



**Análisis de la producción científica del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR (*Pathogenesis Related*) en plantas a nivel mundial**

Romero Quishpe, Paúl Alexander

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología

Proaño Tuma, Karina Isabel Ph. D.

25 de marzo del 2021



### Document Information

Analyzed document	Tesis para urkund_Paul Romero.docx (D99639409)
Submitted	3/25/2021 4:48:00 PM
Submitted by	PROAÑO TUMA KARINA ISABEL
Submitter email	kiproanio@espe.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	kiproanio.espe@analysis.urkund.com

### Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/747/LA%20PRODUCC%3%93N%20CIENT">http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/747/LA%20PRODUCC%3%93N%20CIENT</a> ... Fetched: 12/7/2020 11:38:56 PM		1
<b>SA</b>	<b>Memorialmprimir.pdf</b> Document Memorialmprimir.pdf (D82202024)		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/25199/riggio_indicadores_tesis_20...">https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/25199/riggio_indicadores_tesis_20 ...</a> Fetched: 2/29/2020 2:36:51 AM		1
<b>SA</b>	<b>TFG -En proceso.docx</b> Document TFG - En proceso.docx (D90715243)		1

Firma:



.....  
Proaño Tuma, Karina Isabel Ph. D.

C.C. 1707245104



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Análisis de la producción científica del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR (*Pathogenesis Related*) en plantas a nivel mundial**” fue realizado por el señor **Romero Quishpe, Paúl Alexander**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 25 de marzo del 2021

Firma:



.....  
Proaño Tuma, Karina Isabel Ph. D.

C.C. 1707245104



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Romero Quishpe, Paúl Alexander**, con cédula de ciudadanía n° 1723640023, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Análisis de la producción científica del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR (*Pathogenesis Related*) en plantas a nivel mundial”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 25 de marzo del 2021

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'P. Romero', is written over a light blue rectangular background. Below the signature, a horizontal dotted line indicates the position of the printed name.

**Romero Quishpe, Paúl Alexander**

C.C. 1723640023



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Romero Quishpe, Paúl Alexander**, con cédula de ciudadanía n° 1723640023, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Análisis de la producción científica del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR (*Pathogenesis Related*) en plantas a nivel mundial”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 25 de marzo del 2021

Firma:

.....  
**Romero Quishpe, Paúl Alexander**

C.C. 1723640023

## **Dedicatoria**

A Dios por brindarme salud y encaminarme por el camino de la esperanza y las oportunidades.

A mis padres por su apoyo constante que ha sido primordial para culminar mis estudios universitarios.

A mi abuelita Rosita que, aunque hoy no está a mi lado, le agradezco su cariño y amor infinito.

A mi hermano Alexis, cuya compañía ha representado una motivación para superar las adversidades.

*Paúl Alexander Romero Q.*

## **Agradecimientos**

A mi familia por el apoyo, cariño y sustento diario, que me han permitido finalizar con éxito mi carrera universitaria.

A mi directora de tesis, la Dra. Karina Proaño por la oportunidad de formar parte del grupo de trabajo del laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Le agradezco el apoyo, la paciencia, la motivación y los consejos recibidos para el desarrollo de la presente investigación.

A mi cotutora de tesis, Dra. María Claudia Segovia, por su aporte valioso para la culminación de esta investigación.

A mis compañeros de trabajo, Dome, Kevin, Israel y Giulliete por la ayuda recibida en el laboratorio.

A mis amigos del colegio Katy y Gustavo por su amistad y apoyo brindado durante todos estos años.

A las amistades forjadas en esta etapa de la vida, Adrián, Tany, Andrea, Naty, Taty, Carlita y Soscyre. Gracias por su apoyo y compañía.

