción se identificaron a partir de la información reportada para estas categorías en la PPDB (AERU, 2007) (<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/>). En cuanto a los valores de bioconcentración (BCF) se determinaron usando la información indicada en la categoría destino/transporte ambiental de la base de datos Comptox (EPA, 2019a) (<https://comptox.epa.gov/dashboard>).

Para clasificar las sustancias de acuerdo a las propiedades analizadas se emplearon los parámetros establecidos por la PPDB (AERU, 2007) y la FAO (2000) (Tabla 2-4). La valoración se realizó asignando valores de cero a tres, en donde cero corresponde a bajos niveles de movilidad y bioconcentración y tres a altos niveles. Posteriormente, como en el caso de la valoración de ecotoxicidad, se sumaron todos los valores obtenidos para cada sustancia y se dividieron por el valor máximo que alcanzarían si en todas la categorías obtuvieran la máxima valoración (en este caso 12).

La peligrosidad de las sustancias se calculó sumando todos los valores en cada categoría (riesgo agudo y crónico, ecotoxicológico y transporte y destino ambiental). A fin de poder compararlos y evaluar su nivel de peligrosidad, los valores obtenidos se escalaron de la misma manera que en la categoría de ecotoxicidad y destino ambiental. El valor obtenido se validó con las clasificaciones de la OMS (2009) y el reglamento 1272 de la EU (2008).

Tabla 2-4: Clasificación y valoración del destino y comportamiento ambiental

Categoría	Valoración	Categoría	Clasificación	Fuente
Persistencia (DT 50) -días-	0	DT50 suelo <20	No persistente	FAO
	1	20 < DT50 suelo < 60	Moderadamente persistente	
	2	60 < DT50 suelo <180	Persistente	
	3	DT50 suelo > 180	Muy persistente	
Coeficiente de sorción (K_{oc}/K_{foc})	0	$K_{oc}/K_{foc} > 4000$	Inmóvil	FAO
	1	$500 < K_{oc}/K_{foc} < 4000$	Ligeramente móvil	
	2	$15 < K_{oc}/K_{foc} < 500$	Moderadamente móvil	
	3	$K_{oc}/K_{foc} < 15$	Altamente móvil	

Tabla 2-5: (Continuación)

Categoría	Valoración	Categoría	Clasificación	Fuente
Solubilidad	0	<0.10 mg/L a 20°C	No soluble	FAO
	1	0.1 - 10 mg/L a 20°C	Ligera - moderadamente soluble	
	2	10 - 100 mg/L a 20°C	Fácilmente soluble	
	3	> 100 mg/L a 20°C	Altamente soluble	
Factor de bioconcentración	1	BCF (1 kg ⁻¹) < 100	Bajo potencial	PPDB
	2	100 < BCF (1 kg ⁻¹) < 5000	Umbral de importancia	
	3	BCF (1 kg ⁻¹) > 5000	Alto potencial	

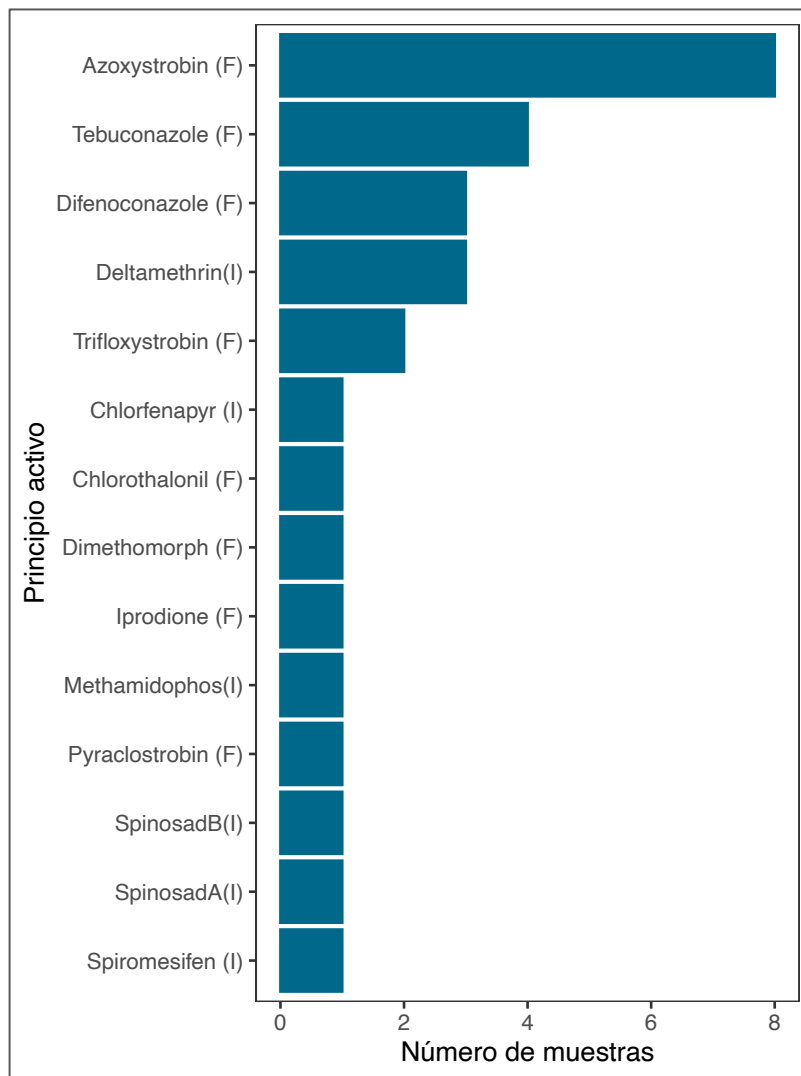
▪ **Sistemas productivos y peligrosidad de los plaguicidas**

Con objeto de identificar las diferencias significativas entre los sistemas productivos evaluados respecto al nivel de toxicidad de las sustancias detectadas, se empleó una Anova, relacionando el tipo de sistema productivo con la valoración calculada en las categorías: toxicidad en humanos (crónica y aguda), cancerigenocidad, ecotoxicidad, destino ambiental y peligrosidad de las sustancias identificadas, siguiendo el mismo procedimiento de los análisis anteriores.

2.3 Resultados

2.3.1 Frecuencia de los plaguicidas detectados

En las diez muestras analizadas, se han detectado 14 tipos de plaguicidas, de los cuales, ocho son insecticidas y siete fungicidas. Tal como indica la figura 2-1, los principios activos: azoxystrobin, tebuconazole, difenoconazole y deltamethrin, son las sustancias mayormente detectadas. También se identificaron trazas de iprodione, methamidophos y chlorfenapyr, las cuales están prohibidas por la Unión Europea bajo los reglamentos (EU) 2017/2091, 2006/131/EC y 2001/697/EC, respectivamente.

Figura 2-1: Frecuencia de los plaguicidas detectados

Un 20% de las muestras analizadas no presentaron residuos detectables, un 20% presentó una sola sustancia detectable y el porcentaje restante más de tres sustancias detectables. Un 50% de las muestras superó los límites máximos de residuos de acuerdo a los parámetros establecidos por la Unión Europea (Tabla 2-5). La concentración más alta de un residuo de pesticida encontrada fue de 0.64 mg/Kg de Chlorothalonil, sobrepasando en 0.63 partes los límites establecidos por la Unión Europea en el reglamento 2016/67 (UE, 2016b). El deltamethrin fue la sustancia que sobrepasó con mayor frecuencia los límites máximos residuales.

Tabla 2-6: Concentraciones que sobrepasaron los LMR

Principio activo	Concentración detectada (mg/Kg)	LMR (mg/Kg) UE	Excedente de LMR (%)
Chlorfenapyr (I)	0.013	0.01	30
Chlorothalonil (F)	0.64	0.01	6300
Deltamethrin (I)	0.014	0.01	40
Deltamethrin (I)	0.032	0.01	220
Deltamethrin (I)	0.029	0.01	190
Dimethomorph (F)	0.018	0.01	80
Iprodione (F)	0.024	0.01	140
Methamidophos (I)	0.011	0.01	10
Pyraclostrobin (F)	0.15	0.02	650

F = Fungicida

I = Insecticida

Se hallaron diferencias significativas entre el tipo de sistema productivo con la frecuencia ($p < 0.01$; $R^2 = 0.4$) y residualidad de plaguicidas ($p < 0.001$; $R^2 = 0.63$). La tabla 2-6 muestra los resultados obtenidos en función del sistema productivo. Las muestras analizadas de los sistemas con un mayor nivel de tecnificación -SP3- presentaron niveles inferiores a los límites máximos residuales establecidos e incluso en algunas muestras no se detectaron residuos. En cuanto a las muestras analizadas de los sistemas productivos convencionales “SP1” todas presentaron residuos de plaguicidas que sobrepasaron los límites establecidos.

Tabla 2-7: Residualidad de plaguicidas en los sistemas productivos

Sistema productivo	Numero de muestras sin residuos detectables	%	Numero de muestras con residuos por debajo del LMR	%	Numero de muestras con residuos por encima del LMR	%
1	0	0	0	0	5	100
3	2	40	3	60	0	0

Respecto a los plaguicidas empleados, las muestras que presentaron sustancias prohibidas (chlorfenapyr, iprodione y methamidophos) por la UE (2016a) corresponden al sistema productivo convencional “SP1”, por el contrario, las sustancias identificadas en las muestras de los sistemas tecnificados “SP3” presentaron una propensión al uso de sustancias con límites residuales menos restrictivos. En referencia a la función del plaguicida (insecticida o fungicida) no se encontraron diferencias significativas asociadas al sistema productivo.

2.3.2 Valoración de la toxicidad sobre humanos

En las tablas 2-7 y 2-8 se sintetiza la información compilada de las bases de datos de la EPA (2018a), Toxnet, (2019) y el reglamento 1272/2008 de la UE (2008), para efectos crónicos y agudos de las sustancias evaluadas. En el caso de no encontrar datos se consignó la sigla “NR”. También se reporta la valoración correspondiente, esta se realizó tomando en cuenta el principio de precaución, por tanto se asignó el valor máximo identificado en alguna o todas las fuentes consultadas

Tabla 2-8: Valoración del riesgo crónico de los plaguicidas detectados.

Ingrediente activo	EPA Cáncer	EU Cáncer	Valoración final cáncer	EU Crónico	Crónico Toxnet	Valoración mutagenicidad	Valoración daño reproductivo	Valoración órganos diana
Azoxystrobin ²	NR	NR	NR	NR	Moderado a severo citotóxico	0	0	0
Chlorfenapyr	1	NR	1	NR	0	0	0	0
Chlorothalonil	2	2	2	H351	0	0	0	0
Deltamethrin	NR	NR	NR	NR	0	0	0	0
Difenoconazole	1	NR	1	NR	Alteración tiroidea	0	0	1
Dimethomorph	NR	NR	NR	NR	Clastogeno - mutagénicos alta toxicidad	3	0	0
Iprodione	2	2	2	H351	NR	0	0	0
Methamidophos	NR	NR	NR	NR	Alteración hormonal secundaria y daño testicular	0	1	1
Pyraclostrobin	NR	NR	NR	NR	NR	0	0	0
Spinetoram	NR	NR	NR	NR	NR	0	0	0
Spinosad	NR	NR	NR	NR	NR	0	0	0
Spiromesifen	NR	NR	NR	NR	NR	0	0	0
Tebuconazole	2	NR	2	H361d	NR	0	1	0
Trifloxystrobin	NR	NR	NR	NR	NR	0	0	0

Tabla 2-9: Valoración del riesgo agudo de los plaguicidas detectados.

Ingrediente activo	EU inhalación	Toxnet inhalación	Valoración inhalación	EU ingesta	Toxnet ingesta	Valoración ingesta	EU cutáneo	Toxnet cutáneo	Valoración cutánea
Azoxystrobin	H331	NR	2	NR	NR	0	NR	NR	0
Chlorfenapyr	H331	NR	2	H302	NR	1	NR	NR	0
Chlorothalonil	H330	NR	3	NR	NR	0	NR	Dermatitis aguda	1

² La sustancia azoxystrobin fue reportada por la base de datos Ecotox como causante de daño citotóxico. Sin embargo, al confirmar el documento citado, éste se encuentra archivado por la EPA, en consecuencia, se reportó la información, pero no se consideró en la valoración.

Tabla 2-10: (Continuación)

Ingrediente activo	EU inhalación	Toxnet inhalación	Valoración inhalación	EU ingesta	Toxnet ingesta	Valoración ingesta	EU cutáneo	Toxnet cutáneo	Valoración cutánea
Deltamethrin	H331	NR	2	H301	La ingesta puede generar convulsiones.	2	NR	Irritaciones leves	0
Difenoconazole	NR	Nocivo	1	NR	NR	0	NR	NR	0
Dimethomorph	NR	NR	0	NR	NR	0	NR	NR	0
Iprodione	NR	NR	0	NR	NR	0	NR	NR	0
Methamidophos	H330	NR	3	H300	NR	3	H311	NR	2
Pyraclostrobin	H331	NR	2	NR	Fatal si se ingiere	3	NR	NR	0
Spinetoram	NR	NR	0	NR	NR	0	NR	NR	0
Spinosad	NR	NR	0	NR	NR	0	NR	NR	0
Spiromesifen	NR	NR	0	NR	NR	0	NR	NR	0
Tebuconazole	NR	NR	0	H302	NR	1	NR	NR	0
Trifloxystrobin	NR	NR	0	NR	NR	0	NR	NR	0

La valoración final de la categoría toxicidad crónica en humanos de las cuatro subcategorías evaluada, se sintetiza en la tabla 2-9. Se identificaron tres sustancias como probablemente cancerígenas. El dimethomorph se identificó como mutagénicos de alta toxicidad. El methamidophos como sospechoso de causar daños reproductivos y afectar órganos diana. El tebuconazole fue la sustancia con el mayor valor de toxicidad crónica por estar clasificado como probablemente cancerígeno y tóxico para la salud reproductiva.

Tabla 2-11: Valoración de toxicidad crónica en humanos

Sustancia	Toxicidad crónica N=4 Vm= 13	Toxicidad crónica	Carcinogenicidad	Mutagenicidad	Toxicidad reproductiva	Toxicidad en órganos diana/ daño hormonal
Azoxystrobin	0.00	0	0	0	0	0
Chlorfenapyr	0.08	1	1	0	0	0
Chlorothalonil	0.15	2	2	0	0	0
Deltamethrin	0.00	0	0	0	0	0
Difenoconazole	0.15	2	1	0	0	1
Dimethomorph	0.23	3	0	3	0	0
Iprodione	0.15	2	2	0	0	0
Methamidophos	0.15	2	0	0	1	1

Tabla 2-12: (Continuación)

Sustancia	Toxicidad crónica N=4 Vm= 13	Toxicidad crónica	Carcinogenicidad	Mutagenicidad	Toxicidad reproductiva	Toxicidad en órganos diana/ daño hormonal
Pyraclostrobin	0.00	0	0	0	0	0
Spinetoram	0.00	0	0	0	0	0
Spiromesifen	0.00	0	0	0	0	0
Tebuconazole	0.31	4	2	0	2	0
Trifloxystrobin	0.00	0	0	0	0	0
Spinosad	0.00	0	0	0	0	0

Los resultados de la valoración para toxicidad aguda se sintetizan en la tabla 2-10. En la categoría de toxicidad oral se identificaron el Methamidophos y el Pyraclostrobin como mortales y el Deltamethrin como altamente tóxico. En la categoría de toxicidad por inhalación se identificó el Chlorothalonil y el Methamidophos como mortales y cuatro sustancias como tóxicas. Ninguna sustancia se identificó como tóxica sobre un órgano específico. El methamidophos fue la sustancia con el mayor índice de toxicidad por ser mortal en dos categorías y tóxico en una de ellas.

Tabla 2-13: Valoración de toxicidad aguda en humanos

Sustancia	Toxicidad aguda N=4 Vm=12	Toxicidad aguda	Oral	Cutánea	Inhalación	Toxicidad específica
Azoxystrobin	0.16	2	0	0	2	0
Chlorfenapyr	0.25	3	1	0	2	0
Chlorothalonil	0.25	3	0	0	3	0
Deltamethrin	0.33	4	2	0	2	0
Difenoconazole	0.08	1	0	0	1	0
Dimethomorph	0.00	0	0	0	0	0
Iprodione	0.00	0	0	0	0	0
Methamidophos	0.67	8	3	2	3	0
Pyraclostrobin	0.42	5	3	0	2	0
Spinetoram	0.00	0	0	0	0	0
Spiromesifen	0.00	0	0	0	0	0
Tebuconazole	0.08	1	1	0	0	0
Trifloxystrobin	0.00	0	0	0	0	0
Spinosad	0.00	0	0	0	0	0

2.3.3 Ecotoxicidad

En la tabla 2-11 se indican los resultados de ecotoxicidad en el ambiente acuático y en abejas. Respecto a los análisis en peces, los datos recopilados se realizaron en la especie *Oncorhynchus mykiss*, para invertebrados *Daphnia magna* y para plantas *Lemna-gibba*. Sin embargo, para algunas sustancias no se encontraron datos sobre estas especies, por lo tanto, se tomaron valores de otras especies similares, las cuales se especifican en la tabla.

Todos los datos se tomaron de la PPDB (AERU, 2007), seleccionando aquellos que habían sido verificados y utilizados para fines reglamentarios, excepto, valores de algunas categorías para Chlorfenapyr³, Methamidophos⁴ y Difeconazole⁵, los cuales se tomaron de la base de datos Ecotox (EPA, 2019b). Los artículos referenciado por esta base de datos fueron revisaron a fin de constatar que las pruebas se realizaran sobre organismos certificados, de no ser así, el dato fue descartado.

Tabla 2-14: Resultados de ecotoxicidad de los plaguicidas detectados

Ingrediente activo	Peces (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)		Invertebrados (<i>Daphnia magna</i>)		Plantas (<i>Lemna-gibba</i>)	Abejas (<i>Apis mellifera</i>)	
	Aguda 96 horas LC50 (mg/L)	Crónico 21 días NOEC (mg/L)	Agudo 48 horas EC50 (mg/L)	Crónico 21 días NOEC (mg/L)	Agudo 7 días EC50, biomasa (mg/L)	Contacto Agudo LD50 48 horas	Oral Agudo LD50 48 horas
Azoxystrobin	0.47	0.147**	0.23	0.044	3.2	>200	>25
Chlorfenapyr	0.007	0.00368	0.0061	0.00357	ND	0.10- 0.14...	0.10-0.14...
Chlorothalonil	0.017	0.003	0.054	0.009	0.29	>40	>40
Deltamethrin	0.00015	< 0.000032	0.00056	0.0000041	9.1	0.0015	0.07
Difenoconazole	1.1	0.023	0.77	0.0056	0.032	>100	>177
Dimethomorph	6.1	0.056	>20.1	0.22	1	<102	>32.4
Iprodione	3.7*	4.1	0.66	0.17	1	>200	>25
Methamidophos	>25	1.28	>0.27	0.00449	178	1.37...	>0.22

³ LD50 para abejas, toxicidad aguda y crónica para peces

⁴ Toxicidad aguda y crónica para peces

⁵ Toxicidad en plantas

Tabla 2-15: (Continuación)

Ingrediente activo	Peces (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)		Invertebrados (<i>Daphnia magna</i>)		Plantas (<i>Lemna-gibba</i>)	Abejas (<i>Apis mellifera</i>)	
	Aguda 96 horas LC50 (mg/L)	Crónico 21 días NOEC (mg/L)	Agudo 48 horas EC50 (mg/L)	Crónico 21 días NOEC (mg/L)	Agudo 7 días EC50, biomasa (mg/L)	Contacto Agudo LD50 48 horas	Oral Agudo LD50 48 horas
Spinetoram	2.69*	0.182**	0.228	0.00156	14.2	0.024	0.14
Spinosad	27	1.22	>1	0.0012	10.6	0.0036	0.057
Spiromesifen	0.016	0.0047	>0.092	0.00025	0.101	>200	>792.4
Tebuconazole	4.4	0.012	2.79	0.01	0.144	>200	>83.05
Trifloxystrobin	0.022	0.008	0.011	0.003	1.93	>100	>110

* *Lepomis macrochirus*** *Pimephales promelas*

· Especie desconocida

·· *Scenedemus subspicatus*

En las tablas 2-12 y 2-13 se indica la valoración de la ecotoxicidad sobre el ambiente acuático y sobre abejas respectivamente. Todas las sustancias obtuvieron una calificación significativamente alta en toxicidad sobre el ambiente acuático. De las catorce sustancias analizadas seis⁶ se clasificaron como altamente tóxicas. Para toxicidad en abejas todos los insecticidas identificados excepto el Spiromesifen obtuvieron valores altos.

Tabla 2-16: Valoración de ecotoxicidad en ambiente acuático

Ingrediente activo	Escala N=5 Vm=15	Acuática total	Peces		Invertebrados		Plantas
			Aguda	Crónica	Aguda	Crónica	Aguda
Azoxystrobin (F)	0.67	10	2	2	2	2	2
Chlorfenapyr (I)	0.87	13	3	3	3	3	1
Chlorothalonil (F)	0.93	14	3	3	3	3	2
Deltamethrin (I)	0.93	14	3	3	3	3	2
Difenoconazole (F)	0.67	10	2	2	2	3	1
Dimethomorph (F)	0.60	9	2	2	2	2	1
Iprodione (F)	0.67	10	2	2	2	2	2
Methamidophos (I)	0.67	10	2	2	2	3	1
Pyraclostrobin (F)	0.93	14	3	3	3	3	2
Spinetoram (I)	0.67	10	2	2	2	3	1
Spinosad (I)	0.67	10	2	2	2	3	1
Spiromesifen (I)	0.93	14	3	3	3	3	2
Tebuconazole (F)	0.67	10	2	2	2	2	2
Trifloxystrobin (F)	0.93	14	3	3	3	3	2

⁶ Chlorfenapyr, Chlorothalonil, Deltamethrin, Pyraclostrobin, Spiromesifen y Trifloxystrobin

Tabla 2-17: Valoración de ecotoxicidad en abejas

Ingrediente activo	Escala N=2 Vm=6	Total	Oral agudo	Contacto agudo
Azoxystrobin (F)	0.50	3	1	2
Chlorfenapyr (I)	1.00	6	3	3
Chlorothalonil (F)	0.67	4	2	2
Deltamethrin (I)	1.00	6	3	3
Difenoconazole (F)	0.33	2	1	1
Dimethomorph (F)	0.33	2	1	1
Iprodione (F)	0.50	3	1	2
Methamidophos (I)	0.83	5	2	3
Pyraclostrobin (F)	0.50	3	1	2
Spinetoram (I)	1.00	6	3	3
Spinosad (I)	1.00	6	3	3
Spiromesifen (I)	0.33	2	1	1
Tebuconazole (F)	0.50	3	1	2
Trifloxystrobin (F)	0.33	2	1	1

2.3.4 Destino ambiental

En la tabla 2-14 se indican los valores de persistencia en suelo (DT50), coeficiente de sorción (K_{oc}/K_{ofc}) y solubilidad. Los datos se tomaron de la base de datos PPDB (AERU, 2007) (<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/>). Para los valores de bioconcentración (BCF) se extrajo información de la base de datos Comptox (EPA, 2019a) (<https://comptox.epa.gov/dashboard>).

Tabla 2-18: Resultado de las variables para la categoría destino ambiental

Ingrediente activo	DT50 suelo (días)	K_{oc}/K_{ofc}	BCF	Solubilidad 20°C (mg/L)
Azoxystrobin	180.7	589	707	6.7
Chlorfenapyr	1.4	12000	1400	0.112
Chlorothalonil	17.9	2632	100	0.81
Deltamethrin	21	10240000	1400	0.0002
Difenoconazole	85	289	330	15
Dimethomorph	44	141	42.3	28.95
Iprodione	11.7	700	70	6.8
Methamidophos	4	1	75	200000
Pyraclostrobin	32	9304	706	1.9
Spinetoram	2.8	22836	114	29

Tabla 2-19: (Continuación)

Ingrediente activo	DT50 suelo (días)	K _{oc} /K _{ofc}	BCF	Solubilidad 20°C (mg/L)
Spinosad	14	34600	0.1	7.6
Spiromesifen	2.1	30900	545	0.13
Tebuconazole	47.1	712	78	36
Trifloxystrobin	1.69	1780	431	0.61

En la tabla 2-15 se indica la valoración de las sustancias analizadas en la categoría destino ambiental. Se destaca el Methamidophos por su alta solubilidad y capacidad de infiltración y el Difenconazole por su persistencia, solubilidad y su considerable umbral de bioconcentración.

Tabla 2-20: Valoración destino ambiental

Ingrediente activo	N = 4 V _m = 12	Valoración	BCF	DT50	K _{oc} /K _{ofc}	Solubilidad
Azoxystrobin	0.5	6	2	2	1	1
Chlorfenapyr	0.25	3	2	0	0	1
Chlorothalonil	0.33	4	2	0	1	1
Deltamethrin	0.25	3	2	1	0	0
Difenconazole	0.67	8	2	2	2	2
Dimethomorph	0.5	6	1	1	2	2
Iprodione	0.33	4	1	0	1	2
Methamidophos	0.58	7	1	0	3	3
Pyraclostrobin	0.33	4	2	1	0	1
Spinetoram	0.33	4	2	0	0	2
Spinosad	0.16	2	1	0	0	1
Spiromesifen	0.25	3	2	0	0	1
Tebuconazole	0.42	5	1	1	1	2
Trifloxystrobin	0.33	4	2	0	1	1

2.3.5 Clasificación de peligrosidad

En la tabla 2-16 se sintetizan las valoraciones finales de las categorías analizadas. También se indica la valoración y toxicidad final que definen la peligrosidad de la sustancia analizada. La primera se calculó como la suma de las valoraciones obtenidas en cada categoría. En cuanto a la peligrosidad, esta corresponde a la valoración final en una escala de cero a uno, en donde cero es el valor mínimo y uno el valor máximo. Esta escala se obtuvo al dividir la

valoración total de cada sustancia con el valor máximo (Vm) que podría alcanzar la misma, si en todas sus categorías obtuviera el máximo valor de toxicidad (3).

Tabla 2-21: Categorización y clasificación de peligrosidad

Sustancia	Categoría Toxicológica (OMS, 2009)	Peligrosidad N= 19 Vm= 58	Valoración total	Toxicidad aguda (Vm=12)	Toxicidad crónica (V=12)	Toxicidad acuática (Vm=15)	Toxicidad abejas (Vm=6)	Destino ambiental (Vm=12)
Azoxystrobin (F)	U	0.36	21	2	0	10	3	6
Chlorfenapyr (I)	II	0.45	26	3	1	13	6	3
Chlorothalonil (F)	U	0.47	27	3	2	14	4	4
Deltamethrin (I)	II	0.47	27	4	0	14	6	3
Difenoconazole (F)	II	0.40	23	1	2	10	2	8
Dimethomorph (F)	U	0.34	20	0	3	9	2	6
Iprodione (F)	III	0.33	19	0	2	10	3	4
Methamidophos (I)	Ib	0.55	32	8	2	10	5	7
Pyraclostrobin (F)	ND	0.45	26	5	0	14	3	4
Spinetoram (I)	U	0.34	20	0	0	10	6	4
Spinosad (I)	III	0.31	18	0	0	10	6	2
Spiromesifen (I)	ND	0.32	19	0	0	14	2	3
Tebuconazole (F)	II	0.39	23	1	4	10	3	5
Trifloxystrobin (F)	U	0.34	20	0	0	14	2	4

Ib: Extremadamente peligroso. II: Moderadamente peligroso. III: ligeramente peligroso. U: Improbable que represente un peligro agudo. ND: sin datos

2.3.6 Validación de resultados

El plaguicida valorado con un índice mayor de peligrosidad fue el methamidophos, prohibido por la EU bajo el reglamento No 899/2012 (UE, 2012). En la OMS está clasificado como altamente peligroso por sus efectos agudos y a su vez está incluido en el convenio de Rotterdam (ONU & FAO, 2019). Adicionalmente, la PAN (2018), lo cataloga como altamente peligroso por su toxicidad en abejas y su alto nivel de solubilidad.

El methamidophos además de destacarse en las categorías riesgo agudo ecotoxicidad y destino ambiental por en las entidades internacionales ya mencionadas (OMS, 2009; ONU & FAO, 2019; PAN, 2018; UE, 2012), en esta investigación también se ha clasificado como probablemente peligrosa en la categoría crónica por sus efectos adversos sobre la fertilidad masculina, tal y como lo ha señalado Ortega-Olvera et al. (2018).

Los plaguicidas chlorfenapyr, deltametrin, difenoconazole y tebuconazole presentaron un valor alto en peligrosidad. Todos se encuentran clasificados por la OMS (2009) como moderadamente peligrosos. La EU (2008), ha prohibido el chlorfenapyr por ser muy tóxico para el ambiente acuático por sus efectos agudos y crónicos sobre las especies. En el listado de Plaguicidas Peligrosos de la PAN (2018), se encuentran el chlorfenapyr y el deltametrin debido a la toxicidad ambiental de ambos y crónica del ultimo.

El difenoconazole y el tebuconazole fueron eliminados en el 2009 del listado de la PAN (2018), por escasa evidencia asociada a su peligrosidad. Sin embargo, para efectos de esta investigación se identificaron como sustancias con riesgo crónico por demostrar ser probablemente cancerígenos y presentar alteraciones endocrinas o sobre el sistema reproductivo. Además, se clasificaron como peligrosas para el ambiente acuático y el difeconazole presentó una capacidad de bioacumulación, solubilidad, persistencia e infiltración en el ambiente moderada.

El chlorothalonil obtuvo valores de peligrosidad significativamente altos, por clasificarse como mortalmente toxico en caso de inhalación, posiblemente cancerígeno, alta toxicidad acuática y sobre abejas aún siendo un fungicida. Sin embargo, no se encuentra en los listados de la OMS (2009), pero si de la PAN (2018), únicamente por sus efectos agudos y crónicos.

El pyraclostrobin no se encuentra reportado como peligroso en el listado de la PAN (2018) y la OMS (2009), aun cuando la EU (2008), lo ha prohibido por ser tóxico en caso de inhalación y Toxnet (2019), lo clasifica como mortal en caso de ingesta. Para efectos de esta investigación, además de las categorías ya mencionadas esta sustancia presentó una alta valoración en toxicidad acuática.

En cuanto a los niveles de toxicidad acuática los resultados obtenidos coinciden con lo reportado en la directiva CE 1272 de la EU (2008) en donde todas las sustancias identificadas fueron clasificadas como altamente tóxicas en niveles agudos o crónicos para los organismos acuáticos. En cuanto a la clasificación por la PAN (2018), únicamente es reportado el Methamidophos por su alta solubilidad.

2.3.7 Sistemas productivos y toxicidad de los plaguicidas

Se hallaron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre los dos sistemas productivos y todas la categorías evaluadas (Figura 2-2). El sistema productivo con menor nivel de tecnificación - SP1- presentó una mayor propensión al uso de plaguicidas con valores más altos en las categorías: toxicidad crónica, aguda, oral, acuática, en abejas, destino ambiental, cancerigenocidad y peligrosidad.

Figura 2-2: Boxplot de valoración de toxicidad por sistema productivo

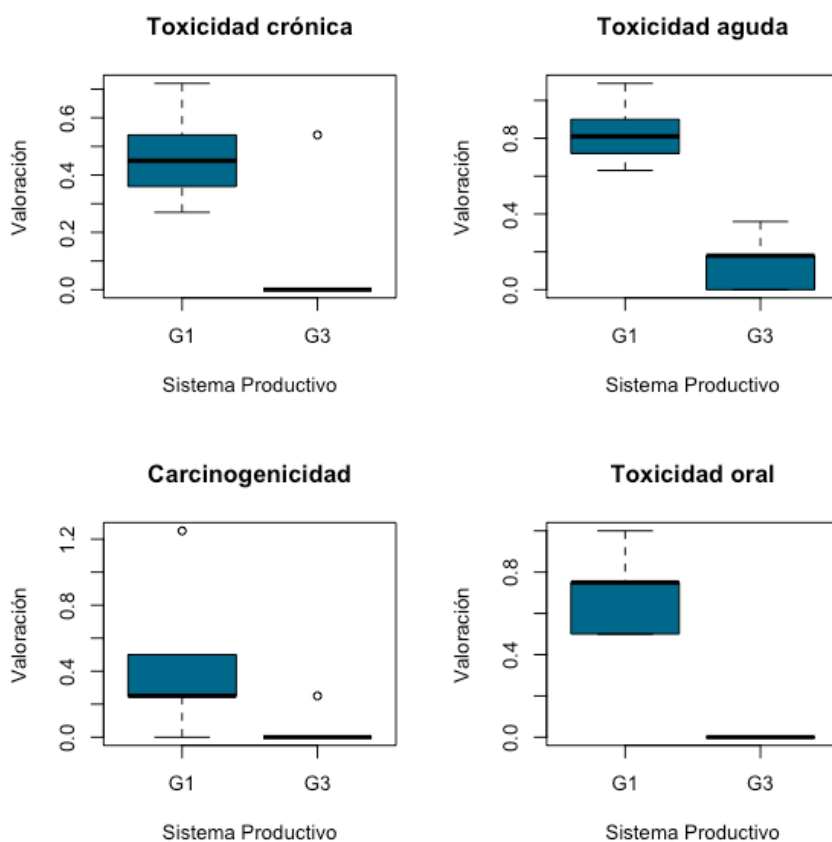
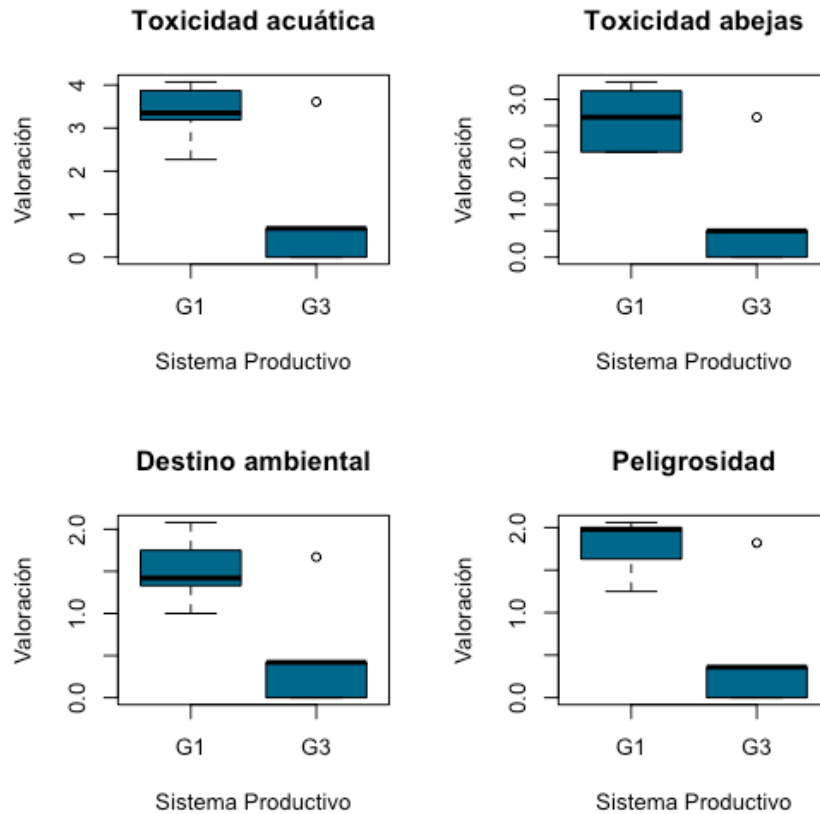


Figura 2-3: (Continuación)

2.4 Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, ocho de las catorce sustancias detectadas⁷ en las muestras analizadas no están aprobadas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2019b) para ser empleadas en los cultivos de gulupa. Aunque Europa es el principal destino de la gulupa colombiana (Agronet, 2018), solo dos de estas sustancias⁸ se encuentran prohibidas por la Unión Europea (UE, 2016a). Por otra parte, el Trifloxystrobin y Spiromesifen, de acuerdo a los datos de la OMS (2009) y los resultados de esta investigación

⁷ Chlorfenapyr, Chlorothalonil, Difenconazole, Dimethomorph, Iprodione, Pyraclostrobin, Spiromesifen, Trifloxystrobin

⁸ Chlorfenapyr e Iprodione

presentan bajos niveles de peligrosidad y LMR poco restrictivos (4 y 1 mg/Kg respectivamente) (EU 2016a).

El Methamidophos, sustancia que presentó en esta investigación un mayor índice de peligrosidad y ha sido catalogado por varias instancias internacionales como altamente peligroso (OMS, 2009; PAN, 2018; UE, 2012). Sin embargo, en Colombia hubo reportes de fabricación hasta el 2016 (ICA, 2016) y solo hasta junio del 2019 se ratificó la prohibición de su importación en el convenio de Rotterdam (ONU & FAO, 2019). Por lo cual, la presencia de esta pudo asociarse a la disponibilidad que para la fecha del muestreo (2016) tenía el producto y no al comercio ilícito de plaguicidas.

Al comparar los resultados de residualidad con la legislación colombiana para residuos de plaguicidas (MADR & MinSalud, 2007, 2018) ninguna de las muestras sobrepasó los límites máximos residuales establecidos por ésta en las categorías: frutas y frutas tropicales de piel no comestible, puesto que no hay una categoría particular para gulupa. Así mismo, se resalta que en dicha legislación solo se regulan seis sustancias⁹ de las 479 que legisla la EU (2016a) para esta fruta.

De las cuatro sustancias identificadas¹⁰ con mayor frecuencia en las muestras analizadas, el tebuconazole se clasificó como probablemente cancerígeno con afectaciones en tiroides (EPA, 2018b). Si se toma en cuenta que en Colombia el cáncer de tiroides es el sexto de mayor incidencia, con 5.114 nuevos casos reportados en el 2018 (IARC & OMS, 2019) y que en el 2016 se vendieron 251.979 litros de producto en el país (ICA, 2016). Es recomendable que esta sustancia se regule tanto en la resolución de residualidad (MADR & MinSalud, 2007, 2018) como en su uso para gulupa (ICA, 2019b).

En cuanto al deltametrin sustancia que también presentó una alta frecuencia de uso y sobrepasó los LMR, si bien no se encuentra clasificada como probablemente cancerígena, presenta un porcentaje de acumulación por vía oral en el organismo entre el 36 y el 23% en grasa u órganos diana (Toxnet, 2019). Adicionalmente, se ha identificado que la

⁹ Glufosinato – Amonio; paraquat; procloraz; azinfos- Metilo; Bromuro inorgánico y Clordano

¹⁰ Azoxystrobin, tebuconazole, difenoconazole y deltamethrin

acumulación en los tejidos se encuentra relacionada con la edad y en cerebros inmaduros puede generar neurotoxicidad a corto plazo (Toxnet, 2019). Lo anterior indica que la población infantil puede presentar un riesgo alto en el consumo de gulupa.

Los niveles de residualidad que sobrepasaron los LMR y la alta frecuencia de aplicación, se relacionaron con el sistema productivo convencional “SP1”, al cual pertenecen los productores con menor nivel de formación que no cuentan con asesoría técnica independiente y continua, ni certificaciones ambientales. Además presentan prácticas inapropiadas de manejo de plagas y enfermedades y una mayor incidencia al uso intensivo de agroquímicos (ver capítulo 1), relación identificada en otras regiones de Colombia para diversos tipos de pasifloras (gulupa, maracuyá y granadilla) (Kris A.G. Wyckhuys et al., 2011).

Por el contrario los productores con un mayor nivel de tecnificación -SP3- presentaron niveles de residualidad por debajo de los LMR regulados. Esto se relacionó además de las características diferenciadoras que presentan con respecto al sistema convencional, al hecho que los productores del sistema tecnificado cuentan con certificaciones ambientales, tendencia ya identificada en productores certificados de gulupa de otras zonas de Colombia (Bastidas *et al.*, 2013); Aunque, cabe destacar que en la investigación referenciada solo se cuantificaron 16 plaguicidas de los 471 que regula la Unión Europea para esta fruta.

En cuanto a los niveles de peligrosidad y cancerigenocidad de las sustancias detectadas, se hallaron diferencias significativas entre los dos sistemas productivos. Los productores del sistema convencional presentaron una mayor propensión al uso de plaguicidas con un alto nivel de peligrosidad y clasificados como probablemente cancerígenos. Ésta tendencia podría asociarse a una baja capacidad de adquisición y disponibilidad a productos con menor nivel de toxicidad entre los productores (Ahouangninou, Fayomi, & Martin, 2011).

Cabe señalar que si bien el sistema productivo convencional presentó una mayor tendencia al uso de plaguicidas clasificados como probablemente cancerígenos, en el sistema tecnificado también se ha detectado una sustancia bajo esta categoría. Lo cual indica que la población agrícola en general presenta un riesgo considerable de cáncer por exposición a los

plaguicidas, situación que ya ha sido identificada y priorizada por el Ministerio de Salud de Colombia para el control y prevención del cáncer en Colombia (MinSalud, 2012).

Adicionalmente, el uso de sustancias con altos niveles de peligrosidad y cancerigenocidad no solo pone en riesgo la salud del consumidor y el ecosistema, sino también la del productor por exposición. Con el agravante que los productores con bajos niveles de formación académica fueron los que presentaron mayor propensión al uso de estas sustancias. Adicionalmente, algunos estudios (Elahi, Weijun, Zhang, & Nazeer, 2019; Forget, 1991; Viviana, Eve, & Celso da Silva, 2007) han identificado que debido al desconocimiento de las consecuencias e implicaciones sobre la salud de estas sustancias este tipo de productores son más vulnerables a sus efectos agudos y crónicos.

Con respecto a los niveles de ecotoxicidad, todos los insecticidas identificados excepto el spiromesifen y fungicidas como el chlorothalonil, se valoraron como tóxicos para abejas. Aunque, los productores del “SP1” presentaron una mayor propensión al uso de estas sustancias respecto a los productores del “SP3”, quienes también reportaron compuestos con estas características pero en una menor frecuencia. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los cultivos de estos últimos presentan una mayor área con respecto a los del SP1, lo cual implica una mayor exposición de las poblaciones de abejas y sus colmenas por transferencia activa de estas sustancias (Piechowicz, Szpyrka, Zaręba, Podbielska, & Grodzicki, 2018)

En cuanto a toxicidad acuática todas las sustancias detectadas obtuvieron un valor mayor a la media, seis sustancias presentaron niveles superiores a 0.8 (en una escala de 0 a 1), es decir, se identificaron como altamente tóxicas. En cuanto a los sistemas productivos, al igual que en el caso de las abejas, se identificó una mayor propensión del sistema convencional al uso de sustancias más tóxicas. Sin embargo, para valorar el impacto sobre los ecosistemas en futuras investigaciones es recomendable considerar la distancia de los cultivos a cuerpos de agua y la capacidad de infiltración de los suelos.

Comprender el destino ambiental de los plaguicidas evaluados, tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas relevantes para el potencial de exposición, puede proporcionar información sobre las rutas de estas sustancias en los ecosistemas (Sugeng *et al.*, 2013). Sin

embargo, predecir con exactitud qué pasará una vez sean liberadas al ambiente, requiere de un estudio particular para cada cultivo, puesto que su dinámica de transporte, transformación y transferencia al ambiente, depende de las características ambientales de cada zona.

Los valores más altos obtenidos en la categoría destino ambiental no superaron el valor medio, siendo las sustancias methamidophos, difenoconazole y azoxystrobin las que presentaron los valores más altos entre las sustancias identificadas. La alta valoración del methamidophos, se asocia a su solubilidad, lo cual, junto a su alta toxicidad aguda puede generar impactos considerables en los ecosistemas y sobre la salud de las poblaciones. No obstante, se debe señalar que solo se identificó en la fruta de un solo productor por lo cual el riesgo disminuye.

Caso contrario sucede con el difenoconazole y azoxystrobin, los cuales presentaron una alta frecuencia de uso en los cultivos analizados, incluyendo los tecnificados. Ambos se clasificaron como moderadamente persistentes en el suelo y un factor de bioconcentración en un umbral de importancia. El suelo es altamente vulnerable, puesto que algunos estudios han identificado que estas sustancias afectan los organismos benéficos y el azoxystrobin puede contribuir a la difusión de genes resistentes a los antibióticos (Zhao, Liu, Xie, Lv, & Luo, 2018; Zhang *et al.*, 2019).

Si bien solo el methamidophos superó el valor medio y puede clasificarse como un plaguicida de alto riesgo, se hace necesario profundizar en la exposición de la población directa e indirecta, así como la distancia a los cuerpos de agua y las zonas de amortiguamiento (Kudsk *et al.*, 2018). Sin embargo, los análisis de peligrosidad permiten identificar y priorizar en el uso de las sustancias de mayor impacto por su toxicidad, ecotoxicidad y propiedades fisicoquímicas (Sugeng *et al.*, 2013).