*Paúl Alexander Romero Q.*

## Índice de contenidos

<b>Carátula</b> .....	1
<b>Urkund</b> .....	2
<b>Certificación</b> .....	3
<b>Responsabilidad de autoría</b> .....	4
<b>Autorización</b> .....	5
<b>Dedicatoria</b> .....	6
<b>Agradecimientos</b> .....	7
<b>Índice de contenidos</b> .....	8
<b>Índice de Tablas</b> .....	12
<b>Índice de Figuras</b> .....	14
<b>Índice de Ecuaciones</b> .....	17
<b>Listado de abreviaturas</b> .....	18
<b>Resumen</b> .....	20
<b>Abstract</b> .....	21
<b>Introducción</b> .....	22
Formulación del problema .....	22
Justificación del problema .....	24
Objetivos de la investigación .....	26
<i>Objetivo General</i> .....	26
<i>Objetivos específicos</i> .....	26
Marco teórico .....	27
El sistema inmunitario en las plantas .....	27
Mecanismos de defensa innato .....	27



Resistencia sistémica adquirida (SAR).....	29
Resistencia sistémica inducida (SIR).....	29
Genes PR (Pathogenesis Related) .....	30
Características de los genes PR .....	30
Proteínas de la familia PR-1 .....	33
Proteínas de la familia PR-2.....	34
Proteínas de la familia PR-3.....	36
Otras familias de proteínas PR.....	38
Elicitores en plantas.....	39
Ácido salicílico.....	40
Ácido jasmónico .....	43
Quitosano.....	44
Otros compuestos .....	46
Efecto de los elicitores en la expresión de los genes PR en plantas .....	47
Análisis bibliométrico .....	50
Estrategia de búsqueda.....	50
Bases de datos .....	52
Principios matemáticos.....	57
Indicadores bibliométricos .....	61
Herramientas informáticas.....	63
Hipótesis .....	65
<b>Materiales y Métodos.....</b>	<b>66</b>
Participantes .....	66
Zona de estudio.....	66

	10
Duración de la investigación.....	66
Estrategias de búsqueda de la información .....	66
Criterios de selección.....	66
Fuentes de información .....	67
Scopus.....	68
PubMed.....	69
Pascal y Francis.....	70
Scielo .....	72
Dialnet.....	73
Redalyc.....	74
Periódica .....	75
RRAAE.....	76
Manejo y tratamiento de la información .....	77
Selección y almacenamiento de los datos .....	77
Creación de un registro de datos .....	78
Normalización de los datos .....	80
Análisis de datos .....	81
Indicadores bibliométricos.....	81
Aplicación de leyes matemáticas .....	86
Creación de redes de colaboración.....	87
<b>Resultados</b> .....	89
Producción científica a nivel mundial.....	89
Indicadores bibliométricos de producción e impacto .....	89
Indicadores bibliométricos de colaboración.....	97

Indicadores bibliométricos de dispersión.....	102
Producción científica de América Latina vs el resto del mundo .....	105
Producción científica a nivel nacional .....	110
Indicadores bibliométricos de producción e impacto .....	110
Indicadores bibliométricos de colaboración.....	114
Indicadores bibliométricos de dispersión.....	121
Factores involucrados en la expresión de los genes PR en plantas .....	124
<b>Discusión</b> .....	130
Evaluación de la producción científica a nivel mundial .....	130
Evaluación de la producción científica a nivel nacional.....	136
Cultivos y elicitores en la expresión de los genes PR.....	139
<b>Conclusiones</b> .....	142
<b>Recomendaciones</b> .....	144
<b>Bibliografía</b> .....	145

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación de las proteínas PR en plantas .....</i>	32
<b>Tabla 2</b> <i>Plantas en las que se han detectado las proteínas PR .....</i>	33
<b>Tabla 3</b> <i>Miembros de la familia PR-2 de especies de Nicotiana.....</i>	36
<b>Tabla 4</b> <i>Genes pertenecientes a la familia de proteínas PR-3 .....</i>	37
<b>Tabla 5</b> <i>Principales diferencias entre las bases de datos Scopus y Web of Science .....</i>	54
<b>Tabla 6</b> <i>Clasificación de los indicadores empleados en el análisis bibliométrico .....</i>	63
<b>Tabla 7</b> <i>Datos seleccionados de las publicaciones científicas obtenidas de las diferentes bases de datos.....</i>	77
<b>Tabla 8</b> <i>Datos de las publicaciones nacionales e internacionales sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas para el análisis bibliométrico .....</i>	79
<b>Tabla 9</b> <i>Indicadores bibliométricos calculados y obtenidos de las publicaciones nacionales sobre el efecto de elicitores en la expresión de genes PR en plantas.....</i>	82
<b>Tabla 10</b> <i>Indicadores bibliométricos calculados y obtenidos de las publicaciones a nivel mundial sobre el efecto de elicitores en la expresión de genes PR en plantas.....</i>	83
<b>Tabla 11</b> <i>Métodos de obtención y cálculo de los indicadores bibliométricos.....</i>	85
<b>Tabla 12</b> <i>Países e instituciones de afiliación de los investigadores más productivos en la investigación científica a nivel mundial.....</i>	95
<b>Tabla 13</b> <i>Países más productivos de la investigación científica a nivel mundial sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas .....</i>	96
<b>Tabla 14</b> <i>Principales revistas científicas con documentos sobre el efecto de elicitores en la expresión de genes PR en plantas a nivel mundial .....</i>	103

<b>Tabla 15</b> <i>Producción científica por regiones del mundo en relación al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas .....</i>	107
<b>Tabla 16</b> <i>Índices de colaboración científica por cada región del mundo sobre el efecto de elicitores en la expresión de genes PR en plantas .....</i>	109
<b>Tabla 17</b> <i>Porcentajes de producción, visibilidad y colaboración científica de las instituciones nacionales sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas.....</i>	113
<b>Tabla 18</b> <i>Revistas científicas que publican documentos nacionales sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas.....</i>	122
<b>Tabla 19</b> <i>Porcentaje de documentos analizados en relación al cultivo, elicitador y expresión del gen PR .....</i>	128

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Sistemas de defensa en la inmunidad vegetal.....</i>	27
<b>Figura 2</b>	<i>Biosíntesis del ácido salicílico en las plantas .....</i>	41
<b>Figura 3</b>	<i>Biosíntesis del ácido jasmónico en las plantas.....</i>	44
<b>Figura 4</b>	<i>Estructura química del quitosano .....</i>	46
<b>Figura 5</b>	<i>Curva de crecimiento de la producción científica de acuerdo a la Ley de Price.....</i>	58
<b>Figura 6</b>	<i>Curva cuadrática inversa de la relación entre el número de investigadores y los trabajos científicos que producen de acuerdo a la ley de Lotka.....</i>	59
<b>Figura 7</b>	<i>Búsqueda en Scopus de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas .....</i>	69
<b>Figura 8</b>	<i>Búsqueda en PubMed de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas .....</i>	70
<b>Figura 9</b>	<i>Búsqueda en Pascal y Francis de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas.....</i>	71
<b>Figura 10</b>	<i>Búsqueda en la base de datos de Scielo de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas.....</i>	72
<b>Figura 11</b>	<i>Búsqueda en la base de datos regional Dialnet de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas .....</i>	73
<b>Figura 12</b>	<i>Búsqueda en Redalyc de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas .....</i>	74
<b>Figura 13</b>	<i>Búsqueda en la base de datos Periódica de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas.....</i>	75

<b>Figura 14</b> <i>Búsqueda en la plataforma RRAAE de publicaciones científicas nacionales relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas .....</i>	76
<b>Figura 15</b> <i>Distribución anual de la producción científica mundial relacionada al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas .....</i>	90
<b>Figura 16</b> <i>Porcentaje de artículos científicos y revisiones publicados a nivel mundial .....</i>	91
<b>Figura 17</b> <i>Número de citas recibidas por cada tipo de documento científico publicado a nivel mundial .....</i>	92
<b>Figura 18</b> <i>Porcentaje de la producción científica a nivel mundial en relación al idioma publicado .....</i>	93
<b>Figura 19</b> <i>Curva cuadrática inversa del análisis de los datos número de documentos vs el número de investigadores.....</i>	94
<b>Figura 20</b> <i>Porcentaje de documentos científicos a nivel mundial producidos en coautoría simple y múltiple.....</i>	97
<b>Figura 21</b> <i>Índice de coautoría por periodos de tiempo para las publicaciones científicas a nivel mundial.....</i>	98
<b>Figura 22</b> <i>Evaluación del índice de coautoría de las publicaciones a nivel mundial a través del tiempo.....</i>	99
<b>Figura 23</b> <i>Red de colaboración entre países que publican documentos a nivel mundial sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas .....</i>	101
<b>Figura 24</b> <i>Porcentaje de documentos científicos publicados a nivel mundial, tomando en cuenta el cuartil de la revista .....</i>	105
<b>Figura 25</b> <i>Distribución anual de la producción científica de América Latina y El Caribe vs la producción científica mundial.....</i>	106
<b>Figura 26</b> <i>Distribución anual de la producción científica nacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas.....</i>	111