2.5 Conclusiones

En las muestras analizadas se detectaron plaguicidas como el chlorfenapyr, iprodione y methamidophos, prohibidos por la Unión Europea, el principal destino de la gulupa colombiana. Así como cinco muestras que sobrepasaron los límites máximos residuales reglamentados. También se identificó el uso de sustancias clasificadas como mortales en

caso de ingesta y por inhalación. Respecto a los efectos crónicos, dos plaguicidas se clasificaron como probablemente cancerígenos y ninguno entró en la categoría de carcinógeno.

El método empleado para cuantificar la peligrosidad de los plaguicidas, resultó ser una herramienta efectiva para consolidar toda la información asociada a estas sustancias y no únicamente enfocada a los riesgos agudos y crónicos, categorías a las que les han dado mayor relevancia. Sin embargo, este método resultó ser más efectivo al analizarlo por categorías puesto que en la valoración final elementos que presentan altos niveles de riesgo pueden confundirse frente a otros factores de menor impacto.

El tipo de sistema productivo se relacionó con la frecuencia, residualidad y peligrosidad de los plaguicidas empleados. Los productores de los sistemas productivos convencionales respecto a los productores de los sistemas tecnificados presentaron una mayor tendencia a emplear sustancias con un nivel alto de peligrosidad en las categorías evaluadas (toxicidad aguda, crónica, cancerigenocidad, ecotoxicidad y destino ambiental). Lo cual representa un riesgo para la salud de los consumidores de gulupa y para los productores por exposición ocupacional a estas sustancias.

Se observaron diferencias entre la legislación colombiana y los reglamentos de la UE, por una parte, se identificaron sustancias con bajos niveles de peligrosidad permitidas por la UE que no han sido aprobadas en el cultivo de gulupa por el ICA. Por otra, sustancias como el tebuconazole y el deltametrin se encuentran aprobadas por el ICA y su residualidad no está siendo regulada por el Ministerio de Salud, a pesar de estar clasificadas como probablemente cancerígenas y tener un potencial alto de acumulación en los tejidos.

3. Capítulo 3: Metales en frutos y suelos de sistemas productivos

Resumen:

El origen de los metales en los suelos puede estar relacionado a causas naturales como la geomorfología del terreno o el origen del material litológico del mismo, o a causas antrópicas como el uso intensivo de plaguicidas o fertilizantes con metales, lodos de plantas de tratamientos, etc. Por procesos de absorción, traslocación y acumulación, los metales pueden ser absorbidos por las plantas y migrar a los productos alimenticios. Dado que algunos de estos elementos están relacionados a problemas sobre la salud, entidades como la FAO y la EFSA presentan regulaciones asociadas al contenido de metales en productos alimenticios. Al ser la gulupa un producto tipo exportación debe cumplir con los requerimientos de inocuidad de estas entidades. Por esta razón este capítulo (1) identificó si concentraciones altas de Cd, Cu y Cr se asociaron al sistema productivo o al tipo de material litológico sobre el cual se localizaron los cultivos, (2) relacionó las concentraciones de metales en el suelo y fruta y (3) determinó las propiedades fisicoquímicas involucradas esta relación. Para ello, se tomó una muestra de 12 productores de dos sistemas productivos (convencional y tecnificado), localizados en suelos formados a partir de depósitos aluviales y materiales ígneos. Las muestras se analizaron por espectrofotometría. Para identificar las diferencias entre sistemas y material litológico se empleó un ANOVA de dos vías. No se identificaron relaciones entre el contenido de metales en el suelo y el sistema productivo. Pero si entre estos y el tipo de material litológico, puesto que los suelos de origen aluvial presentaron mayores contenidos de metales respecto a los de origen ígneo. **Palabras clave:** depósitos aluviales, material litológico, metales, materiales ígneos, sistemas productivos.

3.1 Introducción

Los cultivos de gulupa caracterizados en el capítulo 1, se localizaron sobre suelos del orden de los Andisols, Entisols, Inceptisols y Vertisols, derivados de depósitos aluviales gruesos a medios, rocas ígneas y metamórficas con coberturas de cenizas volcánicas. Presentaron texturas franco arenosas (FA), francas (F), franco arcillo arenosas (FArA) y franco arcillosas (FAr). Contenidos de materia orgánica que oscilaron en un rango entre el 5% y el 25% y un pH entre 4.8 a 5.5.

La acumulación de metales en el suelo se asocia a (1) causas naturales como el origen del suelo, el material parental y los procesos geomorfológicos (erosión, transporte y acumulación de materiales) (Kamal, Prasad, & Varma, 2010; Sollitto, Romic, Castrignanò, Romic, & Bakic, 2010). Y (2) a causas antrópicas como la agricultura intensiva, la minería, los lodos de plantas depuradoras, la quema de residuos y las emisiones (Gleissy *et al.*, 2016; Hao *et al.*, 2011; et; Rodríguez, McLaughlin, & Pennock, 2018; Zhou, Feng, Pei, & Lu, 2016).

Estudios como los de Kamal *et al.* (2010) y Sollitto *et al.* (2010) señalan que las concentraciones en los suelos de metales como Cd, Cu, Zn, Pb y Ni son de tipo antrópico y no se relacionan con el tipo y origen del suelo. Por otra parte, M. Chen, Chen, & Huang, (2015) y Jafarnejadi, Sayyad, Homaei, & Davamei, (2013) asocian las altas concentraciones de Cu y Zn al uso de fertilizantes fosforados. Sin embargo, Zhou *et al.* (2016), en su estudio sobre suelos aluviales, asocia las concentraciones de Cd y Zn a actividades antropogénicas y de Hg, As, Cu, Pb, Cr y Ni a la influencia del material parental del suelo.

Los metales en los suelos no presentan un comportamiento estático y se comportan de manera dinámica a partir de cuatro vías (1) movilización a las aguas superficiales o subterráneas, (2) transferencia a la atmósfera por volatilización, (3) absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas y (4) retención de metales en el suelo bien sea por dilución, adsorción, complejación o precipitación (Navarro Aviñó & Alonso, 2007).

Las plantas han desarrollado mecanismos específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes, sin embargo, algunos metales llegan a la planta por estos procesos, debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar al de los nutrientes indispensables para su desarrollo y funcionamiento (Collins, Martin, & Fryer, 2006; Miranda et al., 2011). Razón por la cual, el suelo es una de las principales vías de exposición humana a metales tóxicos cuando el metal logra superar la “barrera suelo – planta” (Chaney, 1989).

La absorción y acumulación de metales en las plantas depende principalmente de (1) el movimiento de los metales en solución del suelo a la raíz de la planta, (2) la migración de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz, (3) el transporte de los metales desde las células corticales al xilema desde donde la solución se transporta de la raíz a los tallos, y (4) la posible movilización de los metales desde las hojas hacia tejidos de almacenamiento usados como alimento (Collins et al., 2006; Fontes, 2013; John & Leventhal, 1995).

La capacidad de bioacumulación de metales de las plantas varía de acuerdo a la especie vegetal, al tipo de metal y a su estado químico (Rodríguez et al., 2018). Las plantas que cuentan con alta capacidad de bioacumulación son denominadas hiperacumuladoras, se encuentran en suelos ricos en metales, bien sea por la geoquímica de éste o por contaminación y se caracterizan por tener poca biomasa, puesto que deben emplear su energía para adaptarse al medio (Kabata & Pendias, 2001).

Los procesos de absorción y traslocación de metales del suelo a la planta, dependen de (1) la concentración de metales acumulados en el suelo, (2) el tiempo de exposición, (3) el tipo de metal (Rodríguez et al., 2018) y (4) las propiedades fisicoquímicas del suelo (pH, materia orgánica, contenido de arcillas y capacidad de intercambio catiónico) (H. Selim, 2013).

Tomando en cuenta la solubilidad, capacidad de adhesión y toxicidad de los metales Rodríguez *et al.* (2018), los clasificó en cuatro grupos de menor a mayor riesgo, en donde, el Cd, As, y Se, se encuentran en la categoría más alta de peligrosidad para los seres humanos, por su alta toxicidad y capacidad de traslocación. Por esta razón, estos metales se

encuentran regulados por la Unión Europea (UE, 2006) y el Codex alimentarium en las matrices alimentarias (Codex Alimentarium, 1995).

Las relaciones de transferencia se emplean como una forma de conocer la proporción entre el contenido de metales en el suelo y la planta (Li *et al.*, 2014). Han sido empleados en cultivos de arroz (Mao *et al.*, 2019), caña de azúcar (Collin & Doelsch, 2010), manzanas (Imeri, Kullaj, Duhani, & Millaku, 2019) y pasifloras (Emurotu & Onianwa, 2017). A partir de estos se han logrado aproximaciones que permiten identificar el nivel de riesgo que puede representar la concentración de metales en el suelo y la capacidad de bioabsorción de la planta.

Dentro de las causas antrópicas asociadas a la contaminación y acumulación de metales en suelos se encuentran las actividades agrícolas por el uso de plaguicidas y fertilizantes que presentan en su composición metales, lo cual incrementa las probabilidades de contaminación de los alimentos (Rueda, Rodríguez, & Madriñán, 2011). Sin embargo, para determinar con precisión si el contenido de metales presentes en un suelo se asocia con actividades antrópicas es necesario conocer los valores de referencia de estos elementos en el suelo, puesto que pueden estar asociados a la formación natural del suelo.

Los cultivos de gulupa no son una excepción a esta problemática, dado que el uso intensivo de plaguicidas contribuye a la acumulación de metales en los suelos y posterior transferencia a la fruta. Y aunque los plaguicidas identificados en los cultivos estudiados no presentaron en su composición química metales (anexo 2), se debe resaltar que el ICA (2019b), tiene permitido el uso de fungicidas como el oxiclورو de cobre y sulfato de cobre pentahidratado para estos cultivos.

Por otra parte al tratarse de un alimento, se encuentra regulado para Cd por la Resolución 4506 de 2013 del Ministerio de Salud de Colombia (MinSalud, 2013). Adicionalmente, al tratarse de un fruto principalmente para exportación debe cumplir con las reglamentaciones: (1) **(CE) No 1881/2006** de la EU (2006) y (2) la norma 193 del Codex Alimentarium (1995)

y (3) la Resolución 4506 de los Ministerios de Agricultura y Salud de Colombia (MADR & MinSalud, 2018; MinSalud, 2013).

Tomando en cuenta que las concentraciones de metales en los suelos pueden estar asociadas a causas antrópicas como la agricultura intensiva o a causas naturales como el material litológico de los suelos. Este capítulo tiene como objetivos (1) determinar si las concentraciones de Cd, Cr y Cu se relacionan con los materiales litológicos de los suelos o con el tipo de sistema productivo, (2) identificar la relación de transferencia fruta/suelo de los metales mencionados y (3) establecer cuales propiedades fisicoquímicas del suelo están relacionadas con la transferencia de los metales del suelo a la pulpa.

3.2 Metodología

3.2.1 Toma de muestras

Para este estudio se seleccionaron seis productores del sistema productivo convencional y seis del sistema productivo tecnificado, cuyos predios se localizarán en suelos de origen ígneo y aluvial. Los predios fueron visitados en dos periodos, durante los meses de junio a septiembre del 2016 y en septiembre del 2018. Se tomaron muestras de suelo compuestas a una profundidad de 20 a 40 cm, siguiendo el protocolo para toma de muestras del IGAC (s.f.). Se tomaron 30 muestras de fruta por cultivo, siguiendo el mismo recorrido realizado para la toma de muestra de suelo, el cual se tomó de acuerdo a la geomorfología del terreno.

Las muestras se guardaron por separado en bolsas de polipropileno, debidamente rotuladas y posteriormente almacenadas en neveras portátiles hasta ser llevadas al laboratorio de la Corporación Universitaria Lasallista. Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente, una vez secas se tamizaron y fueron almacenadas en frasco de vidrio con tapa plástica a temperatura ambiente. La pulpa fue extraída de la fruta y almacenadas en bolsas resellables y guardadas a -4°C hasta que finalizar la etapa del muestreo.

3.2.2 Análisis de metales

Los análisis de metales se realizaron en un laboratorio acreditado en la norma ISO 17025:2005 en el análisis de metales en matrices alimentarias. Se analizaron las concentraciones de Cd, Cr y Cu en suelo y fruta, usando una mezcla de HNO₃: HClO₄ (3:1) para la extracción. El análisis se hizo por digestión, mediante espectrofotometría de absorción atómica de llama y horno de grafito para Cd siguiendo el método 3052 de la EPA (1996).

3.2.3 Análisis fisicoquímicos

Las muestras de suelos fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Para textura se usó el método Boyoucos, para pH: agua (1:1); capacidad de intercambio catiónico: suma de cationes de cambio; y materia orgánica: Walkley Black.

3.2.4 Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el software R versión 1.1.463 (Rteam). Se desarrollaron análisis descriptivos de las propiedades fisicoquímicas y las concentraciones de metales en suelos y fruta para identificar: media, mediana, máximos, mínimos y desviación estándar.

Para identificar las relaciones entre las concentraciones de Cd, Cr y Cu en suelo y fruta, respecto al sistema productivo y material litológico, se usó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA). Las pruebas pareadas se efectuaron con los métodos de Duncan, LSD, Scheffé y Tukey (Anexo 3).

Para determinar la relación entre las concentraciones de metales identificados en suelo y fruta, y su relación con las propiedades fisicoquímicas del suelo, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables y se probaron mediante la prueba t de Student a niveles de: p <0.0001 '****'; p <0.001 '***', p <0.01 '**', p <0.05 '*', p <0.1 '.'

3.2.5 Determinación del factor de transferencia

Se empleó como indicador de la transferencia del metal del suelo a la fruta (Li *et al.*, 2014). Definido como la razón entre las diferentes concentraciones del metal sobre el suelo ($C_{\text{metal suelo}}$) y la fruta ($C_{\text{metal fruta}}$) (Ecuación 1).

$$IE = \frac{C_{\text{metal fruta}}}{C_{\text{metal suelo}}} \quad \text{Ecuación 1}$$

3.3 Resultados

3.3.1 Propiedades fisicoquímicas del suelo

Los estadísticos de las propiedades fisicoquímicas de los suelos se encuentran en la tabla 3-1, clasificados de acuerdo al material litológico (ígneos y depósitos aluviales) y el sistema productivo (Sistema productivo convencional -1- y tecnificado -3-). Se encontraron diferencias significativas entre los dos materiales litológicos y las variables asociadas a la textura: arena ($P = 0.007$; $R^2 = 0.585$), arcilla ($P = 0.0198$; $R^2 = 0.4499$) y limo ($P = 0.088$; $R^2 = 0.514$) (Figura 3-1). Entre los dos sistemas productivos se encontraron diferencias significativas en la variable Limo ($P = 0.0883$) (Figura 3-1).

Los valores de pH se encontraron entre los rangos de 4.8 y 5.6, el contenido de materia orgánica entre los 5.3 a 25.2 y la capacidad de intercambio catiónico (CICE) entre 3.3 y 9.5). No se encontraron diferencias significativas entre los sistemas productivos, los materiales litológicos y estas variables.

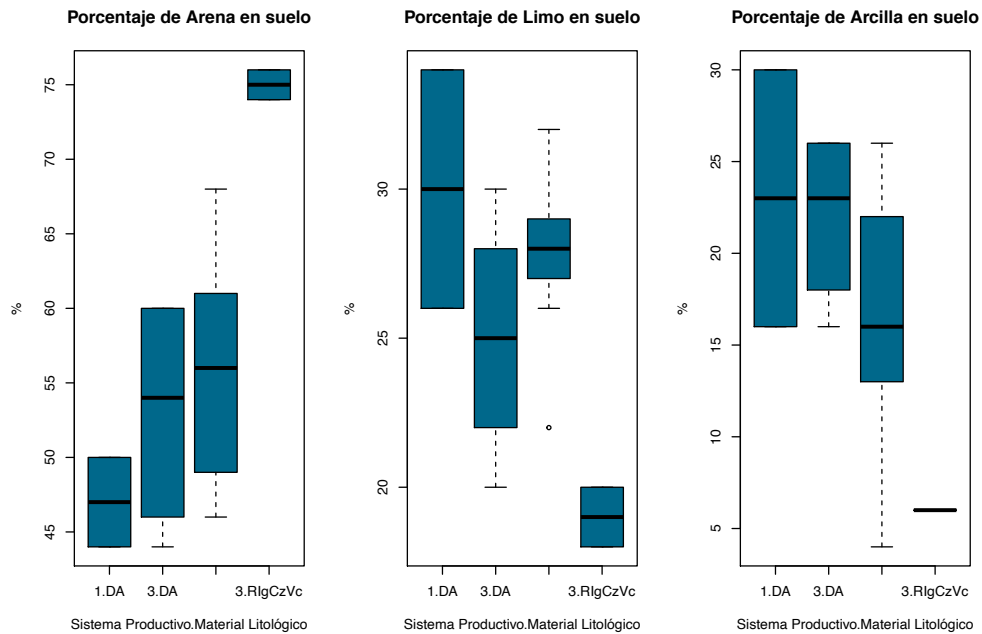
Tabla 3-1: Estadísticas resumen de las propiedades fisicoquímicas del suelo

Propiedad	Material litológico	Depósitos aluviales		Rocas ígneas	
	Sistema productivo	1	3	1	3
Arena	Rango	44 - 50	44 - 60	46 - 68	74 - 76
	Promedio	47.00	54	55.7	75
	Mediana	47.00	53	56	75
	SD	4.24	8.25	8.44	1.41
Limo	Rango	26-34	20 - 30	22 - 32	18 - 20
	Promedio	30.00	25	17.71	19
	Mediana	30.00	25	28	19
	SD	5.66	4.16	3.15	1.41

Tabla 3-2: (Continuación)

Propiedad	Material litológico	Depósitos aluviales		Rocas ígneas	
	Sistema productivo	1	3	1	3
Arcilla	Rango	16 - 30	16 - 26	4 - 26	6
	Promedio	23.00	22	16.57	6
	Mediana	23.00	23	16	6
	SD	9.90	4.90	7.46	-
pH	Rango	4.8 - 4.9	4.7 - 4.8	4.6 - 5.6	4.8 - 5.2
	Promedio	4.85	4.78	5	5
	Mediana	4.85	4.8	4.9	5
	SD	0.07	0.05	0.38	0.28
Materia orgánica	Rango	12.3 - 25.2	9.5 - 15.30	5.30 - 21.5	14.5 - 16.7
	Promedio	18.75	13.12	11.5	15.6
	Mediana	18.75	13.85	12	15.6
	SD	9.12	2.71	5.54	1.56
CICE	Rango	5.1 - 7	6.5 - 9.1	3.3 - 9.5	4.2 - 7.3
	Promedio	6.05	7.6	6.61	5.75
	Mediana	6.05	7.4	6.5	5.75
	SD	1.34	1.09	2.23	2.19

Figura 3-1: Boxplot de las variables asociadas a la textura del suelo



3.3.2 Concentraciones de metales en suelo

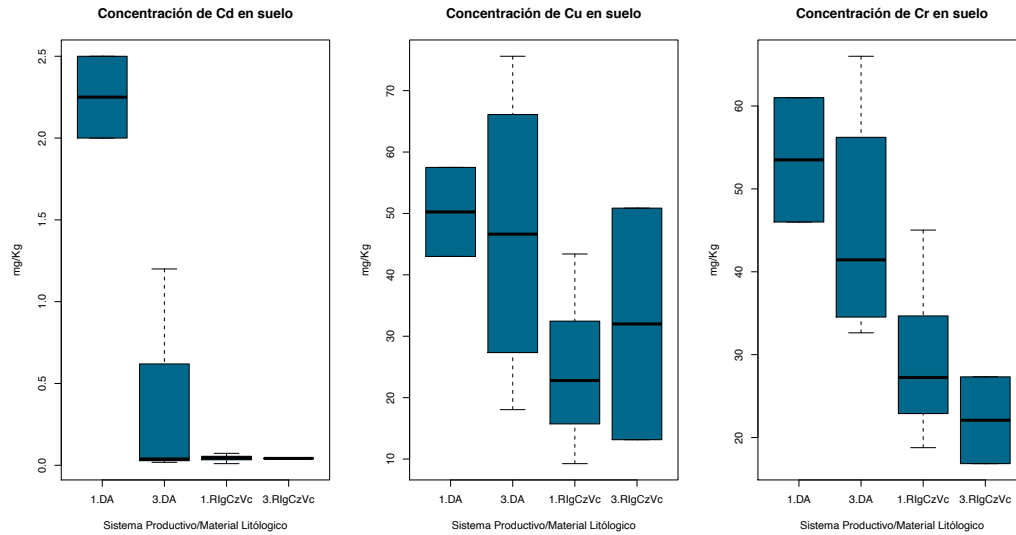
Los estadísticos asociados a las concentraciones de metales en suelos se encuentran en la tabla 3-2 clasificados de acuerdo al material litológico y el sistema productivo. Los valores más altos de Cd se identificaron en los cultivos localizados sobre depósitos aluviales de los sistemas productivos convencionales; en cuanto a los cultivos de este sistema productivo que se localizaron sobre materiales ígneos presentaron valores más bajos.

Se identificó que las concentraciones de Cd en suelo del sistema productivo convencional (1) son mayores en suelos formados a partir de depósitos aluviales respecto a los de tipo ígneos ($P= 1.715 \times 10^{-7}$ y $R^2= 0.9834$). Respecto al material litológico, se identificó que en cultivos localizados sobre depósitos aluviales, el sistema productivo convencional presentó mayores contenidos de Cd respecto al sistema tecnificado ($P=2.51 \times 10^{-5}$ y $F=47.9$) (Figura 3-2).

Las diferencias significativas se presentaron con las de Cu ($P=0.008$ y $F=3.7$) y Cr (0.05 y $F=12.5$) de los dos materiales litológicos (Figura 3-2), en donde, las concentraciones de estos metales fueron mayor en los suelos formados a partir de depósitos aluviales respecto a los ígneos. En cuanto al sistema productivo para estos metales no se presentaron diferencias significativas entre sí.