<b>Figura 27</b> <i>Porcentaje de documentos científicos publicados a nivel nacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas .....</i>	112
<b>Figura 28</b> <i>Índice de coautoría por periodos de tiempo de los trabajos científicos nacionales relacionados al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas .....</i>	115
<b>Figura 29</b> <i>Índice de coautoría de los trabajos nacionales con respecto al tiempo .....</i>	116
<b>Figura 30</b> <i>Red de colaboración internacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR.....</i>	118
<b>Figura 31</b> <i>Red de colaboración internacional entre instituciones sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR.....</i>	119
<b>Figura 32</b> <i>Red de colaboración nacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas .....</i>	120
<b>Figura 33</b> <i>Porcentaje de documentos científicos nacionales tomando en cuenta el cuartil de la revista.....</i>	124
<b>Figura 34</b> <i>Porcentajes de los principales cultivos empleados para estudios del efecto de elicitores en la expresión de genes PR a nivel mundial.....</i>	125
<b>Figura 35</b> <i>Porcentaje de la producción científica a nivel mundial en relación a los elicitores empleados sobre la expresión de los genes PR en plantas .....</i>	126
<b>Figura 36</b> <i>Porcentaje de la producción científica en relación a las familias de genes PR en estudios a nivel mundial.....</i>	127



## Índice de Ecuaciones

<b>Ecuación 1</b> Curva cuadrática inversa de la Ley de Lotka .....	60
<b>Ecuación 2</b> Cálculo del índice de coautoría .....	85
<b>Ecuación 3</b> Cálculo del grado de colaboración .....	85
<b>Ecuación 4</b> Cálculo del promedio de citas por publicación .....	85

**Listado de abreviaturas**

<b>AS</b>	Ácido salicílico
<b>MeSA</b>	Salicilato de metilo
<b>AJ</b>	Ácido jasmónico
<b>MeJA</b>	Jasmonato de metilo
<b>ASM</b>	Acibenzolar-S-metil
<b>S-FSA</b>	Ácido S-formilsalicílico
<b>INA</b>	Ácido 2,6-dicloroisonicotínico
<b>BTH</b>	Benzotiadiazol
<b>WoS</b>	Web of Science
<b>RRAAE</b>	Red de Repositorios de acceso abierto del Ecuador
<b>COBUEC</b>	Consortio de Bibliotecas Universitarias del Ecuador
<b>USFQ</b>	Universidad San Francisco de Quito
<b>UPS</b>	Universidad Politécnica Salesiana
<b>UTPL</b>	Universidad Técnica Particular de Loja
<b>UTEQ</b>	Universidad Técnica Estatal de Quevedo
<b>UDLA</b>	Universidad de las Américas
<b>UCE</b>	Universidad Central del Ecuador
<b>UNACH</b>	Universidad Nacional de Chimborazo
<b>UNEMI</b>	Universidad Estatal de Milagro

<b>ESPOL</b>	Escuela Superior Politécnica del Litoral
<b>INIAP</b>	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
<b>PUCE</b>	Pontificia Universidad Católica del Ecuador

## Resumen

Las enfermedades de las plantas causan grandes pérdidas a los agricultores y ponen en riesgo la seguridad alimentaria. Los elicitores son una alternativa a los métodos de control que provocan efectos negativos al medio ambiente y la salud humana. La falta de información científica acerca de los elicitores, como método de control de las enfermedades de las plantas impide aplicar estrategias para el desarrollo de este campo científico. Es por esta razón, que se realizó un estudio bibliométrico para analizar la producción científica del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas a nivel mundial. Para esto, se aplicaron indicadores bibliométricos a los documentos científicos obtenidos a partir de bases de datos. Al evaluar la producción e impacto científico a nivel mundial, se identificó a Estados Unidos como el país líder de la investigación sobre este tema. El análisis de coautoría determinó la importancia de la colaboración entre autores, debido a su influencia en la producción y en el impacto científico. A nivel nacional, la investigación sobre este campo se encuentra en una etapa inicial, donde los trabajos son producidos principalmente con colaboración de Países Bajos e Italia. Finalmente, se identificó que el AS y sus análogos son muy estudiados para evaluar la protección contra fitopatógenos en tabaco, Arabidopsis y tomate. Los resultados sugieren que se debe impulsar la producción científica nacional con la inversión recursos económicos, mayor colaboración nacional e internacional, escritura de publicaciones en inglés y el aumento de revistas nacionales afiliadas a bases de datos internacionales.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **ELICITORES**
- **ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO**
- **GENES PR**