Tabla 3-3: Concentraciones de metales en suelos

	Material litológicos	Depósitos aluviales		Rocas ígneas	
	Sistema productivo	1	3	1	3
Cd Suelo	Rango	2.00 - 2.5	0.02 - 1.20	0.01 - 0.07	0.040 - 0.044
	Promedio	2.250	0.320	0.040	0.042
	Mediana	2.250	0.040	0.050	0.042
	SD	0.354	0.584	0.021	0.003
Cu Suelo	Rango	43.00 - 57.50	18.1 - 75.6	9.25 - 43.4	13.15 - 50.87
	Promedio	50.25	46.70	24.40	32.01
	Mediana	50.25	46.60	22.80	32.01
	SD	10.25	24.88	12.77	26.67
Cr Suelo	Rango	46.00 - 61.00	32.6 - 66.0	18.8 - 45.0	16.85 - 27.30
	Promedio	53.50	45.40	29.50	22.09
	Mediana	53.50	41.40	27.20	22.09
	SD	10.61	14.93	9.97	7.407

Figura 3-2: Boxplot con las concentraciones de metales en suelo

3.3.3 Concentración de metales en fruta

En la tabla 3-3 se reportó el resumen estadístico de las concentraciones de metales detectados en la pulpa de la fruta. El valor más alto para Cd y Cr en pulpa se identificó en frutas de sistemas productivos convencionales (3), localizados sobre depósitos aluviales. Respecto al contenido de Cu, el valor más alto se encontró en un cultivo localizado sobre materiales ígneos del sistema productivo convencional (1).

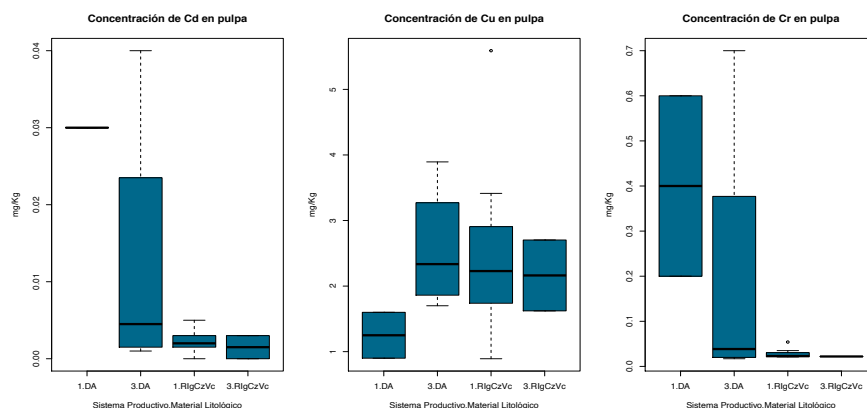
Tabla 3-4: Concentraciones de metales en pulpa

	Material litológico	Depósitos aluviales		Rocas ígneas	
	Sistema productivo	1	3	1	3
Cd pulpa	Rango	0.030- 0.036	0.001 - 0.04	0.000- 0.005	0.000 - 0.003
	Promedio	0.030	0.013	0.002	0.002
	Mediana	0.030	0.005	0.002	0.002
	SD	-	0.019	0.002	0.00
Cu pulpa	Rango	0.90 - 1.60	1.70 - 3.89	0.890 - 5.590	1.620 - 2.700
	Promedio	1.250	2.560	2.570	2.160
	Mediana	1.250	2.340	2.230	2.160
	SD	0.495	0.969	1.539	0.764
Cr pulpa	Rango	0.20 - 0.60	0.017 - 0.700	0.020 - 0.050	0.022 - 0.028
	Promedio	0.400	0.200	0.020	0.022
	Mediana	0.400	0.040	0.020	0.022
	SD	0.283	0.335	0.012	-

Las diferencias significativas se presentaron para Cd ($P = 0.005$; $R^2 = 0.564$) y Cr ($P = 0.03192$; $R^2 = 0.3829$) entre los dos materiales litológicos analizados (Figura 3-3). En donde los contenidos de ambos metales fueron mayores en los cultivos localizados sobre suelos

formados a partir de depósitos aluviales, respecto a las muestras de los cultivos localizados sobre materiales ígneos. En cuanto al contenido de Cu, no se identificaron diferencias significativas respecto al sistema productivo o el material litológico.

Figura 3-3: Boxplot con las concentraciones de metales en pulpa



3.3.4 Factor de transferencia

Los promedios de los factores de transferencia de metales del suelo a la fruta se muestran en la tabla 3-4, la secuencia del factor de transferencia fue Cr>Cd>Cu. El Cu y el Cd, presentaron valores similares y superiores a los de Cr.

Tabla 3-5: Factores de transferencia de metales suelo - fruta

Factor de transferencia	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	SD
Cd	0.0000	0.3889	0.0942	0.0484	0.1069
Cu	0.0157	0.4742	0.1091	0.0687	0.1069
Cr	0.0004	0.0130	0.0026	0.0008	0.0037

3.3.5 Propiedades fisicoquímicas relacionadas con la transferencia de metales

Las correlaciones entre las propiedades fisicoquímicas asociadas con la transferencia de los metales del suelo a la fruta se encuentran en la tabla 3-5. Se identificó una relación inversamente proporcional entre el contenido de arena y la concentración de Cr en el suelo. Por el contrario, el contenido de arcilla, presentó una relación directamente proporcional con respecto a las concentraciones de este metal en el suelo.

El contenido de Cd en la pulpa de fruta presentó una relación inversamente proporcional con el contenido de arena y directamente proporcional con el contenido de Cd. Lo cual significa que a mayores concentraciones de Cd en el suelo es mayor la concentración que se pueden encontrar en la pulpa de la fruta (Tabla 3-5).

El contenido de Cr en pulpa se correlacionó de manera positiva con la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de este metal en los suelos. Lo cual significa que a mayores concentraciones de Cr y capacidad de intercambio catiónico de los suelos aumenta el contenido de Cr en pulpa. Respecto a los factores de transferencia (TF) se identificaron correlaciones entre el TF del Cr con el contenido de limo y la capacidad de intercambio catiónico de los suelos.

Tabla 3-6: Correlaciones entre variables

	A	L	Ar	pH	MO	CICE	Cds	Cus	Crs	Cdp	Cup	Crp	TFCd	TFCu	TFCr
A	1.00														
L	-0.69 **	1.00													
Ar	-0.91 **	0.34	1.0												
pH	0.31	-0.09	-0.36	1.00											
MO	0.34	0.03	-0.46	-0.27	1.00										
cice	-0.03	0.15	0.04	-0.49	0.27	1.00									
Cds	-0.48	0.37	0.41	-0.13	0.26	-0.02	1.00								
Cus	-0.46	0.24	0.47	-0.41	-0.02	-0.03	0.53 *	1.00							
Crs	-0.78 ***	0.48	0.74 **	-0.14	-0.19	0.01	0.68 **	0.63 *	1.00						
Cdp	-0.53 *	0.41	0.46	-0.24	0.17	0.19	0.88 ***	0.65 **	0.78 ***	1.00					
Cup	0.27	-0.43	-0.11	0.02	-0.15	0.04	-0.41	-0.18	-0.48	-0.38	1.00				
Crp	-0.42	0.50	0.26	-0.16	0.24	0.27	0.72 **	0.60 *	0.66 ***	0.91 ***	-0.29	1.00			
TFCd	-0.093	-0.20	0.23	-0.12	-0.13	-0.16	-0.29	-0.27	-0.002	-0.15	-0.02	-0.25	1.00		
TFCu	0.39	-0.38	-0.29	0.41	-0.10	0.035	-0.33	-0.61 **	-0.51	-0.35	0.76	-0.30	0.009	1.00	
TFCr	-0.33	0.51 *	0.14	-0.12	0.38	0.23	0.72 **	0.51	0.53 *	0.85 ***	-0.24	0.97 ***	-0.29	-0.26	1.00

p < 0.0001 '****'; p < 0.001 '***'; p < 0.01 '**', p < 0.05 '*'

3.4 Discusión de resultados

3.4.1 Concentración de metales en los suelos

Dado que los suelos analizados presentaron un pH en un rango entre 4.8 y 5.5 se clasificaron como extremadamente¹¹ ácidos (ICA, 1992). Tomando en cuenta que los cultivos se localizaron en un piso térmico templado, todas las muestras presentaron alto contenido de materia orgánica (superior a 5%) (ICA, 1992). Cabe resaltar que estos valores se encuentran en los rangos recomendados para el cultivo de gulupa (Angulo, 2009). Por otra parte, todos los suelos presentaron una baja capacidad de intercambio catiónico (menor a 10 meq) (ICA, 1992).

En cuanto a las propiedades asociadas a la textura – Arcilla, Limo y Arena – se encontraron diferencias asociadas al tipo de material parental, mas no al sistema productivo. Lo cual confirma lo establecido en estudios como los de Schaetzl (1991), Wilson, Lambert, Nanzyo, & Dahlgren (2017) y Yassoglou, Nobeli, & Vrahamis, (1969), quienes señalaron que los materiales litológicos presentan diferencias texturales entre sí.

Las diferencias en las concentraciones de Cr, Cu y Cd entre los dos materiales litológicos coinciden con lo reportado en los estudios de Hohl & Varma (2010), Kamal *et al.*, (2010) y Zhou *et al.*, (2016), quienes identificaron que hay una variabilidad en las concentraciones de metales de acuerdo al material litológico. En este caso se identificó que los depósitos aluviales presentaron una mayor concentración de metales respecto a los ígneos, coincidiendo con lo reportado en los estudios de Alina & Pendas (2001), Collin & Doelsch (2010), Døelsch, de Kerchove, & Macary (2006) y Sollitto *et al.* (2010).

Es de resaltar que los suelos de materiales ígneos caracterizados presentaron cenizas volcánicas, lo cual puede influir en altos niveles de Cr y Cu por origen pedogeoquímico (Anda, 2012; Døelsch *et al.*, 2006); sin embargo, para el caso de estudio, las concentraciones de estos metales presentaron valores inferiores respecto a las identificadas en los depósitos

¹¹ pH con valores inferiores a 5.5 son clasificados como extremadamente ácidos.

aluviales. Por tanto, para poder concluir si los suelos se encuentran contaminados es necesario conocer los valores de fondo de estos metales en los suelos de Antioquia.

Al comparar las concentraciones de metales identificadas con respecto a los rangos promedio mundial (Rueda *et al.*, 2011), las muestras de suelos de origen aluvial del sistema convencional, que se encontraron en un rango entre los 2 mg/Kg y 2.5 mg/Kg, sobrepasaron en 0.9 unidades el promedio máximo reportado para Cd. Respecto a las concentraciones detectadas de Cu y Cr se encontraron dentro de los rangos reportados a nivel mundial para ambos materiales litológicos y sistemas productivos.

Los estándares de calidad ambiental para suelos contaminados (Hohl & Varma, 2010) señalan que las concentraciones de Cd en suelos para la agricultura deben ser inferiores a 1 mg/Kg. Las muestras del sistema productivo convencional localizado en suelos aluviales presentan concentraciones de Cd que duplican estos valores, así mismo, se identificó una muestra del sistema tecnificado localizada en este mismo tipo de suelo, que superó en 0.2 unidades estos estándares.

De acuerdo a los reportes en suelos tropicales¹² (Fadigas, Do Amaral Sobrinho, Mazur, & Cunha Dos Anjos, 2006) y de origen volcánico¹³ (Døelsch *et al.*, 2006). Las concentraciones de metales identificadas en los materiales ígneos se encontraron dentro de los valores de referencia. Sin embargo, en los suelos aluviales se identificaron muestras que sobrepasaron los rangos de Cd y Cr para suelos tropicales.

Las concentraciones detectadas de Cu fueron hasta cinco veces superiores a los valores¹⁴ encontrados en suelos de cultivos de frutos de la pasión¹⁵ de la región norte de Nigeria (Emurotu & Onianwa, 2017). Esto podría asociarse al uso de fungicidas a base de sulfato de cobre (aprobados por el ICA para su uso gulupa (ICA, 2019a)) o el uso de fertilizantes

¹² Cd: 0.3 – 1.0 mg/Kg; Cu: 3 – 119 mg/Kg; Cr: 23-65 mg/Kg

¹³ Cd: 0.02 – 0.76 mg/Kg; Cu: 6.5-164 mg/Kg; Cr: 35-1110 mg/Kg

¹⁴ Promedio de Cu 4.8 mg/Kg

¹⁵ Especie sin especificar

fosfatados. Por el contrario, en referencia a las concentraciones de Cd analizadas en suelo nigeriano, el promedio de los valores supera a los de este estudio.

Dado que Colombia no cuenta con una legislación específica para metales en suelos, se compararon los resultados obtenidos con la Resolución 1207 del 2014 (MinAmbiente, 2014), la cual establece los valores máximos para el reúso de aguas residuales como fertilizantes en cultivos. Se identificó que los valores promedio de Cd, Cu y Cr obtenidos sobrepasan en 3, 24 y 220 veces a los establecidos en este reglamento¹⁶. Sin embargo, se resalta que esta legislación es para vertimientos y el suelo presenta una capacidad de amortiguamiento y bioacumulación superior a la del agua.

Respecto a la resolución 631 del 2015 (MinAmbiente, 2015) que establece los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y alcantarillado de actividades agropecuarias como la caña de azúcar y los procesos de poscosecha del banano, los valores detectados en los sistemas productivos de los suelos aluviales sobrepasan lo reglamentado¹⁷. En cuanto a los resultados promedio de este metal en suelos de origen ígneo son inferiores a lo establecido en el este reglamento.

Dado que altos valores de cadmio en suelo se asocian a causas antrópicas como el uso intensivo de agroquímicos (Hao *et al.*, 2011; Nicholson, Smith, Alloway, Carlton, & Chambers, 2003; Rodríguez *et al.*, 2018), las diferencias en las concentraciones de Cd identificadas entre los dos sistemas productivos localizados en suelos aluviales, podrían estar asociadas al uso intensivo de agroquímicos que presentó el sistema convencional con respecto al tecnificado. Sin embargo, como en los suelos ígneos no se evidenciaron estas diferencias para resultados mas concluyentes es recomendable ampliar el muestreo.

En cuanto a las correlaciones entre las concentraciones de metales en suelo y las propiedades fisicoquímicas, se identificó que los niveles de Cr en el suelo decrecen con el contenido de

¹⁶ Cd: 0.01 mg/L; Cu: 1 mg/L y Cr: 0.1 mg/L

¹⁷ Cd: 0.05 mg/L

arena y aumentan con el contenido de arcilla; esto podría estar asociado a la afinidad de las arcillas con los cationes metálicos, los cuales se adhieren a esta (Kabata & Pendias, 2001) generando una mayor acumulación en el suelo, mientras que las arenas probablemente promueven la migración del metal a otros compartimientos ambientales (Reijonen & Hartikainen, 2016).

3.4.2 Concentración de metales en fruta

Ninguna de las muestras de fruta analizadas sobrepasó los límites reglamentarios para Cd, por el (CE) No 1881/2006 de la EU (2006), la norma 193 del Codex Alimentarium (1995), la reglamentación GB2762-2012 del gobierno Chino (State Environmental Protection Administration, 2005) y la Resolución 4506 de 2013 del Ministerio de Salud de Colombia (MinSalud, 2013). En cuanto a las concentraciones de Cr detectadas, las muestras analizadas cumplen con los límites establecidos por la normatividad China, las demás reglamentaciones no regulan este metal, al igual que el Cu.

Al comparar los resultados obtenidos con valores reportados en diferentes frutas tropicales (Gökbel, Harmankaya, & Özcan, 2015) las concentraciones promedio detectadas fueron iguales en Cd, y entre cuatro y dos veces menores para Cr y Cu respectivamente. Respecto a reportes para manzanas de Kosovo (Imeri *et al.*, 2019), los valores promedios detectados fueron inferiores en 1.4, 3.5 y 50 veces en Cu, Cd y Cr en orden. Para valores reportados de Cd y Cu en pasifloras (Emurotu & Onianwa, 2017), el promedio de las concentraciones detectadas son casi dos y tres veces menores.

No se identificaron diferencias significativas entre el tipo de sistema productivo y los contenidos de metales detectados en la fruta. Sin embargo, entre el tipo de material litológico y los contenidos de Cr y Cd si se presentaron; esta relación podría estar asociada a las diferencias identificadas entre las propiedades asociadas a la textura (arena, limo, arcilla) de los materiales litológicos, que podrían estar influenciando el proceso de migración y translocación de los metales a la fruta.

3.4.3 Variables correlacionadas con la migración de metales del suelo a la fruta

De acuerdo a los resultados obtenidos el factor de transferencia (TF) del Cr fue el más bajo respecto al Cu y Cd. Esto se debe a la limitada disponibilidad para las plantas de este elemento con respecto a los otros dos metales (Rodríguez *et al.*, 2018). Pero adicional a ello, el Cr (VI) que es el más biodisponible aumenta su solubilidad en rangos de pH de 5.5 a 8, mientras que el del Cu varía entre 4.5 a 7 (Kabata & Pendias, 2001). Tomando en cuenta que los rangos de pH identificados en este estudio se encontraron entre 4.8 a 5.5, la condiciones están dadas para una mayor absorción de Cu respecto a Cr.

El promedio de los factores de transferencias de Cd¹⁸ y Cu¹⁹ reportados en frutos de la pasión²⁰ de Kenia (Emurotu & Onianwa, 2017) fueron superiores a los obtenidos en esta investigación en 2.3 y 7 veces respectivamente. Incluso el TF para Cd en el estudio keniano fueron similares a los del arroz (Mao *et al.*, 2019), aún cuando la capacidad de absorción varía entre especies (Rodríguez *et al.*, 2018). Las diferencias identificadas entre los dos tipos de pasifloras pueden estar asociadas a la variedad genética (Hao *et al.*, 2011; Imeri *et al.*, 2019) dado que en el estudio Keniano no se conoce la especie sobre la cual desarrollaron la investigación.

La correlación identificada entre los contenidos de Cd en suelo y pulpa, podría indicar una relación directamente proporcional, la cual ya había sido reportada en algunos estudios sobre este metal debido a la alta disponibilidad que presenta (Hao *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2018; H. Zhao, Xia, Fan, Zhao, & Shen, 2012). Esta relación también se evidencio entre los contenidos de Cr, la cual se ha evidenciado para la especie Cr III a bajos niveles de pH (Reijonen & Hartikainen, 2016), la cual podría estar predominando en este caso de estudio, por lo cual se sugiere que en futuros estudios se analice este especie.

¹⁸ 0.21

¹⁹ 0.77

²⁰ En el estudio no se especifica la especie sobre la cual se realizó el estudio. Solo se reporta como Frutos de la pasión (passion fruit)

Para Cu no fueron evidentes correlaciones que pudieran indicar procesos de migración del metal a la planta, aún cuando presenta una mayor biodisponibilidad que el Cr (Rodríguez *et al.*, 2018), esto puede estar asociado a los altos contenidos de materia orgánica de los suelos estudiados, que al formar complejos altamente estables con este metal, disminuye la capacidad de movilidad hacia las plantas (Kabata & Pendias, 2001). Sin embargo, para resultados más concluyentes se hace necesario tener más puntos de muestreo y variables fisicoquímicas.

3.5 Conclusiones

Se identificaron diferencias significativas entre el contenido de metales y el material litológico. Los suelos de origen aluvial presentaron niveles más altos de Cu, Cr y Cd con respecto a suelos ígneos. Al comparar los sistemas productivos de suelos aluviales, se identificó que el sistema más intensivo en el uso de plaguicidas (convencional) presentó un mayor contenido de Cd con respecto al otro sistema; sin embargo, esta diferencia no se presentó en los cultivos localizados sobre suelos formados a partir de materiales ígneos. Se sugiere incrementar los puntos de muestreo para obtener resultados más concluyentes que nos permitan concluir si el tipo de sistema productivo se relaciona con altos niveles de contaminación en los suelos.

Las propiedades fisicoquímicas: pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, no se correlacionaron con la migración de metales a la fruta. Sin embargo, altos contenidos de los metales: Cr y Cd, en el suelo, representaron mayor concentración de estos metales en la fruta. Esta relación no se evidenció para Cu posiblemente por los altos contenidos de materia orgánica de los suelos analizados, la cual tiene la capacidad formar complejos con este metal disminuyendo su biodisponibilidad.

Las concentraciones detectadas de Cd, Cr y Cu en suelos y fruta, y el factor de transferencia, fueron significativamente menores en comparación con lo reportado en cultivos de pasifloras en Kenia. Esto podría ser una ventaja competitiva para Colombia en el posicionamiento internacional, máxime si se toma en cuenta que uno de las debilidades de

la productividad colombiana para exportar es el cumplimiento de las normativas asociadas a inocuidad de los alimentos.

4. Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se identificó que a nivel de manejo de plaguicidas, los pequeños productores con sistemas productivos de tipo convencional localizados en el Oriente, respecto a los grandes productores con sistemas tecnificados localizados en el Suroeste, presentaron un uso intensivo de plaguicidas, mayores niveles de residualidad en fruta y emplearon sustancias con mayores niveles de peligrosidad para la salud humana y el ecosistema. Por lo cual se concluye que la contaminación asociada al uso de plaguicidas se relacionó con el tipo de sistema productivo.

Sin embargo, dada la extensión de los cultivos de los productores tecnificados, para poder definir el nivel de impacto es necesario evaluar de manera puntual los impactos ambientales asociados al uso de plaguicidas en cada cultivo, tomando en cuenta las condiciones ambientales de la zona y vulnerabilidad de los ecosistemas circundantes a los cultivos.

En cuanto al contenido de metales en suelo y fruta estos no se relacionaron con el tipo de sistema productivo, pero si con el tipo de material litológico. Solo se identificaron altas concentraciones de Cd en los suelos formados a partir de depósitos aluviales de los sistemas productivos convencionales respecto a los tecnificados; sin embargo, esta relación no se mantuvo en los suelos formados a partir de materiales ígneos, por lo cual no es posible concluir que hay contaminación en los suelos por Cd debido al tipo de sistema productivo.

Adicionalmente, para poder concluir si los niveles de Cd, Cu y Cr identificados en los suelos son de tipo antrópico, es decir, si están contaminando los suelos es necesario conocer el valor de fondo de estos metales en los suelos del Departamento.

Por lo anterior, con el fin de fortalecer la competitividad del sector productivo del país y el cumplimiento de las normas de inocuidad químicas exigidas por los mercados internacionales, es necesario la creación de políticas e inversión pública en la concientización y educación de los pequeños productores en cuanto al riesgo y uso de plaguicidas, la implementación de buenas practicas agrícolas y demás elementos de gestión para el cultivo de gulupa, así como investigación en esta área que permita responder a las

necesidades del cultivo. Y por fortalecer los procesos de transferencia y asistencia técnica para que esta no sea ofertada por casas comerciales de agroquímicos.

Anexos: estadísticos descriptores cualitativos

Componente	Descriptor	Variable	Número de productores
Ambiental	Subregión	Oriente	26
		Suroeste	9
	Litología	Depósitos aluviales	6
		Ígneos	26
		Metamórficos	3
	Vocación del suelo	Agrícola	6
		Agroforestal	3
		Conservación	4
		Forestal	22
	Textura del suelo	F	6
		FA	17
		FAr	5
		FArA	7
Sociocultural	Tipo de tenencia	Alquilada	8
		Propia o familiar	27
	Presencia de otros cultivos	Sí	18
		No	17
	Nivel de formación	Básica (primaria - secundaria)	27
		Profesional (técnica- tecnológica - profesional)	8
	Tipo de mano de obra	Contratada	11
		Familiar	24
	Asociado	Sí	28
		No	7
Tipo de asistencia técnica	A través de la asociación	27	
	Independiente	8	
Dinámica comercial para la fruta	A través de la asociación	28	
	Directamente exportadora	7	
Agronómico	Semitecho	Sí	33
		No	2
	Sistema de riego	Goteo	11
		No cuenta	24
	Origen del agua de riego	Acueducto veredal	15
		Fuente agua	17
		Lluvia	3
	Monitoreo de plagas y enfermedades	Sí	8
		No	27
	Cultivo anterior a gulupa	Barbecho	4
		Ganadería	5
		Tomate	22
		Otros	4
	Calibración de equipos	Sí	7
		No	28
	Tipo de plaguicidas empleados	Síntesis química	10
		Síntesis química y bioplaguicidas	25
Periodicidad de aplicación de plaguicidas (semana)	<1	6	
	2-3	6	
	4	23	
Certificación ambiental o similares	Sí	7	
	No	28	

A. Anexos: Formula química de los plaguicidas detectados en muestras de fruta.

Principio activo	Formula estructural	Grupo químico
Azoxystrobin	C ₂₂ H ₁₇ N ₃ O ₅	Triazoles
Chlorfenapyr	C ₁₅ H ₁₁ BrClF ₃ N ₂ O	Pyroles
Chlorothalonil	C ₈ Cl ₄ N ₂	Cloronitrilos
Deltamethrin	C ₂₂ H ₁₉ Br ₂ NO ₃	Piretroide
Difenoconazole	C ₁₉ H ₁₇ Cl ₂ N ₃ O	Conazol
Dimethomorph	C ₂₁ H ₂₂ ClNO ₄	Morfolinas
Iprodione	C ₁₃ H ₁₃ Cl ₂ N ₃ O ₃	Dicarboximidias
Methamidophos	C ₂ H ₈ NO ₂ PS	Organofosforado
Pyraclostrobin	C ₁₉ H ₁₈ ClN ₃ O ₄	Estrobilurina clorado
Spinetoram	C ₄₂ H ₆₉ NO ₁₀	NR
Spiromesifen	C ₂₃ H ₃₀ O ₄	Ácido tetrónico
Tebuconazole	C ₁₆ H ₂₂ ClN ₃ O	Triazol
Trifloxystrobin	C ₂₀ H ₁₉ F ₃ N ₂ O ₄	Estrobina, antibiótico, fluorado.
Spinosad	C ₄₁ H ₆₅ NO ₁₀	Espinosin

B. Anexos: pruebas pareadas para Anova (capítulo 3)

PRUEBAS PARA Cd EN SUELO

```
> modACds<-lm(cds~sistp+Lit, Metales)
> ANOVA <- aov(modACds)
> summary(ANOVA)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
sistp     1  0.333   0.333   1.049 0.32599
Lit       1  5.019   5.019  15.804 0.00184 **
Residuals 12  3.811   0.318
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

PRUEBA LSD

```
> Grupos.Litologia<- LSD.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)

Study: ANOVA ~ "Lit"

LSD t Test for cds

Mean Square Error: 0.317565

Lit, means and individual ( 95 %) CI

      cds      std r      LCL      UCL Min Max
DA    0.96583333 1.10419970 6 0.4645762 1.4670905 0.018 2.500
RIgCzVc 0.04333333 0.01797915 9 -0.3659414 0.4526081 0.010 0.073

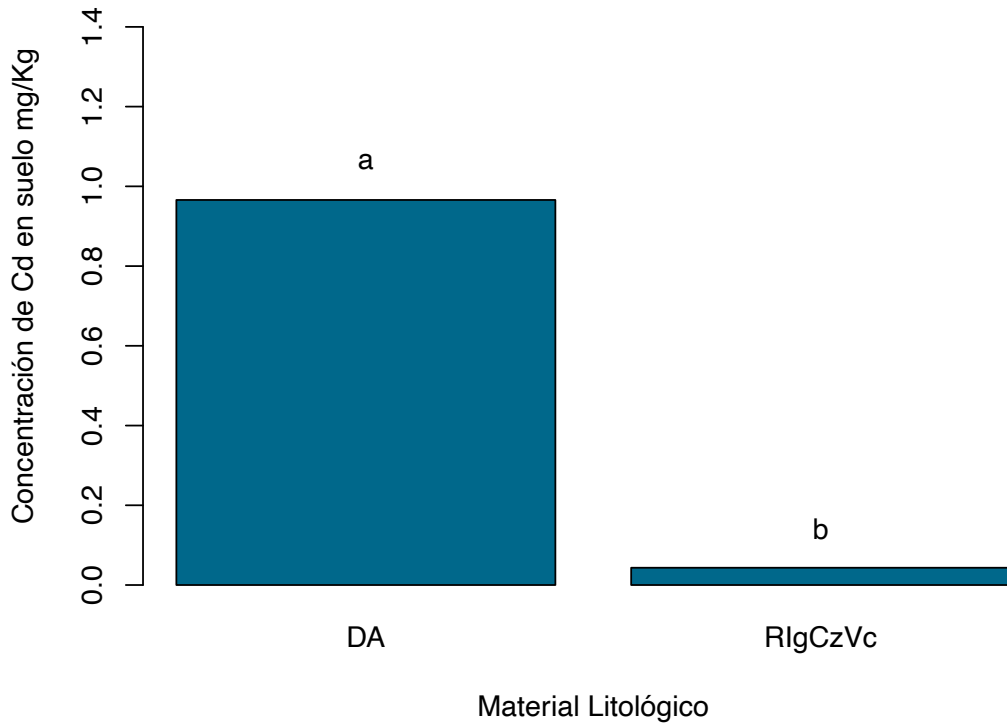
Alpha: 0.05 ; DF Error: 12
Critical Value of t: 2.178813

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

      cds groups
DA    0.96583333  a
RIgCzVc 0.04333333  b
```

Prueba de comparación de medias por medio del método LSD



> # Estadísticos de la prueba LSD

> Grupos.Litologia\$statistics

```
MSerror Df Mean CV
0.317565 12 0.4123333 136.6683
```

> |

PRUEBA DUNCAN

```
> # Prueba de comparaciones múltiples de Duncan
> Grupos.Litologia.Duncan <-duncan.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)

Study: ANOVA ~ "Lit"

Duncan's new multiple range test
for cds

Mean Square Error: 0.317565

Lit, means

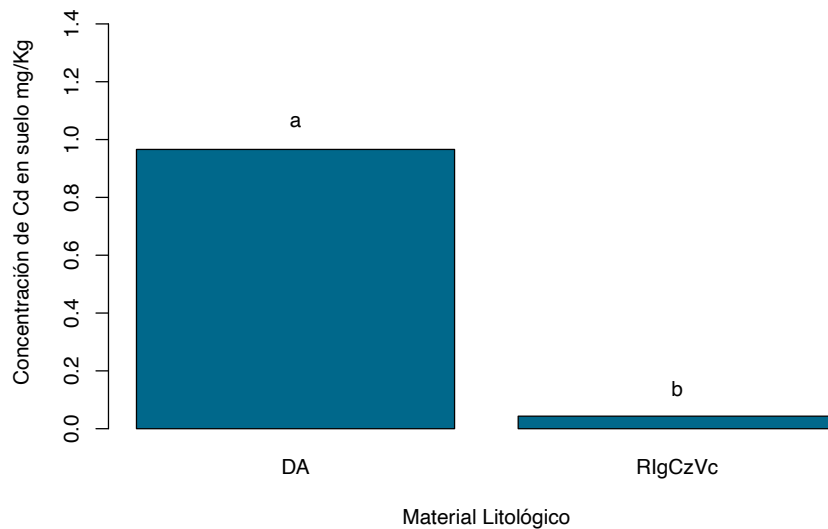
      cds      std r  Min  Max
DA  0.96583333 1.10419970 6 0.018 2.500
RIgCzVc 0.04333333 0.01797915 9 0.010 0.073

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )

Means with the same letter are not significantly different.

      cds groups
DA  0.96583333  a
RIgCzVc 0.04333333  b
```

Prueba de comparación de medias por medio del método Duncan



```
> # Estadísticos de la prueba Duncan
> Grupos.Litologia.Duncan$statistics

MSerror Df      Mean      CV
0.317565 12 0.4123333 136.6683
```

PRUEBA TUKEY

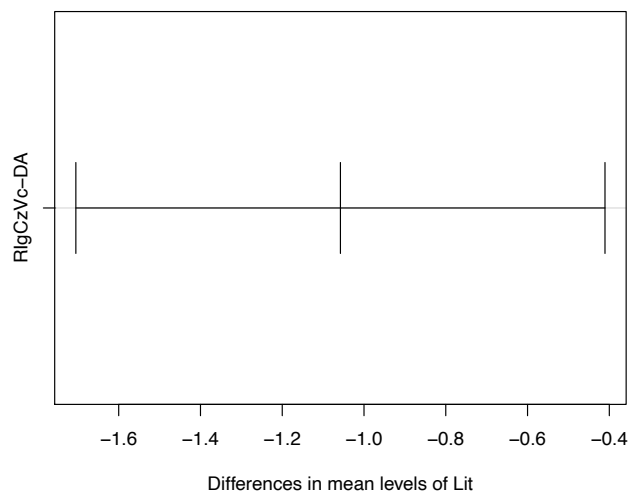
```
> # Prueba de comparaciones múltiples de Tukey
> Grupos.Litologia.Tukey<-TukeyHSD(ANOVA)
> Grupos.Litologia.Tukey
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = modACds)

$sistp
      diff      lwr      upr    p adj
3-1 -0.3041667 -0.9512869 0.3429536 0.3259858

$Lit
      diff      lwr      upr    p adj
RIgCzVc-DA -1.057685 -1.704805 -0.410565 0.0039155
```

95% family-wise confidence level



PRUEBA SHEFFÉ

Study: ANOVA ~ "Lit"

Scheffe Test for cds

Mean Square Error : 0.317565

Lit, means

	cds	std r	Min	Max
DA	0.96583333	1.10419970	6 0.018	2.500
RlgCzVc	0.04333333	0.01797915	9 0.010	0.073

Alpha: 0.05 ; DF Error: 12

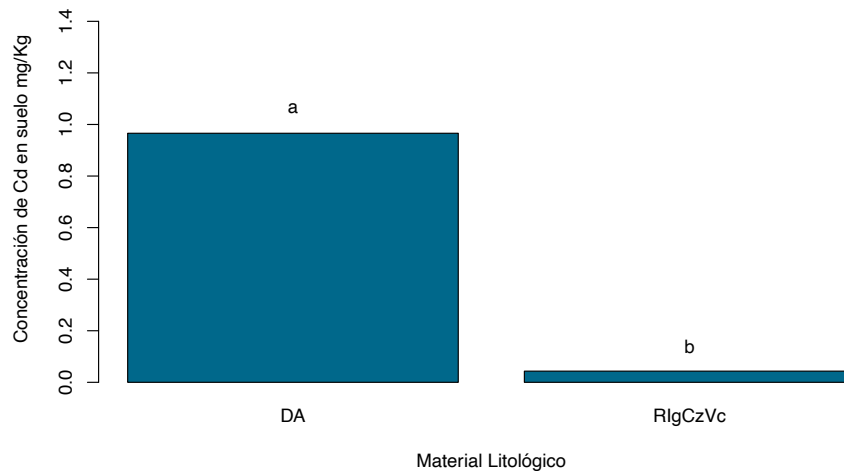
Critical Value of F: 4.747225

Groups according to probability of means differences and alpha level (0.05)

Means with the same letter are not significantly different.

	cds	groups
DA	0.96583333	a
RlgCzVc	0.04333333	b

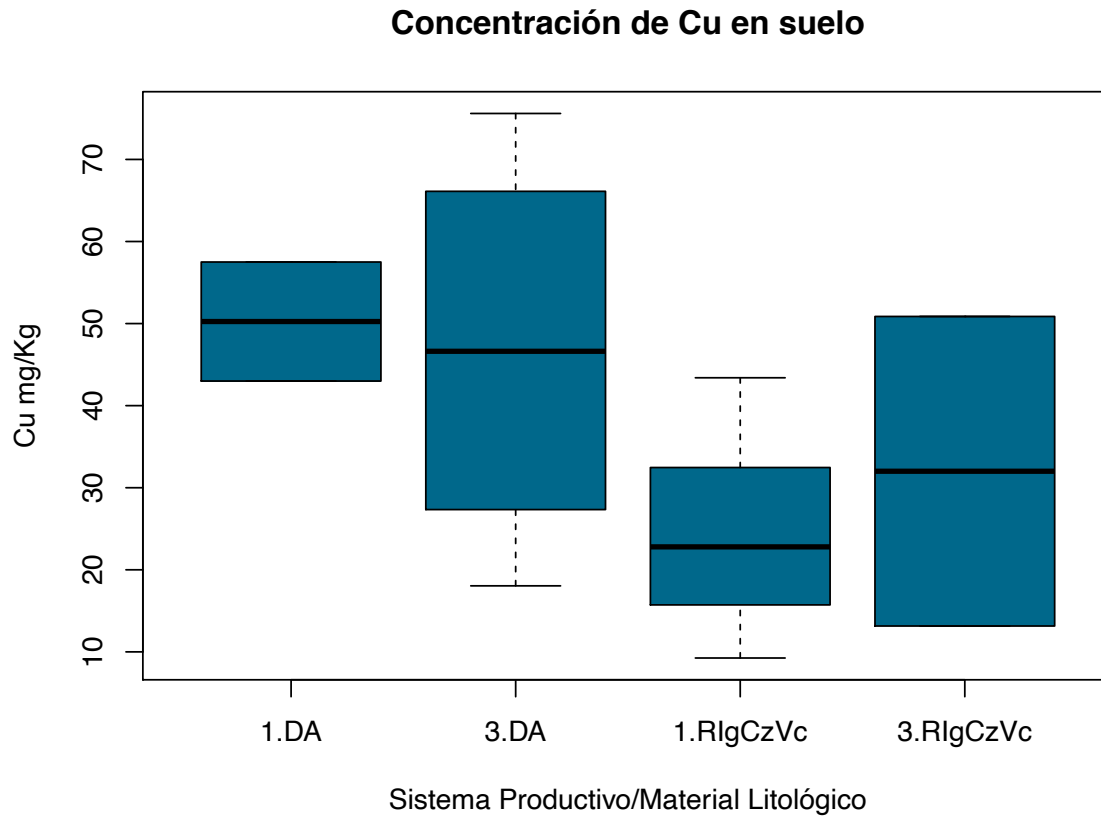
Prueba de comparación de medias por medio del método Scheffé



> # Estadísticos de la prueba Sheffe

> Grupos.Litologia.Sheffe\$statistics

MSerror	Df	F	Mean	CV
0.317565	12	4.747225	0.4123333	136.6683



```
> modACds<-lm(cus~sistp+Lit, Metales)
```

```
> ANOVA <- aov(modACds)
```

```
> summary(ANOVA)
```

```
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
sistp      1   481   481.2    1.545 0.2377
Lit        1  1230  1229.9    3.948 0.0703 .
Residuals 12   3739   311.5
```

```
---
```

```
Signif. codes:
```

```
0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```


PRUEBA LSD

LSD t Test for cus

Mean Square Error: 311.5462

Lit, means and individual (95 %) CI

	cus	std r	LCL	UCL	Min	Max
DA	47.89933	19.88974	6	32.19912	63.59955	18.045
RIgCzVc	26.20333	14.90414	9	13.38416	39.02250	9.252

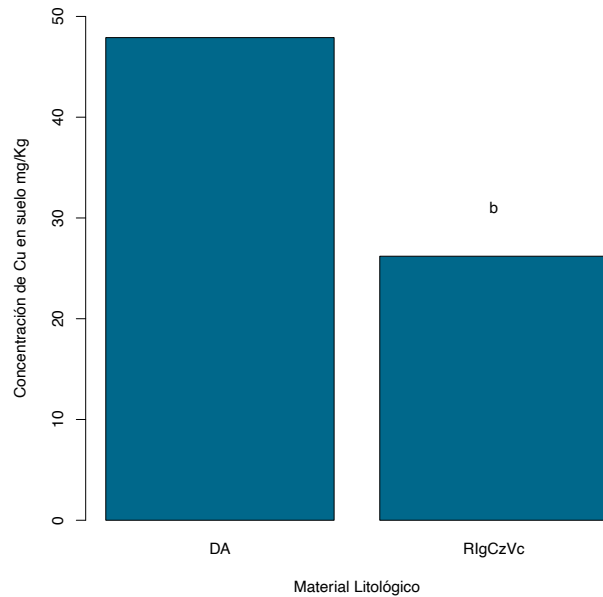
Alpha: 0.05 ; DF Error: 12
 Critical Value of t: 2.178813

Groups according to probability of means differences and alpha level (0.05)

Treatments with the same letter are not significantly different.

cus	groups
DA 47.89933	a
RIgCzVc 26.20333	b

Prueba de comparación de medias por medio del método LSD



```
> Grupos.Litologia$statistics
MSerror Df Mean CV
311.5462 12 34.88173 50.60147
```

PRUEBA DUNCAN

```
> Grupos.Litologia.Duncan <-duncan.test(y = ANOVA, trt = "Lit", g
roup = T, console = T)
```

Study: ANOVA ~ "Lit"

Duncan's new multiple range test
for cus

Mean Square Error: 311.5462

Lit, means

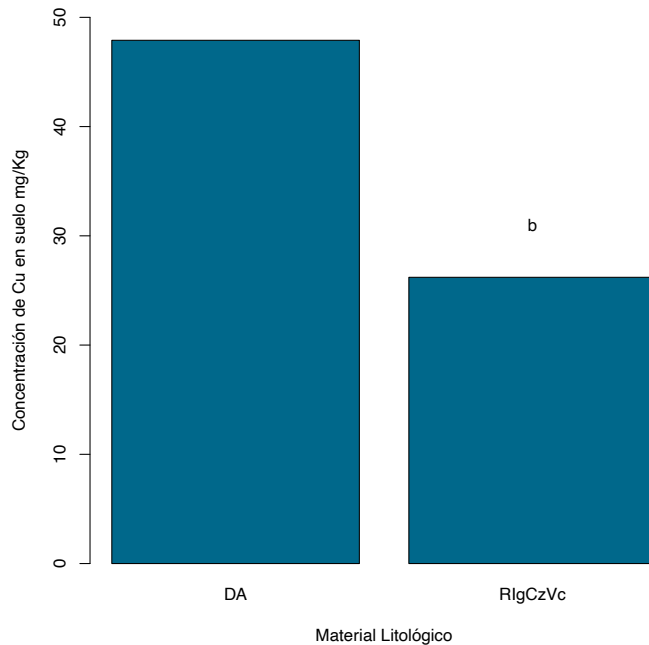
	cus	std r	Min	Max
DA	47.89933	19.88974	6 18.045	75.600
RlgCzVc	26.20333	14.90414	9 9.252	50.867

Groups according to probability of means differences and alpha level(0.05)

Means with the same letter are not significantly different.

	cus	groups
DA	47.89933	a
RlgCzVc	26.20333	b

Prueba de comparación de medias por medio del método Duncan



```
> Grupos.Litologia.Duncan$statistics
```

MSerror	Df	Mean	CV
311.5462	12	34.88173	50.60147

PRUEBA TUKEY

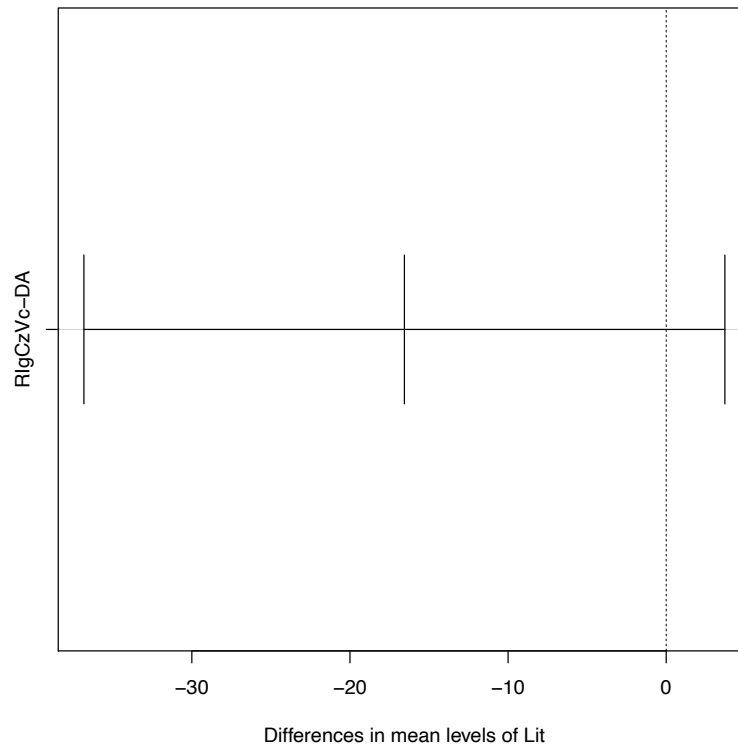
```
> # Prueba de comparaciones múltiples de Tukey
> Grupos.Litologia.Tukey<-TukeyHSD(ANOVA)
> Grupos.Litologia.Tukey
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = modACds)

$sistp
      diff      lwr      upr    p adj
3-1 11.56183 -8.707053 31.83072 0.2376623

$Lit
      diff      lwr      upr    p adj
RIgCzVc-DA -16.55741 -36.82629 3.711479 0.1004154

    95% family-wise confidence level
```



PRUEBA SHEFFÉ

Study: ANOVA - "Lit"

Scheffe Test for cus

Mean Square Error : 311.5462

Lit, means

	cus	std r	Min	Max
DA	47.89933	19.88974	6 18.045	75.600
RIgCzVc	26.20333	14.90414	9 9.252	50.867