### **Abstract**

Plant diseases cause great losses to the farmers and put food security at risk. Elicitors are an alternative instead of control methods that can cause adverse effects to the environment and human health. The scientific lack of information about the elicitors, used as a control method of the plant diseases, prevents the implementation of strategies for the development of this scientific field. For this reason, a bibliometric study was carried out to analyze the worldwide scientific production of the effect of elicitors on the expression of PR genes in plants. Bibliometrics indicators were applied to the scientific documents obtained from databases. Scientific production and impact worldwide was evaluated and the United States was identified as the leading country for research on this topic. The co-authorship analysis determined the importance of collaboration among authors, due to its influence on greater scientific production and impact. Research at national level on this scientific field is in an initial stage, where research studies are produced mainly in collaboration with Netherlands and Italy. Finally, it was identified that AS and its analogues are highly studied to evaluate protection against phytopathogens in tobacco, *Arabidopsis* and tomato. The results suggest that it is needed to promote national scientific production with the investment of economic resources, improve national and international collaboration, write international publications and the increase in national journals affiliated with international databases.

#### **KEYWORDS:**

- **ELICITORS**
- **BIBLIOMETRIC STUDY**
- **PR GENES**

## Introducción

### Formulación del problema

Uno de los mayores problemas que afectan a los cultivos, a nivel mundial, son las enfermedades ocasionadas por factores bióticos y abióticos. Entre los factores bióticos se encuentran los patógenos de tipo viral, bacteriano y fúngico, así como insectos de plagas y nemátodos (Stuiver & Custers, 2001). Los factores abióticos son el entorno natural y las condiciones favorables producidas por prácticas antropogénicas (Dodds & Rathjen, 2010). Actualmente, estas enfermedades se han convertido en un problema debido a las dificultades que se presentan para su control y manejo (Enyedi *et al.*, 1992).

Entre los principales desafíos se encuentra el aumento de la población mundial, que conlleva a una demanda cada vez mayor de una gran variedad de alimentos básicos, seguros y de calidad (Zanette *et al.*, 2000). Se considera que los patógenos fúngicos son una amenaza para la producción agrícola ya que son responsables del 80% de las enfermedades de las plantas (Idnurm & Howlett, 2001). Según Shuping y Eloff (2017), estos patógenos son los principales causantes de pérdidas poscosecha de frutas y verduras, las cuales alcanzan un 10 al 30% del rendimiento de los cultivos pese a la aplicación de tratamientos previos, pudiendo ser mayores las pérdidas (50%) en países en desarrollo y zonas tropicales.

El desarrollo tecnológico y socioeconómico de las naciones como parte de la globalización ha provocado prácticas agrícolas basadas en cultivos continuos e intensivos para una mayor producción (Aldaya *et al.*, 2010), lo que ha influenciado de manera perjudicial a los agroecosistemas (Burke & Ng, 2006). Estas actividades generan una competencia por las tierras fértiles cultivables y recursos naturales, que

ponen en riesgo el agroecosistema debido a que los recursos naturales a largo plazo se vuelven no recuperables (He, Zhang, & Xie, 2016).

La mayoría de las estrategias de manejo de las enfermedades de las plantas ha provocado durante largo tiempo problemas como la contaminación ambiental, pérdida de la biodiversidad, resistencia y evolución de patógenos e inclusive afectaciones en la salud humana (Forget, 1991). Una alternativa para este problema es el uso de elicitores como método de control, ya que reduce los efectos negativos en los suelos y en el medio ambiente (Francis *et al.*, 2003). Además, su aplicación es menos costosa en comparación con los pesticidas, resultando más rentable a nivel económico (BCE, 2019).

El primer paso en el desarrollo de nueva tecnología es la búsqueda y análisis de información científica existente. Actualmente, los estudios bibliométricos se consideran el inicio del proceso científico, lo que permite mejorar el desempeño investigativo (Romaní *et al.*, 2011). La falta de información impide conocer las estrategias y la metodología para mejorar el desarrollo y progreso de la investigación, lo que dificulta el direccionamiento adecuado de los esfuerzos y recursos económicos por parte de la comunidad científica y organismos políticos. Los estudios bibliométricos permiten una valoración y estimación de la productividad científica de los elicitores como un método de control de las enfermedades de las plantas.