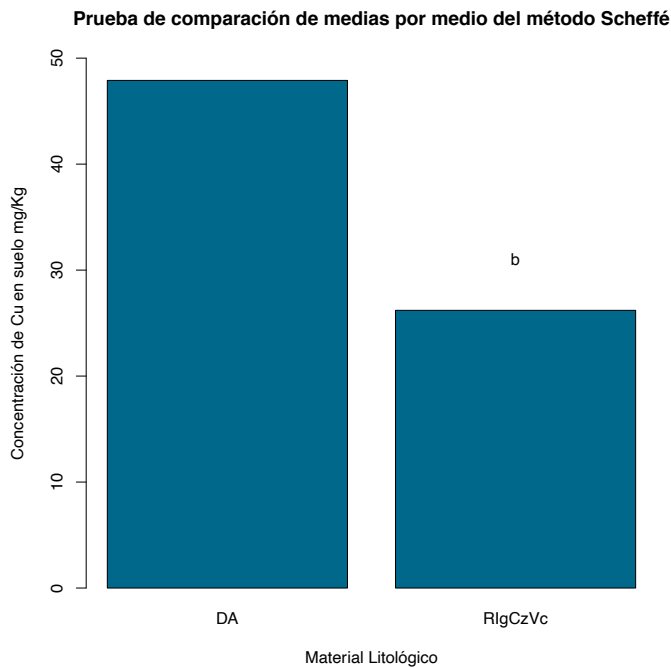
Alpha: 0.05 ; DF Error: 12

Critical Value of F: 4.747225

Groups according to probability of means differences and alpha level(0.05)

Means with the same letter are not significantly different.

	cus	groups
DA	47.89933	a
RIgCzVc	26.20333	b



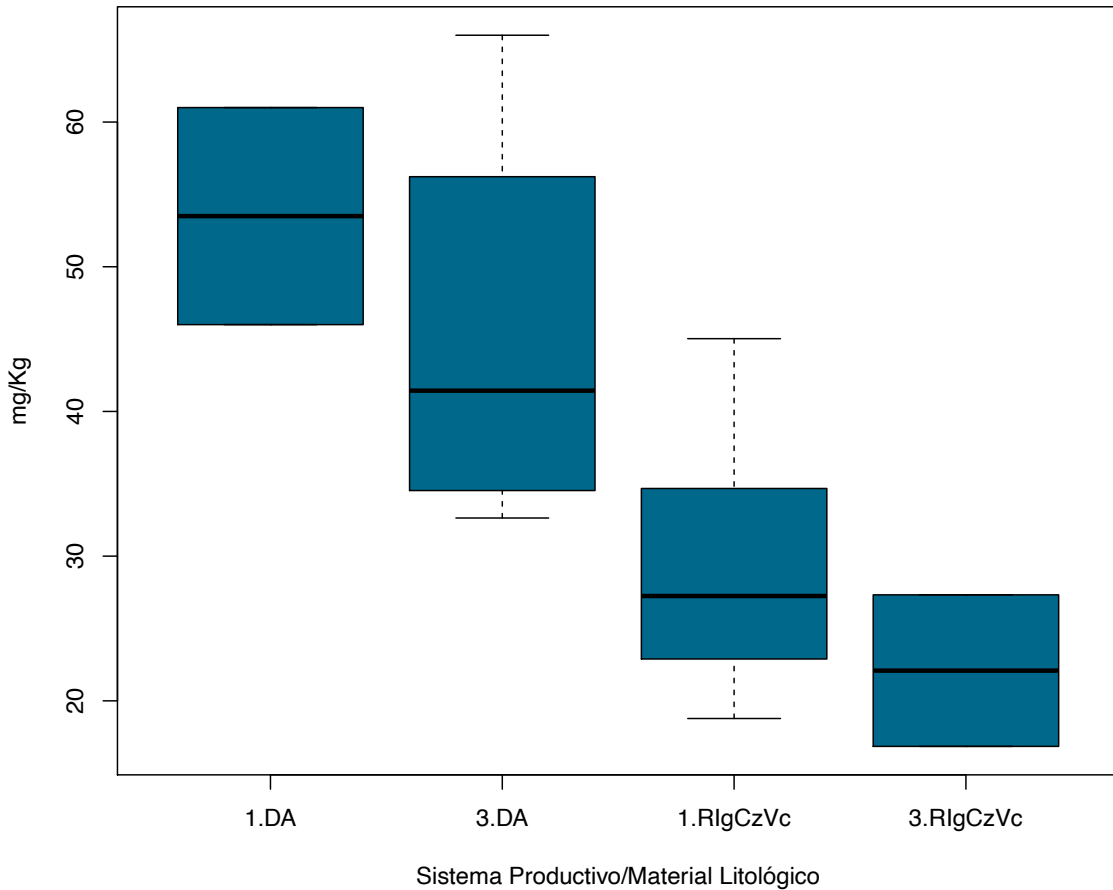
> # Estadísticos de la prueba Sheffe

> Grupos.Litologia.Sheffe\$statistics

MSerror	Df	F	Mean	CV
311.5462	12	4.747225	34.88173	50.60147

Cr SUELO

Concentración de Cr en suelo



```
> modACds<-lm(crs~sistp+Lit, Metales)
```

```
> ANOVA <- aov(modACds)
```

```
> summary(ANOVA)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
sistp	1	28.6	28.6	0.239	0.63365
Lit	1	1622.0	1622.0	13.585	0.00312 **
Residuals	12	1432.7	119.4		

```
---
```

```
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

PRUEBA LSD

```
> Grupos.Litologia<- LSD.test(y = ANOVA, trt = "Lit",group = T, console = T)
```

Study: ANOVA ~ "Lit"

LSD t Test for crs

Mean Square Error: 119.3954

Lit, means and individual (95 %) CI

	crs	std r	LCL	UCL	Min	Max
DA	48.08517	13.185537	6 38.36580	57.80454	32.636	66.000
RlgCzVc	27.81867	9.587794	9 19.88284	35.75450	16.852	45.029

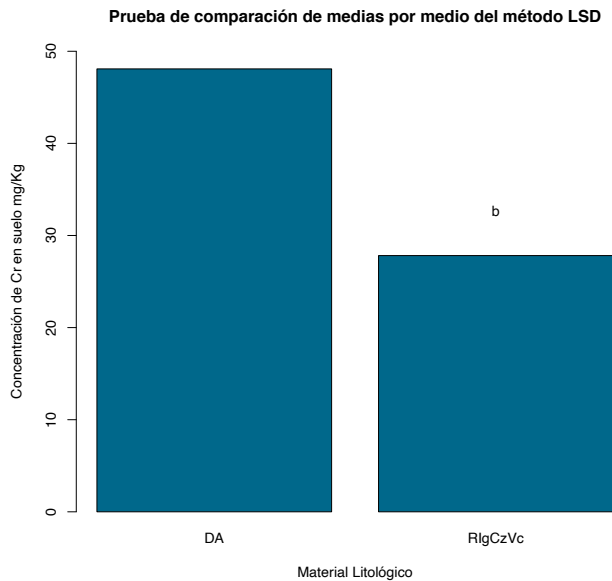
Alpha: 0.05 ; DF Error: 12

Critical Value of t: 2.178813

Groups according to probability of means differences and alpha level(0.05)

Treatments with the same letter are not significantly different.

crs	groups
DA 48.08517	a
RlgCzVc 27.81867	b



```
> # Estadísticos de la prueba LSD
```

```
> Grupos.Litologia$statistics
```

MSError	Df	Mean	CV
119.3954	12	35.92527	30.41542

PRUEBA DUNCAN

```
> Grupos.Litologia.Duncan <-duncan.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)
```

Study: ANOVA ~ "Lit"

Duncan's new multiple range test
for crs

Mean Square Error: 119.3954

Lit, means

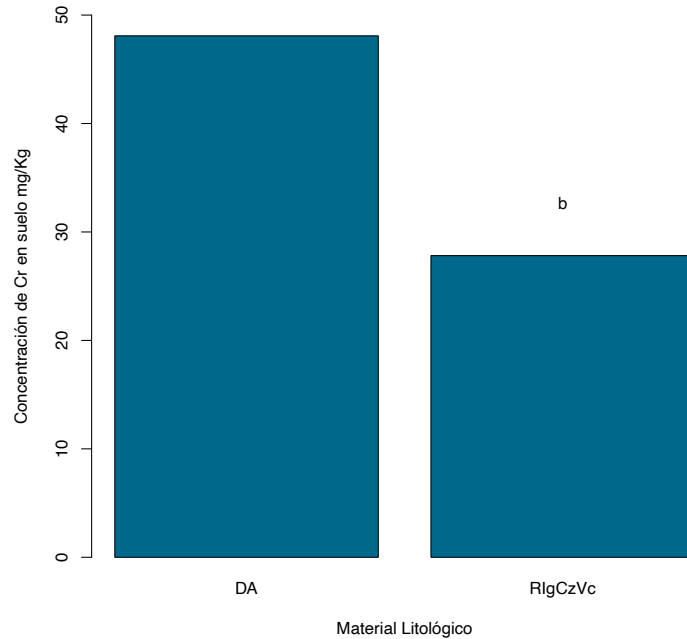
	crs	std r	Min	Max
DA	48.08517	13.185537	6	32.636 66.000
RIgCzVc	27.81867	9.587794	9	16.852 45.029

Groups according to probability of means differences and alpha level(0.05)

Means with the same letter are not significantly different.

	crs	groups
DA	48.08517	a
RIgCzVc	27.81867	b

Prueba de comparación de medias por medio del método Duncan



```
> Grupos.Litologia.Duncan$statistics
```

MSerror	Df	Mean	CV
119.3954	12	35.92527	30.41542

PRUEBA TUKEY

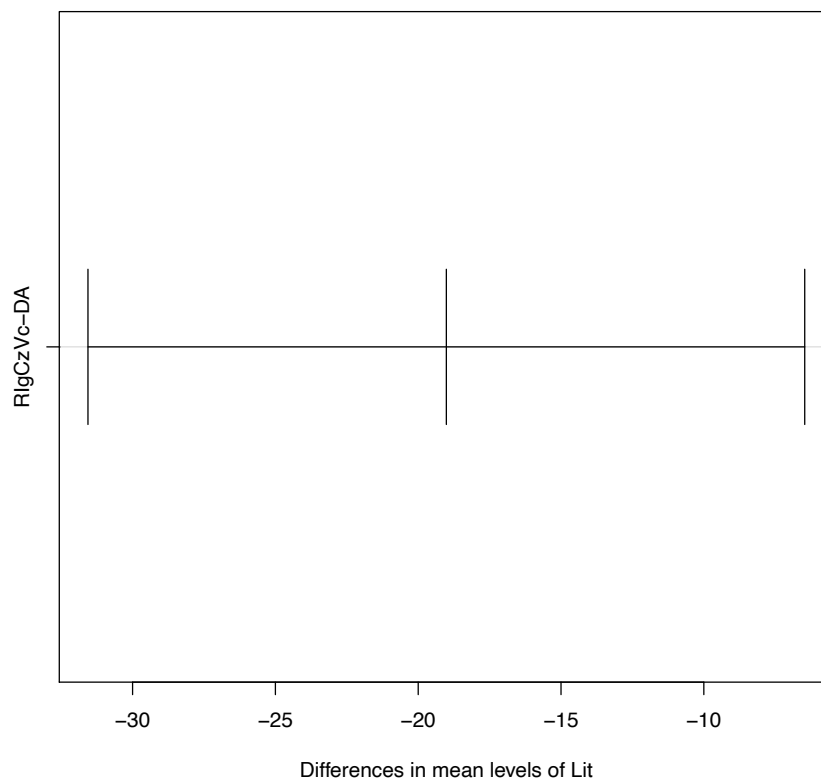
```
> # Prueba de comparaciones múltiples de Tukey
> Grupos.Litologia.Tukey<-TukeyHSD(ANOVA)
> Grupos.Litologia.Tukey
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = modACds)

$sistp
      diff      lwr      upr    p adj
3-1 2.816222 -9.731429 15.36387 0.633645

$Lit
      diff      lwr      upr    p adj
RIGcZVc-DA -19.01485 -31.5625 -6.467194 0.0063197
```

95% family-wise confidence level



PRUEBA SHEFFÉ

```
> Grupos.Litologia.Sheffe <-scheffe.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)
```

Study: ANOVA ~ "Lit"

Scheffe Test for crs

Mean Square Error : 119.3954

Lit, means

	crs	std r	Min	Max
DA	48.08517	13.185537	6 32.636	66.000
RIgCzVc	27.81867	9.587794	9 16.852	45.029

Alpha: 0.05 ; DF Error: 12

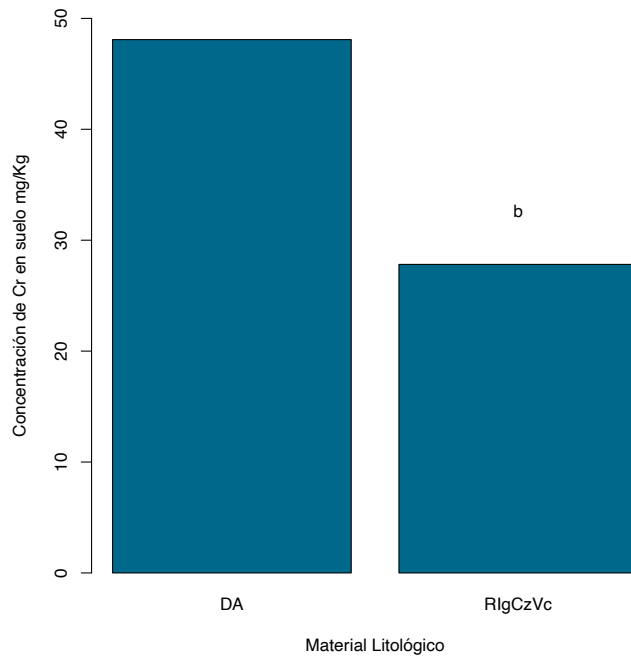
Critical Value of F: 4.747225

Groups according to probability of means differences and alpha level(0.05)

Means with the same letter are not significantly different.

crs	groups
DA 48.08517	a
RIgCzVc 27.81867	b

Prueba de comparación de medias por medio del método Scheffé

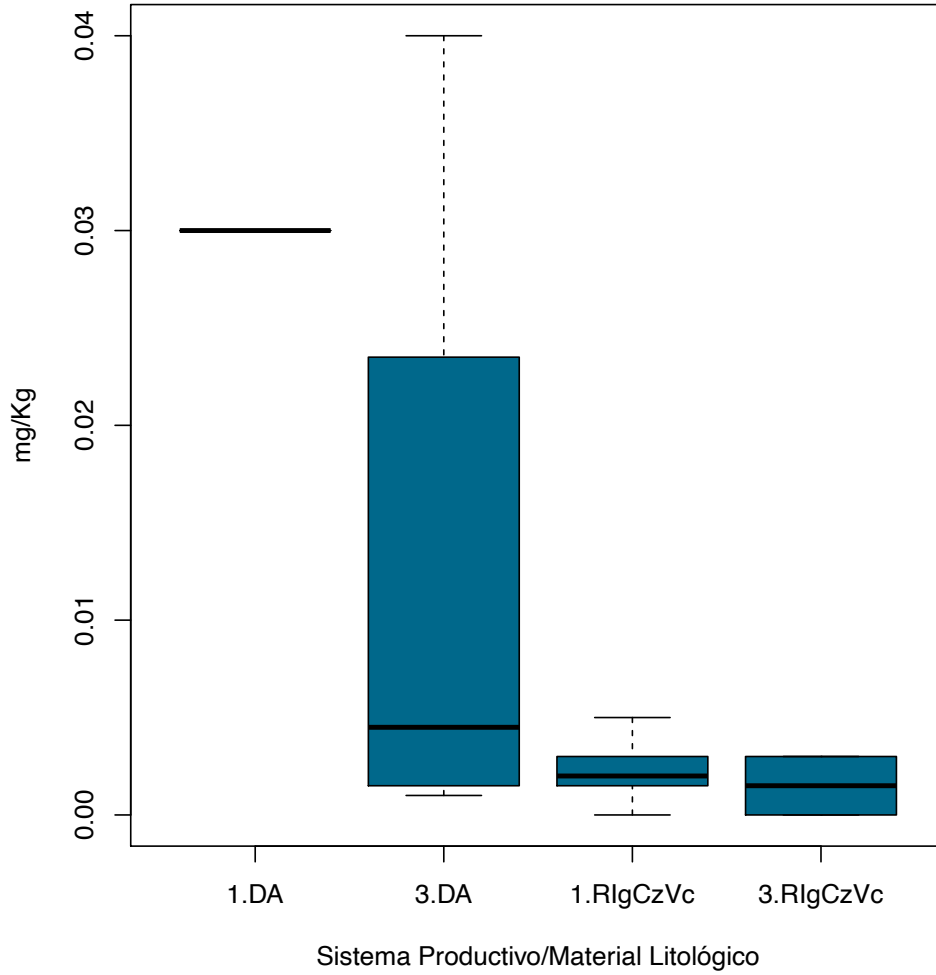


```
> Grupos.Litologia.Sheffe$statistics
```

MSError	Df	F	Mean	CV
119.3954	12	4.747225	35.92527	30.41542

Cd EN PULPA

Concentración de Cd en Pulpa



```

> modACds<-lm(cdp-sistp+Lit, Metales)
> ANOVA <- aov(modACds)
> summary(ANOVA)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
sistp  1 0.0000005 0.0000005  0.005 0.94355
Lit    1 0.0011556 0.0011556 11.098 0.00598 **
Residuals 12 0.0012495 0.0001041
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
    
```

LSD PRUEBA

```
> Grupos.Litologia<- LSD.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)
```

```
Study: ANOVA ~ "Lit"
```

```
LSD t Test for cdp
```

```
Mean Square Error: 0.000104125
```

```
Lit, means and individual ( 95 %) CI
```

	cdp	std r	LCL	UCL	Min	Max
DA	0.018333333	0.016954842	6	0.009256762	0.0274099	0.001 0.040
RlgCzVc	0.002111111	0.001615893	9	-0.005299878	0.0095221	0.000 0.005

```
Alpha: 0.05 ; DF Error: 12
```

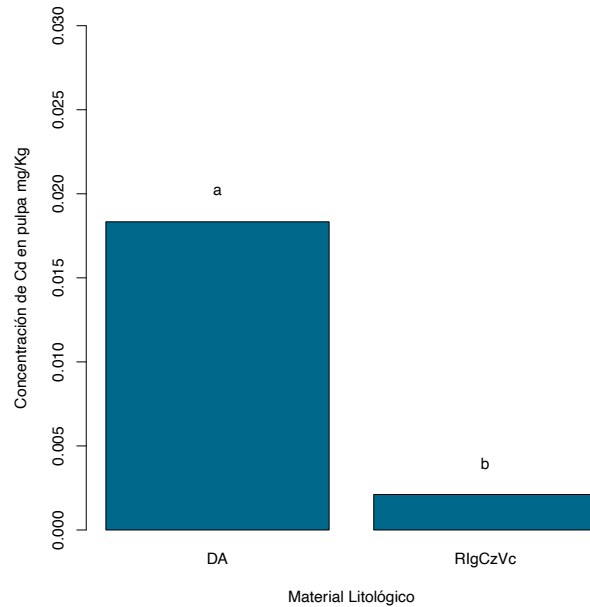
```
Critical Value of t: 2.178813
```

```
Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )
```

```
Treatments with the same letter are not significantly different.
```

	cdp	groups
DA	0.018333333	a
RlgCzVc	0.002111111	b

Prueba de comparación de medias por medio del método LSD



```
> # Estadísticos de la prueba LSD
```

```
> Grupos.Litologia$statistics
```

```
MSerror Df Mean CV
```

```
59.22078 11 56.4 13.64451
```

PRUEBA DUNCAN

```
> Grupos.Litologia.Duncan <-duncan.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)

Study: ANOVA - "Lit"

Duncan's new multiple range test
for cdp

Mean Square Error: 9.535714e-05

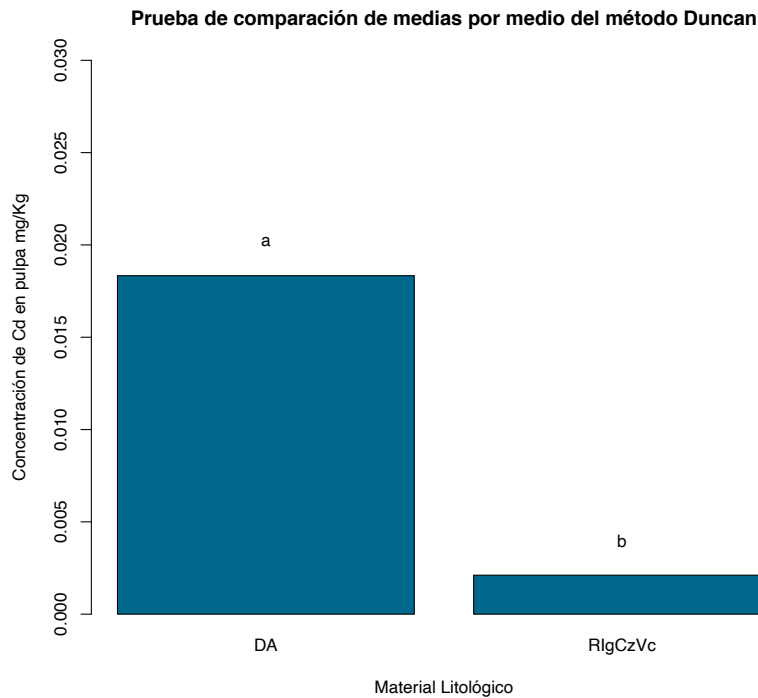
Lit, means

      cdp      std r  Min  Max
DA    0.018333333 0.016954842 6 0.001 0.040
RIgCzVc 0.002111111 0.001615893 9 0.000 0.005

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )

Means with the same letter are not significantly different.

      cdp groups
DA    0.018333333  a
RIgCzVc 0.002111111  b
```



```
> # Estadísticos de la prueba Duncan
> Grupos.Litologia.Duncan$statistics

MSerror Df Mean CV
9.535714e-05 11 0.0086 113.5477
```

PRUEBA DE TUKEY

```
> Grupos.Litologia.Tukey
```

```
Tukey multiple comparisons of means
```

```
95% family-wise confidence level
```

```
Fit: aov(formula = modACds)
```

```
$sistp
```

	diff	lwr	upr	p adj
3-1	0.0003888889	-0.01093883	0.01171661	0.9411247

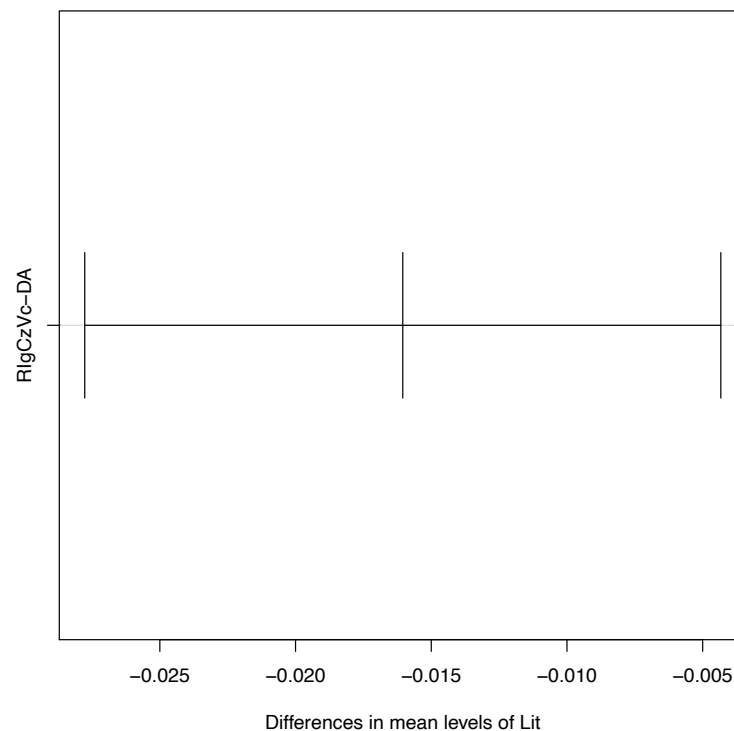
```
$Lit
```

	diff	lwr	upr	p adj
RIgCzVc-DA	-0.01604938	-0.0273771	-0.004721663	0.0097777

```
$`sistp:Lit`
```

	diff	lwr	upr	p adj
3:DA-1:DA	-0.0175000000	-0.04295121	0.0079512136	0.2221011
1:RIgCzVc-1:DA	-0.0277142857	-0.05127753	-0.0041510406	0.0206073
3:RIgCzVc-1:DA	-0.0285000000	-0.05788853	0.0008885301	0.0581466
1:RIgCzVc-3:DA	-0.0102142857	-0.02863452	0.0082059503	0.3834367
3:RIgCzVc-3:DA	-0.0110000000	-0.03645121	0.0144512136	0.5810661
3:RIgCzVc-1:RIgCzVc	-0.0007857143	-0.02434896	0.0227775309	0.9996147

95% family-wise confidence level



PRUEBA DE SHEFFÉ

```
> Grupos.Litologia.Sheffe <-scheffe.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)

Study: ANOVA ~ "Lit"

Scheffe Test for cdp

Mean Square Error : 9.535714e-05

Lit, means

      cdp      std r  Min  Max
DA  0.018333333 0.016954842 6 0.001 0.040
RlgCzVc 0.002111111 0.001615893 9 0.000 0.005

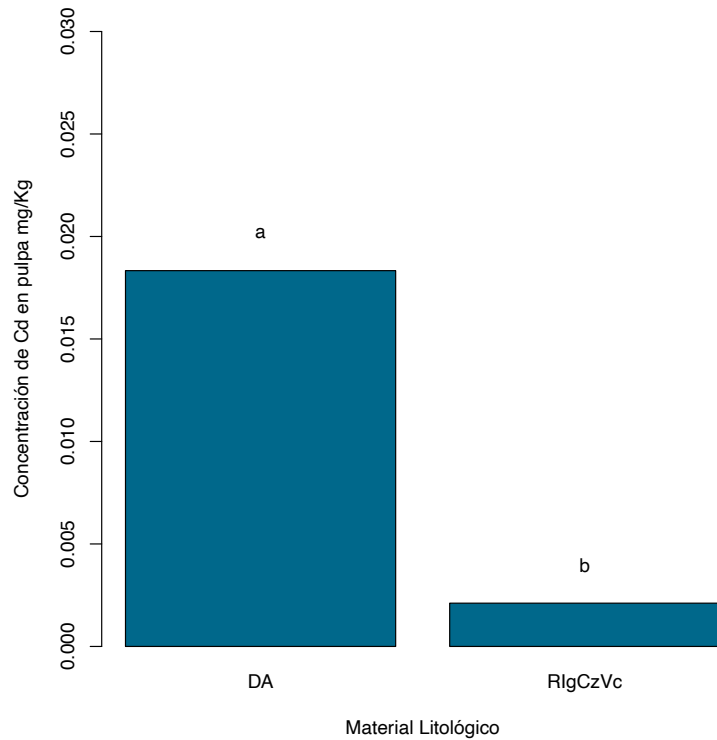
Alpha: 0.05 ; DF Error: 11
Critical Value of F: 4.844336

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )

Means with the same letter are not significantly different.

      cdp groups
DA  0.018333333  a
RlgCzVc 0.002111111  b
```

Prueba de comparación de medias por medio del método Scheffé



```
> # Estadísticos de la prueba Sheffe
> Grupos.Litologia.Sheffe$statistics
      MSerror Df      F Mean      CV
9.535714e-05 11 4.844336 0.0086 113.5477
```

Cu EN PULPA

```
> modACds<-lm(cup~sistp*Lit, Metales)
> ANOVA <- aov(modACds)
> summary(ANOVA)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
sistp          1  0.085  0.0851   0.052  0.823
Lit            1  0.797  0.7972   0.491  0.498
sistp:Lit      1  2.136  2.1362   1.316  0.276
Residuals     11 17.857  1.6233
```

Al no evidenciarse diferencias no se evalúan las diferencias con otros métodos

Cr EN PULPA

```
> modACds<-lm(crp-sistp*Lit, Metales)
> ANOVA <- aov(modACds)
> summary(ANOVA)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
sistp     1 0.0029 0.00289  0.076 0.7876
Lit       1 0.2286 0.22861  6.030 0.0319 *
sistp:Lit 1 0.0272 0.02720  0.717 0.4150
Residuals 11 0.4170 0.03791
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

PRUEBA LSD

```
> Grupos.Litologia<- LSD.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)

Study: ANOVA - "Lit"

LSD t Test for crp

Mean Square Error: 0.03790981

Lit, means and individual ( 95 %) CI

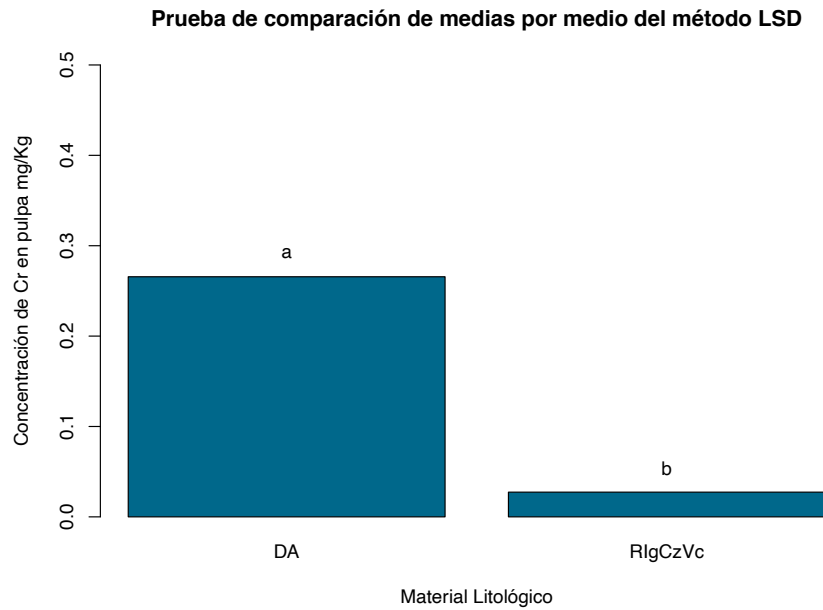
      crp      std r      LCL      UCL Min Max
DA    0.26566667 0.30667942 6 0.09071533 0.4406180 0.017 0.700
RIgCzVc 0.02733333 0.01093161 9 -0.11551384 0.1701805 0.021 0.054

Alpha: 0.05 ; DF Error: 11
Critical Value of t: 2.200985

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

      crp groups
DA    0.26566667  a
RIgCzVc 0.02733333  b
```

```
> # Estadísticos de la prueba LSD
> Grupos.Litologia$statistics
  MSerror Df   Mean   CV
0.03790981 11 0.1226667 158.7264
```

PRUEBA DUNCAN

```
> Grupos.Litologia.Duncan <-duncan.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)
```

Study: ANOVA - "Lit"

Duncan's new multiple range test
for crp

Mean Square Error: 0.03790981

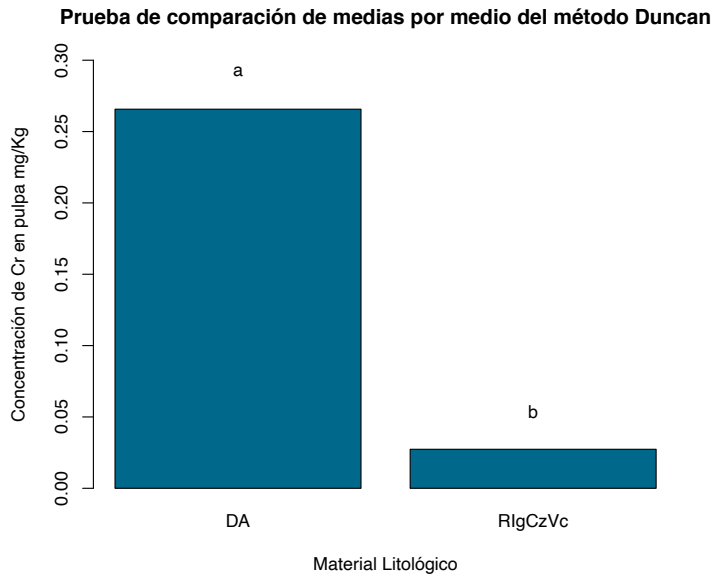
Lit, means

	crp	std r	Min	Max
DA	0.26566667	0.30667942	6 0.017	0.700
RlgCzVc	0.02733333	0.01093161	9 0.021	0.054

Groups according to probability of means differences and alpha level(0.05)

Means with the same letter are not significantly different.

crp	groups
DA 0.26566667	a
RlgCzVc 0.02733333	b



```
> Grupos.Litologia.Duncan$statistics
```

MSerror	Df	Mean	CV
0.03790981	11	0.1226667	158.7264

PRUEBA TUKEY

```
> # Prueba de comparaciones múltiples de Tukey
> Grupos.Litologia.Tukey<-TukeyHSD(ANOVA)
> Grupos.Litologia.Tukey
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

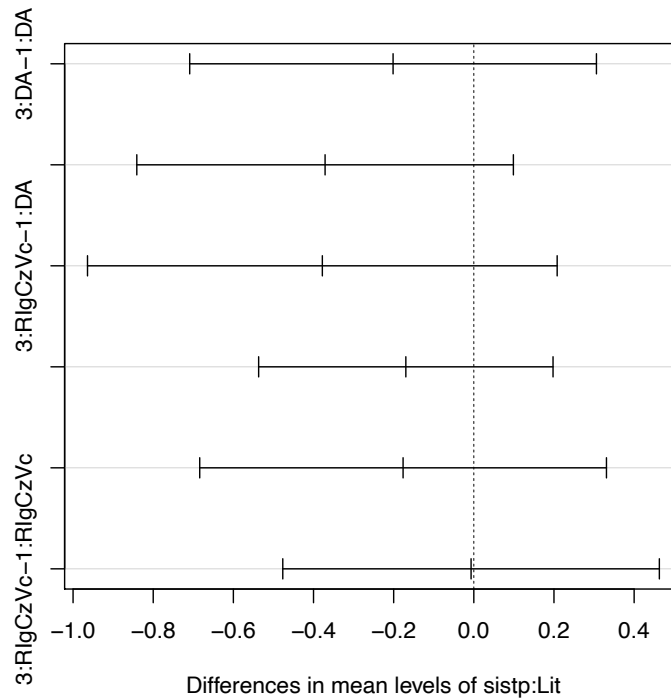
Fit: aov(formula = modACds)

$sistp
      diff      lwr      upr    p adj
3-1 0.02833333 -0.1975279 0.2541945 0.7875864

$Lit
      diff      lwr      upr    p adj
RIgCzVc-DA -0.2257407 -0.4516019 0.0001204632 0.0501026

$`sistp:Lit`
      diff      lwr      upr
3:DA-1:DA -0.201500000 -0.7089668 0.30596683
1:RIgCzVc-1:DA -0.371142857 -0.8409658 0.09868013
3:RIgCzVc-1:DA -0.378000000 -0.9639722 0.20797222
1:RIgCzVc-3:DA -0.169642857 -0.5369204 0.19763467
3:RIgCzVc-3:DA -0.176500000 -0.6839668 0.33096683
3:RIgCzVc-1:RIgCzVc -0.006857143 -0.4766801 0.46296585
```

95% family-wise confidence level



PRUEBA SCHEFFÉ

```
> Grupos.Litologia.Sheffe <-scheffe.test(y = ANOVA, trt = "Lit", group = T, console = T)
```

```
Study: ANOVA - "Lit"
```

```
Scheffe Test for crp
```

```
Mean Square Error : 0.03790981
```

```
Lit, means
```

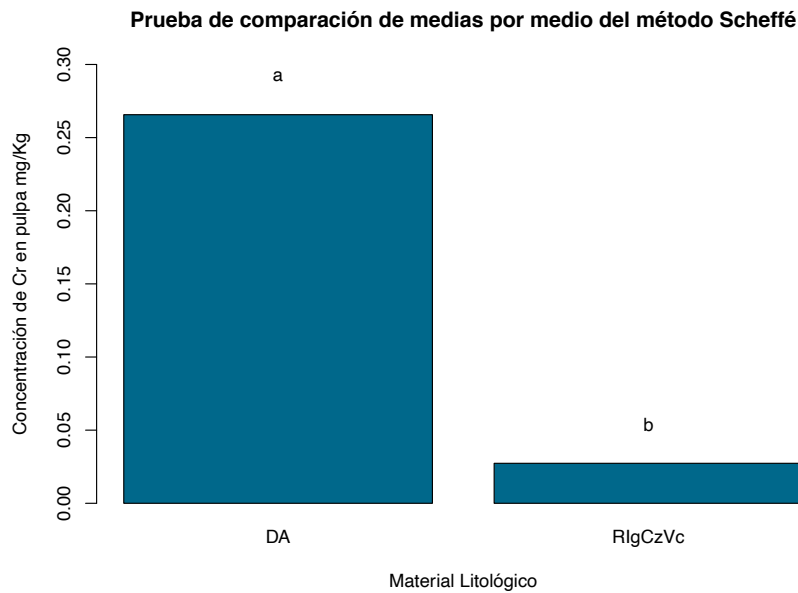
	crp	std r	Min	Max
DA	0.26566667	0.30667942	6	0.017 0.700
RlgCzVc	0.02733333	0.01093161	9	0.021 0.054

```
Alpha: 0.05 ; DF Error: 11  
Critical Value of F: 4.844336
```

```
Groups according to probability of means differences and alpha level( 0.05 )
```

```
Means with the same letter are not significantly different.
```

	crp	groups
DA	0.26566667	a
RlgCzVc	0.02733333	b