## Justificación del problema

Actualmente muchos cultivos vegetales son vulnerables al ataque de diferentes patógenos como bacterias, hongos, virus e insectos, los cuales provocan enfermedades en cualquier etapa de desarrollo de la planta y en el manejo poscosecha (Arora *et al.*, 2016). Estas enfermedades han llegado a comprometer cultivos que sirven a nivel mundial como alimentos básicos, como el arroz, la papa, el maíz y el trigo, así como cultivos destinados al comercio como el plátano, café, cacao y rosas, entre otros, lo cual pone en riesgo la seguridad alimentaria y conlleva a grandes pérdidas económicas (Aragón, 1995).

Se han realizado diferentes esfuerzos para combatir a los fitopatógenos y reducir los daños ocasionados por las enfermedades causadas. Las diferentes estrategias de control aplicadas de tipo físico, químico y biológico tratan de reducir estos problemas, sin embargo tienen bajas eficiencias, costos elevados y pueden ocasionar efectos negativos al medio ambiente (Fravel, Olivain, & Alabouvette, 2003; McGovern, 2015).

En los últimos años, los avances científicos en el área de la fitopatología han permitido dirigir la atención al uso de elicitores como un método alternativo para el control de las enfermedades de las plantas. Se ha observado un efecto protector de los elicitores frente a una gran variedad de patógenos (Jamiołkowska, 2020), así como un bajo riesgo de toxicidad hacia el ser humano y el medio ambiente (Larkin & Fravel, 1998). Los elicitores son compuestos capaces de activar los mecanismos de defensa en las plantas, estas respuestas son similares a aquellas que se presentan cuando la planta es atacada por un patógeno, lo que estimula diferentes señales de defensa. Los genes PR son parte de esta respuesta, por lo que su expresión es útil para estudios de resistencia a enfermedades.



Existe una gran variedad de compuestos como elicitores, sin embargo los mayormente estudiados son el ácido salicílico, ácido jasmónico y etileno, por ser moléculas endógenos que participan en la generación de señales de defensa (Mandal, Mallick, & Mitra, 2009). La quitina y el quitosano, también están siendo muy estudiados porque son polímeros biodegradables. El quitosano es un inductor secundario liberado de la quitina por la acción de las pectinasas microbianas durante el proceso de infección (Benhamou & Thériault, 1992). Los investigadores han dedicado esfuerzos considerables en dilucidar los mecanismos moleculares de la resistencia vegetal por acción de estos principales elicitores. A pesar de determinar para algunos de ellos la dosis, los receptores, las vías de transducción, los genes PR que se activan, entre otros, la información aún se mantiene incompleta (Ramirez-Estrada *et al.*, 2016).

Es por esta razón, que se requieren estudios bibliométricos que proporcionen una base informativa de la cantidad y calidad de los avances científicos sobre los elicitores como método de control para combatir las enfermedades de las plantas (Michán, 2011). Estos estudios son importantes porque proveen a los investigadores de un panorama actual para generar nuevas líneas de investigación. Los resultados de este tipo de análisis también son útiles para identificar a los grupos de investigación y colaboración científica, lo que es imprescindible para promover equipos multidisciplinarios y aumentar la calidad y el impacto del trabajo científico. El objetivo de esta investigación será realizar un estudio bibliométrico que proveerá información para el inicio de líneas de investigación sobre elicitores como método de control de las enfermedades de las plantas.

## **Objetivos de la investigación**

### ***Objetivo General***

Analizar la producción científica del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR (*Pathogenesis Related*) en plantas a nivel mundial.

### ***Objetivos específicos***

- Evaluar la contribución científica a nivel nacional sobre los estudios del efecto de los compuestos elicitores en la expresión de los genes PR.
- Comparar la producción científica que existe entre América Latina y el resto del mundo sobre el efecto de los compuestos elicitores en la expresión de los genes PR.
- Determinar los grupos y redes de colaboración entre países e instituciones que se enfocan en el campo de investigación sobre la expresión de genes PR.
- Identificar el compuesto elicitador y los genes PR con mayor producción científica para futuros planes de mejoramiento genético.