```
> # Estadísticos de la prueba Sheffe
```

```
> Grupos.Litologia.Sheffe$statistics
```

MSerror	Df	F	Mean	CV
0.03790981	11	4.844336	0.1226667	158.7264

Bibliografía

- AERU. (2007). Pesticide Properties Database. Retrieved December 1, 2019, from <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/index.htm>
- Agronet. (2018). Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano. Retrieved December 1, 2019, from <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/>
- Ahouangninou, C., Fayomi, B. E., & Martin, T. (2011). Assessing health and environmental risks as regards pesticide practices of vegetable growers in the rural city of Tori-Bossito in southern Benin. *Cahiers Agricultures*, 20(3), 216–222. <https://doi.org/10.1684/agr.2011.0485>
- Ali, S., Ahmad, M., Ali, T., Shahbaz, B., Khan, G. A., Iftikhar, M., & Nosheen, F. (2013). Role of private sector in promoting IPM practices among farming community in Punjab, Pakistan. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(5), 1473–1476.
- Ángel-Coca, C., Nates-Parra, G., Ospina-Torres, R., Ortiz, C. D. M., & Amaya-Márquez, M. (2011). Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*. *Caldasia*, 33(2), 433–451.
- Angulo, R. (2009). *Gulupa (Passiflora edulis var. edulis)*. (Bayer CropScience, Ed.). Bogotá.
- Bagheri, A., Emami, N., Damalas, C. A., & Allahyari, M. S. (2019). Farmers' knowledge, attitudes, and perceptions of pesticide use in apple farms of northern Iran: impact on safety behavior. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 9343–9351. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04330-y>
- Bastidas, D. A., Guerrero, J. A., & Wyckhuys, K. (2013). Residuos de plaguicidas en cultivos de pasifloras en regiones de alta producción en Colombia. *Revista Colombia Quimica*, 42(2), 39–47.
- Calatayud-Vernich, P., Calatayud, F., Simó, E., & Picó, Y. (2018). Pesticide residues in honey bees, pollen and beeswax: Assessing beehive exposure. *Environmental Pollution*, 241, 106–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.062>
- Cardona, N., & Pino, L. M. (2016). *Exposición laboral a plaguicidas en una muestra de*

- trabajadores de café y gulupa mediante una matriz de tarea-exposición en el municipio de Jericó, Antioquia entre enero y mayo 2016*. Universidad de Antioquia.
- Chaney, R. L. (1989). Toxic Element Accumulation in Soils and Crops: Protecting Soil Fertility and Agricultural Food-Chains. *Ecological Studies*, 140–158. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74451-8_10
- Chen, M., Chen, L., & Huang, P. (2015). Assessment, Composition and Possible Source of Organochlorine Pesticides in Surface Soils from Ürümqi, China. *Pedosphere*, 25(6), 888–900. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30069-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30069-2)
- Claeys, W. L., Schmit, J.-F., Bragard, C., Maghuin-Rogister, G., Pussemier, L., & Schiffers, B. (2011). Exposure of several Belgian consumer groups to pesticide residues through fresh fruit and vegetable consumption. *Food Control*, 22(3), 508–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.037>
- Cleves, J., & Jarma, A. (2014). Characterization and typification of citrus production systems in the department of Meta. *Agronomia Colombiana*, 32(1), 113–121. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84901001337&partnerID=40&md5=4aee789f3dc5f353f4cae3f4f9d0794c>
- Codex Alimentarium. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos (1995). Retrieved from http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2BSTAN%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf
- Collin, B., & Doelsch, E. (2010). Impact of high natural soilborne heavy metal concentrations on the mobility and phytoavailability of these elements for sugarcane. *Geoderma*, 159(3), 452–458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.013>
- Collins, C., Martin, I., & Fryer, M. (2006). *Evaluation of models for predicting plant uptake of chemicals from soil*. Bristol. <https://doi.org/978-1-84432-788-1>
- Cowan, R., & Gunby, P. (1996). Sprayed to death: path dependence, lock-in and pest control strategies. *The Economic Journal*, 106(436), 521–542.
- Döelsch, E., de Kerchove, V. Van, & Macary, H. Saint. (2006). Heavy metal content in soils of Réunion (Indian Ocean). *Geoderma*, 134(1), 119–134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.09.003>
- Elahi, E., Weijun, C., Zhang, H., & Nazeer, M. (2019). Agricultural intensification and damages to human health in relation to agrochemicals: Application of artificial intelligence. *Land Use Policy*, 83, 461–474. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.023>

- Emurotu, J. E., & Onianwa, P. C. (2017). Bioaccumulation of heavy metals in soil and selected food crops cultivated in Kogi State, north central Nigeria. *Environmental Systems Research*, 6(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40068-017-0098-1>
- EPA. (1996). *METHOD 3052*. California, USA. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052.pdf>
- EPA. (2018a). *Potential Annual Cancer Report 2018*.
- EPA. Regulación 83 FR 22595 (2018). USA. Retrieved from <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2018-05-16/pdf/2018-10345.pdf>
- EPA. (2019a). CompTox Chemistry Dashboard. Retrieved December 1, 2019, from <https://comptox.epa.gov/dashboard>
- EPA. (2019b). ECOTOX Knowledgebase.
- Escobar, G., & Berdegué, J. (1990). Conceptos y metodología para la tipificación de sistemas de finca: la experiencia de RIMISP. In G. Escobar & J. Berdegué (Eds.), *Tipificación de sistemas de producción agrícola* (p. 282). Santiago de Chile. <https://doi.org/ISBN.956.7110-01-07>.
- Fadigas, F. D. S., Do Amaral Sobrinho, N. M. B., Mazur, N., & Cunha Dos Anjos, L. H. (2006). Estimation of reference values for cadmium, cobalt, chromium, copper, nickel, lead, and zinc in Brazilian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37(7–8), 945–959. <https://doi.org/10.1080/00103620600583885>
- Fan, J.-J., Wang, S., Tang, J.-P., Zhao, J.-L., Wang, L., Wang, J.-X., ... Yang, Y. (2019). Bioaccumulation of endocrine disrupting compounds in fish with different feeding habits along the largest subtropical river, China. *Environmental Pollution*, 999–1008. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.113>
- FAO. (2000). *Parameters of pesticides that influence processes in the soil. Assessing soil contamination A reference manual*. Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/X2570E/X2570E00.htm#TOC>
- FAO. (2001). *Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza*. (J. Dixon, A. Gulliver, & D. Gibbon, Eds.).
- Feola, G., & Binder, C. R. (2010). Identifying and investigating pesticide application types to promote a more sustainable pesticide use. The case of smallholders in Boyacá, Colombia. *Crop Protection*, 29(6), 612–622. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.01.008>
- Fontes, M. (2013). Behavior of Heavy Metals in Soils: Individual and Multiple Competitive Adsorption. In H. M. Selim (Ed.), *Competitive Sorption and Transport of Heavy Metals in*

- Soils and Geological Media* (pp. 77–106). Boca Raton.
- Forero, J., Rodríguez, C. S., Gutiérrez, Á., & Nieto, A. (2016). Eficiencia económica de la agricultura familiar colombiana y sus potencialidades para superar la pobreza rural. In *El desarrollo equitativo, competitivo y sostenible del sector agropecuario en Colombia* (pp. 57–100). Retrieved from <http://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/9328>
- Forget, G. (1991). Pesticides and the third world. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 32(1), 11–31. <https://doi.org/10.1080/15287399109531462>
- Franco, G. (2013). *Caracterización fisiológica del fruto de gulupa (Passiflora edulis Sims)*, en *condiciones del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/11083/1/10253852.2013.pdf>
- Glasbergen, P. (2018). Smallholders do not Eat Certificates Pieter. *Ecological Economics Journal*, 147, 243–252.
- Gleissy, S., Santos, A. R., Quintão, L., Henriques, S., França, D., Santos, O., ... Scherer, R. (2016). GIS applied to agriclmatological zoning and agrototoxin residue monitoring in tomatoes: A case study in Espírito Santo state, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 166, 429–439. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.040>
- Gökbel, H., Harmankaya, M., & Özcan, M. M. (2015). Determination of metal, non-metal and heavy metal contents of some tropical fruits growing in Indonesia. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 7(4), 545–549. <https://doi.org/10.3920/QAS2014.0397>
- Guerrero, E., Potosí, C., Melgarejo, L. M., & Hoyos, L. (2012). Manejo agronómico de gulupa (*Passiflora edulis Sims*) en el marco de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). In L. M. Melgarejo (Ed.), *Ecofisiología del cultivo de la gulupa (Passiflora edulis Sims)* (pp. 123–144). Bogotá. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/8547/16/09_Cap07.pdf
- Hao, X., Zhou, D., Wang, Y., Shi, F., & Jiang, P. (2011). Accumulation of Cu, Zn, Pb, and Cd in Edible Parts of Four Commonly Grown Crops in Two Contaminated Soils. *International Journal of Phytoremediation*, 13(3), 289–301. <https://doi.org/10.1080/15226514.2010.483260>
- Hjorth, K., Johansen, K., Holen, B., Andersson, A., Christensen, H. B., Siivinen, K., & Toome, M. (2011). Pesticide residues in fruits and vegetables from South America – A Nordic project. *Food Control*, 22(11), 1701–1706. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.05.017>
- Hohl, H., & Varma, A. (2010). Soil: The Living Matrix. In I. Sherameti & A. Varma (Eds.), *Soil Heavy Metals* (pp. 1–18). London. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02436-8>

- IARC, & OMS. (2019). *Colombia Source: Globocan 2018*. París.
- Ibanez, M., & Blackman, A. (2016). Is Eco-Certification a Win–Win for Developing Country Agriculture? Organic Coffee Certification in Colombia. *World Development*, 82, 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.01.004>
- ICA. (1992). *Fertilización de diversos cultivos Quinta Aproximación*. Bogotá. Retrieved from https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/14124/27733_16902.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ICA. (2011). *Manejo de problemas fitosanitarios del cultivo de gulupa (Passiflora edulis Sims)*. <https://doi.org/00.09.43.12.C>
- ICA. (2016). *Estadísticas de Comercialización de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola 2016*. Bogotá. Retrieved from https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos/estadisticas/cartilla-plaguicidas-2016_22-01-18.aspx
- ICA. (2019a). *Registros de Venta de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola - Octubre 30 de 2019*. Bogotá. Retrieved from <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos/registros-de-venta-feb-28-2017.aspx>
- ICA. (2019b). *Resgistros Nacionales Septiembre 17 2019*. Bogotá. Retrieved from <https://www.ica.gov.co/getdoc/d3612ebf-a5a6-4702-8d4b-8427c1cdaeb1/registrosnacionales-pqua-15-04-09.aspx>
- IGAC, I. G. A. C. (n.d.). *GUÍA DE MUESTREO*. Bogotá.
- Imeri, R., Kullaj, E., Duhani, E., & Millaku, L. (2019). Concentrations of heavy metals of in apple fruits around the industrial area of Mitrovica, Kosovo. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 50(1), 256–266. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85062694403&partnerID=40&md5=7e541a19da7e6de4c7bd853b51a5f73f>
- Jafarnejadi, A. R., Sayyad, G., Homae, M., & Davamei, A. H. (2013). Spatial variability of soil total and DTPA-extractable cadmium caused by long-term application of phosphate fertilizers, crop rotation, and soil characteristics. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(5), 4087–4096. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2851-2>
- Jallow, M. F. A., Awadh, D. G., Albaho, M. S., Devi, V. Y., & Thomas, B. M. (2017). Pesticide risk behaviors and factors influencing pesticide use among farmers in Kuwait. *Science of the Total Environment*, 574, 490–498. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.085>
- Jiménez C., J., Aranda C., Y., & Darghan, E. (2017). Tipificación de un sistema de producción de tabaco (*Nicotiana tabacum*) en la provincia de Guanentá, departamento de Santander, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 35(2), 247–255.

<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.63972>

Jiménez, J., Carranza, C., & Rodríguez, M. (2009). Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. In D. Miranda, G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra, W. Piedrahíta, & L. Flórez (Eds.), *Manejo integrado del cultivo de gulupa (Passiflora edulis Sims)*. (Vol. 1, pp. 159–191). Bogotá.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

John, D. A., & Leventhal, J. S. (1995). Bioavailability of metals. In E. du Bray (Ed.), *Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models* (pp. 10–18). Denver.

Kabata, A., & Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants*. (K. Alina & H. Pendias, Eds.) (3rd ed.). Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/b10158-25>

Kamal, S., Prasad, R., & Varma, A. (2010). Soil Microbial Diversity in Relation to Heavy Metals. In I. Sherameti & A. Varma (Eds.), *Soil Heavy Metals* (19th ed., pp. 31–63). London.

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-02436-8>

Kassambara, A. (2017). STHDA Statical Tools for hifh - throughput data analysis.

Khan, M., Mahmood, H. Z., & Damalas, C. A. (2015). Pesticide use and risk perceptions among farmers in the cotton belt of Punjab, Pakistan. *Crop Protection*, *67*(1), 184–190.

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.013>

Kudsk, P., Jørgensen, L. N., & Ørum, J. E. (2018). Pesticide Load - A new Danish pesticide risk indicator with multiple applications. *Land Use Policy*, *70*, 384–393.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.010>

Li, W., Xu, B., Song, Q., Liu, X., Xu, J., & Brookes, P. C. (2014). The identification of ‘hotspots’ of heavy metal pollution in soil–rice systems at a regional scale in eastern China. *Science of The Total Environment*, *472*, 407–420.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.046>

Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *14*(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)

Machado Vargas, M. M., Nicholls, C. I., Márquez, S. M., & Turbay, S. (2015). Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico. *Idesia (Arica)*, *33*(1), 69–83. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000100008>

MADR, & MinSalud. Resolución Número 2906 DE 2007 (2007). Bogotá. Retrieved from <http://www.sical.gov.co/files/notificaciones/xwml1d5nogg-resolucionminproteccion2906plaguicidas.pdf>

- MADR, & MinSalud. Resolución 5897 del 2018 (2018). Bogotá.
- Mao, C., Song, Y., Chen, L., Ji, J., Li, J., Yuan, X., ... Theiss, F. (2019). Human health risks of heavy metals in paddy rice based on transfer characteristics of heavy metals from soil to rice. *CATENA*, 175, 339–348. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.029>
- Marique, R., & Prager, M. (2001). El enfoque de sistemas: una opción para el análisis de las unidades de producción agrícola.
- Medina, S., Collado-González, J., Ferreres, F., Londoño-Londoño, J., Jiménez-Cartagena, C., Guy, A., ... Gil-Izquierdo, A. (2017). Quantification of phytoprostanes – bioactive oxylipins – and phenolic compounds of *Passiflora edulis* Sims shell using UHPLC-QqQ-MS/MS and LC-IT-DAD-MS/MS. *Food Chemistry*, 229, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.049>
- Melgarejo, L. M. (2012). *Ecofisiología del cultivo de la gulupa (Passiflora edulis Sims)*. (L. M. Melgarejo, Ed.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Melgarejo, L. M., & Hernández, M. S. (2011). *Poscosecha de la Gulupa (Passiflora edulis Sims)*. (L. M. Melgarejo & M. S. Hernández, Eds.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- MinAgricultura. (2018). Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano.
- MinAmbiente. Resolución Número 1207, Pub. L. No. 1207, 9 (2014). Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf
- MinAmbiente. Resolución 631 de 2015 (2015). Retrieved from https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf
- MinSalud. (2012). *Plan decenal para el control del cáncer en Colombia*. Bogotá. Retrieved from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INCA/plan-nacional-control-cancer.pdf>
- MinSalud. Resolución 4506 de 2013 (2013). Colombia. Retrieved from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-4506-de-2013.pdf>
- Miranda, D., & Carranza, C. (2010). Caracterización de los sistemas productivos de Pasifloráceas, 59.
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Jerez, C., Fischer, G., & Zurita, J. (2011). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2 SE-SECCION DE HORTALIZAS). <https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i2.1186>

- Miranda, D., Fischer, G., Carranza, C., Magnitskiy, S., Casierra, F., Piedrahita, W., & Flórez, L. E. (2009). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba*. (D. Miranda, G. Fischer, C. Carranza, S. Magnitskiy, F. Casierra, W. Piedrahita, & L. E. Flórez, Eds.). Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.
- Mora, T. M., & Muñoz, J. C. (2008). Concentración de la propiedad de la tierra y producto agrícola en Antioquia, 1995-2004. *Ecos de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics*, 12(26), 71–108. Retrieved from <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ecos-economia/article/view/714>
- Morton, J. F. (1987). *Fruits of Warm Climates. Fruits of Warm Climates*.
- Naqvi, G.-Z., Shoaib, N., & Ali, A. M. (2017). Pesticides impact on protein in fish (*Oreochromis mossambicus*) tissues. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 46(9), 1864–1868. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85027409257&partnerID=40&md5=42ff9adbd51f2a0c617d758625aaef29>
- Navarro Aviñó, E., & Alonso, A. (2007). Asociación Española de Ecología Terrestre Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 16(2), 1–17. Retrieved from http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=488&Id_Categoria=1&tipo=portada
- Nicholson, F. A., Smith, S. R., Alloway, B. J., Carlton-Smith, C., & Chambers, B. J. (2003). An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment*, 311(1–3), 205–219. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00139-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00139-6)
- Norton, R. (2017). Colombia: A Strategic Assessment of National Crop Competitiveness. In *The Competitiveness of Tropical Agriculture* (pp. 87–145). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107298002.004>
- Ocampo, J. (2013). Diversity and Distribution of Passifloraceae in the Department of Huila in Colombia / Diversidad y distribución de las passifloraceae en el departamento del huila en colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(3), 511–516. Retrieved from <http://www.revista.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/download/38500/42437>
- Ocampo, J., Marin, C., López, C., & Casas, A. (2012). Manejo del cultivo de la Gulupa. In J. Ocampo & K. Wyckhuys (Eds.), *Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia* (pp. 38–43).
- Ocampo, J., Marin, C., Posada, P., López, N., & Solano, R. (2012). Establecimiento y zonas productoras del cultivo de la Gulupa. In J. Ocampo & K. Wyckhuys (Eds.), *Tecnología para*

- el cultivo de la Gulupa en Colombia* (pp. 33–43). Bogotá.
- Ocampo, J., Melo, D., Rendón, J., Arias, J., & Marín, V. (2012). Aspectos fisiológicos de la Gulupa (*Passiflora edulis f. edulis* Sims). In J. Ocampo & K. Wyckhuys (Eds.), *Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia* (pp. 13–15). Bogotá.
- Ocampo, J., & Morales, L. (2012). Aspectos generales de la Gulupa. In J. Ocampo & K. Wyckhuys (Eds.), *Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia* (pp. 7–12). Bogotá.
- Ocampo, J., & Posada, P. (2012). Ecología del cultivo de la Gulupa. In J. Ocampo & K. Wyckhuys (Eds.), *Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia* (pp. 29–32). Bogotá.
- Ocampo, & Wyckhuys. (2012). *Tecnología para el cultivo de la gulupa (Passiflora edulis f. edulis Sims) en Colombia*.
- OMS. (2009). *The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard*. Stuttgart.
- ONU, & FAO. (2019). Productos Químicos del Anexo III. Retrieved November 29, 2019, from <http://www.pic.int/ElConvenio/ProductosQuímicos/AnexoIII/tabid/2031/language/es-CO/Default.aspx>
- Orjuela Baquero, N. M., Pérez Martínez, L. V., Flórez, L. M., Hernández, M. S., & Melgarejo, L. M. (2011). Propuesta de Norma Técnica Colombiana, Frutas Frescas, Gulupa, Especificaciones. In *Poscosecha de la gulupa (Passiflora edulis Sims)* (pp. 45–58). Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/8532/7/06_Cap04.pdf
- Ortega-Olvera, J. M., Winkler, R., Quitanilla-Vega, B., Shibayama, M., Chávez-Munguía, B., Martín-Tapia, D., ... González-Mariscal, L. (2018). The organophosphate pesticide methamidophos opens the blood-testis barrier and covalently binds to ZO-2 in mice. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 360, 257–272. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2018.10.003>
- Otsuki, T., Wilson, J. S., & Sewadeh, M. (2001). Saving two in a billion: Quantifying the trade effect of European food safety standards on African exports. *Food Policy*, 26(5), 495–514. [https://doi.org/10.1016/S0306-9192\(01\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0306-9192(01)00018-5)
- Pagès J. (2004). Analyse factorielle de données mixtes. *REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE*, 4, 93–111. Retrieved from http://www.numdam.org/article/RSA_2004__52_4_93_0.pdf
- PAN. (2018). *PAN International List of Highly Hazardous Pesticides*. Hamburg.
- Perez Martinez, L. V., Melgarejo, L. M., Florez Gutierrez, L. M., Cruz Aguilar, M., Hernandez, M. S., Hoyos Carvajal, L. M., ... Medina, J. (2012). Caracterización ecofisiológica de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres condiciones ambientales en el departamento de Cundinamarca. In L. M. Melgarejo (Ed.), *Ecofisiología del cultivo de la gulupa (Passiflora*

- edulis Sims*) (pp. 11–32). Bo. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/8547/>
- Piechowicz, B., Szpyrka, E., Zaręba, L., Podbielska, M., & Grodzicki, P. (2018). Transfer of the Active Ingredients of Some Plant Protection Products from Raspberry Plants to Beehives. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *75*(1), 45–58. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0488-4>
- Poulsen, M. E., & Andersen, J. H. (2003). Results from the monitoring of pesticide residues in fruit and vegetables on the Danish market, 2000-01. *Food Additives & Contaminants*, *20*(8), 742–757. <https://doi.org/10.1080/0265203031000152433>
- Quinteros, Z., & Sánchez, E. (2017). DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AGRARIO DEL DISTRITO DE CAJATAMBO (LIMA) Y CLASIFICACIÓN DE LOS PRODUCTORES A PARTIR DE UNA ENCUESTA DESCRIPTION OF THE AGRICULTURE OF THE DISTRICT OF CAJATAMBO (LIMA) AND CLASSIFICATION OF PRODUCERS FROM A SURVEY, *16*(2).
- Ramírez, H., Bonilla, O., Ocampo, J., & Wyckhuys, K. (2012). Principales insectos plagas del cultivo de la Gulupa y su control. In J. Ocampo & K. Wyckhuys (Eds.), *Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia* (pp. 44–52). Bogotá.
- Reijonen, I., & Hartikainen, H. (2016). Oxidation mechanisms and chemical bioavailability of chromium in agricultural soil – pH as the master variable. *Applied Geochemistry*, *74*, 84–93. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.08.017>
- Rendón, J. S., Ocampo, J., & Urrea, R. (2013). Estudio sobre polinización y biología floral en *passiflora edulis* f. *Edulis sims*, como base para el premejoramiento genético. *Acta Agronomica*, *62*(3), 232–241.
- Robaina, N., Vásquez, E., Restrepo, L. F., & Márquez, S. M. (2017). Characterization and typification of coffee production systems (*Coffea arabica* L.), Andes municipality. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, *70*(3), 8327–8339. <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n3.66332>
- Rodríguez, E., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome. <https://doi.org/10.2105/ajph.12.5.426-b>
- Rueda, G., Rodríguez, J., & Madriñán, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, *60*(3), 203–218. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Metodologías+para+establecer+valores+de+referencia+de+metales+pesados+en+suelos+agrícolas:+Perspectivas+para+Colombia#0>

- Saravia Matus, S., Cimpoieis, D., & Ronzon, T. (2013). *Literature Review and Proposal for an International Typology of Agricultural Holdings*.
- Schaetzl, R. J. (1991). A lithosequence of soils in extremely gravelly, dolomitic parent materials, bois blanc island, lake huron. *Geoderma*, 48(3), 305–320.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7061\(91\)90050-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7061(91)90050-4)
- Schreinemachers, P., & Tipraqsa, P. (2012). Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy*, 37(6), 616–626.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.06.003>
- Seitz, N., Traynor, K. S., Steinhauer, N., Rennich, K., Wilson, M. E., Ellis, J. D., ... vanEngelsdorp, D. (2015). A national survey of managed honey bee 2014–2015 annual colony losses in the USA. *Journal of Apicultural Research*, 54(4), 292–304.
<https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1153294>
- Selim, H. (2013). Competitive Sorption of Heavy Metals in Soils: Experimental Evidence. In H. Magdi (Ed.), *Competitive Sorption and Transport of Heavy Metals in Soils and Geological Media* (p. 2216). Boca Raton. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.0004br>
- Septembre-Malaterre, A., Stanislas, G., Douraguia, E., & Gonthier, M. P. (2016). Evaluation of nutritional and antioxidant properties of the tropical fruits banana, litchi, mango, papaya, passion fruit and pineapple cultivated in Réunion French Island. *Food Chemistry*, 212, 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.147>
- Sharifzadeh, M. S., Abdollahzadeh, G., Damalas, C. A., Rezaei, R., & Ahmadyousefi, M. (2019). Determinants of pesticide safety behavior among Iranian rice farmers. *Science of The Total Environment*, 651, 2953–2960. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.179>
- Silva, S. R., Almeida, N. M., de Siqueira, K. M. M., Souza, J. T., & Castro, C. C. (2018). Isolation from natural habitat reduces yield and quality of passion fruit. *Plant Biology*.
<https://doi.org/10.1111/plb.12910>
- Sollitto, D., Romic, M., Castrignanò, A., Romic, D., & Bakic, H. (2010). Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics. *CATENA*, 80(3), 182–194.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.11.005>
- State Environmental Protection Administration. *The Limits of Pollutants in Food* (2005). China.
- Sugeng, A. J., Beamer, P. I., Lutz, E. A., & Rosales, C. B. (2013). Hazard-ranking of agricultural pesticides for chronic health effects in Yuma County, Arizona. *Science of The Total Environment*, 463–464, 35–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.051>

- Torres, O., Gallego, G., & Zakzuk, J. (1996). Conceptos básicos sobre la metodología de sistemas de producción. In *Aplicacion del enfoque de sistemas de produccion*. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CO20000006951>
- Toxnet. (2019). A toxnet database Hazardous Substances Data Bank (HSDB). Retrieved from <https://toxnet.nlm.nih.gov/help/newtoxnet/toxnetfs.html>
- Traynor, K. S., Pettis, J. S., Tarpy, D. R., Mullin, C. A., Frazier, J. L., Frazier, M., & VanEngelsdorp, D. (2016). In-hive pesticide exposome: assessing risks to migratory honey bees from in-hive pesticide contamination in the Eastern United States. *Nature*, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/srep33207>
- UE. Directiva 2002/63/CE de la Comisión (2002). Unión Europea.
- UE. Reglamento (CE) N° 396/2005 (2005). Europa.
- UE. Reglamento (CE) No 1881/2006 de la comisión (2006). UE.
- UE. REGLAMENTO (CE) No 1272/2008 (2008).
- UE. REGLAMENTO (UE) No 899/2012 DE LA COMISIÓN (2012). UE. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0899&from=EN>
- UE. (2016a). EU Pesticides database. Retrieved November 28, 2019, from <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=product.resultat&language=EN&selectedID=68>
- UE. Reglamento (UE) 2016/67 de la comisión (2016). UE. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0067&from=EN>
- Villegas, B., Ocampo, J., & Castillo, C. (2012). Principales enfermedades en el cultivo de Gulupa y su manejo. In J. Ocampo & K. Wyckhuys (Eds.), *Tecnología para el cultivo de la Gulupa en Colombia* (pp. 54–63). Bogotá.
- Viviana, A., Eve, E., & Celso da Silva, N. (2007). Do farmers understand the information displayed on pesticide product labels? A key question to reduce pesticides exposure and risk of poisoning in the Brazilian Amazon. *Crop Protection*, 26(4), 576–583. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.05.011>
- Walters, J. P., Archer, D. W., Sassenrath, G. F., Hendrickson, J. R., Hanson, J. D., Halloran, J. M., ... Alarcon, V. J. (2016). Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. *Ecological Modelling*, 333, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.015>
- Wilson, S. G., Lambert, J.-J., Nanzyo, M., & Dahlgren, R. A. (2017). Soil genesis and mineralogy across a volcanic lithosequence. *Geoderma*, 285, 301–312. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.013>

- Wyckhuys, K A G, Korytkowski, C., Martinez, J., Herrera, B., Rojas, M., & Ocampo, J. (2012). Species composition and seasonal occurrence of Diptera associated with passionfruit crops in Colombia. *Crop Protection*, 32, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.10.003>
- Wyckhuys, Kris A.G., Lopez, F., Rojas, M., & Ocampo, J. (2011). The relationship of farm surroundings and local infestation pressure to pest management in cultivated Passiflora species in Colombia? *International Journal of Pest Management*, 57(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/09670874.2010.506223>
- Yahia, D., & Elsharkawy, E. E. (2014). Multi pesticide and PCB residues in Nile tilapia and catfish in Assiut city, Egypt. *Science of The Total Environment*, 466–467, 306–314. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.002>
- Yassoglou, N. J., Nobeli, C., & Vrahamis, S. C. (1969). A Study of Some Biosequences and Lithosequences in the Zone of Brown Forest Soils in Northern Greece: Morphological, Physical, and Chemical Properties1. *Soil Science Society of America Journal*, 33, 291–296. <https://doi.org/10.2136/sssaj1969.03615995003300020035x>
- Zhang, Q., Zhu, D., Ding, J., Zheng, F., Zhou, S., Lu, T., ... Qian, H. (2019). The fungicide azoxystrobin perturbs the gut microbiota community and enriches antibiotic resistance genes in *Enchytraeus crypticus*. *Environment International*, 131, 104965. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104965>
- Zhao, F., Liu, J., Xie, D., Lv, D., & Luo, J. (2018). A novel and actual mode for study of soil degradation and transportation of difenoconazole in a mango field. *RSC Advances*, 8(16), 8671–8677. <https://doi.org/10.1039/c8ra00251g>
- Zhao, H., Xia, B., Fan, C., Zhao, P., & Shen, S. (2012). Human health risk from soil heavy metal contamination under different land uses near Dabaoshan Mine, Southern China. *Science of the Total Environment*, 417–418, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.047>
- Zhou, J., Feng, K., Pei, Z., & Lu, M. (2016). Pollution assessment and spatial variation of soil heavy metals in Lixia River Region of Eastern China. *Journal of Soils and Sediments*, 16(3), 748–755. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1289-x>