## Marco teórico

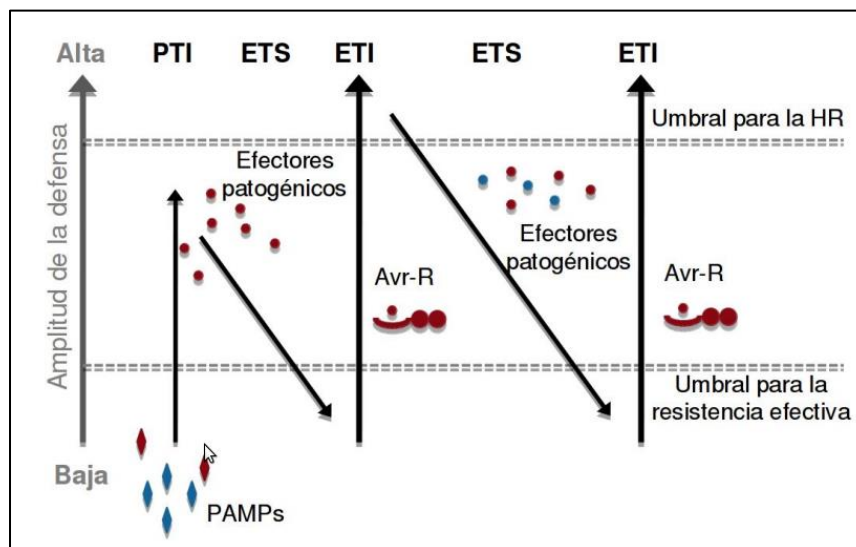
### El sistema inmunitario en las plantas

#### Mecanismos de defensa innato

El sistema inmune de las plantas es un mecanismo de defensa innato (Spoel & Dong, 2012), el cual se da a través de dos sistemas de respuesta, el primero llamado inmunidad activada por el patrón (PTI) y el otro denominada inmunidad activada por el efector (ETI). En la figura 1 se describe los tipos de respuesta en el sistema de defensa de las plantas (Han, 2007).

#### Figura 1

*Sistemas de defensa en la inmunidad vegetal*



*Nota.* La inmunidad PTI y ETI en las plantas. Tomado de (Han, 2007).

El sistema de respuesta PTI (Fig.1) se desencadena cuando la planta detecta a los patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs), que son estructuras fundamentales y conservadas de los patógenos. Estos PAMPs se unen a receptores de

reconocimiento de patrones de superficie celular (PRR), los cuales son de tipo quinasa (RLK) y se componen de: un dominio extracelular que se une al ligando, un dominio transmembrana y un dominio intracelular del tipo quinasa (Spoel & Dong, 2012). La respuesta PTI conduce a varios procesos de defensa como un estado de estrés oxidativo con la producción de los ROS y óxido nítrico (NO), un reforzamiento de la pared celular de la planta y una secreción sustancias antimicrobianas (fitoalexinas) y proteínas PR (Newman *et al.*, 2013).

El segundo sistema de defensa es la ETI (Fig.1), el cual se activa en presencia de efectores o factores de virulencia producidos por los patógenos como una forma de suprimir la respuesta PTI. Estos efectores al contrario de los PAMPs no son comunes entre patógenos si no que son específicos de un mismo grupo (Dodds & Rathjen, 2010), los cuales son reconocidos de forma directa o indirecta a través de proteínas de resistencia a enfermedades (proteína NLR). La ETI es una defensa PTI que se produce de manera amplificada. Esta respuesta conduce a una respuesta hipersensible (HR) que se manifiesta en la planta como un daño necrótico, debido a la muerte de las células del tejido infectado (Newman, Sundelin, Nielsen, & Erbs, 2013). Este proceso además, desencadena una cascada de respuestas en las que intervienen moléculas señalizadoras que viajan del sitio de infección a sitios distantes de la planta para inducir una resistencia sistémica (Nürnberg & Kemmerling, 2009).

En el sistema inmune de las plantas se tiene tres líneas de defensa. La primera consiste en la resistencia genética heredada, la segunda constituye mecanismos por los cuales se trata de impedir el ingreso del patógeno a las células vegetales cercanas mediante el engrosamiento de la pared celular y la cutícula, la producción de fitoalexinas y la activación de proteínas PR (Enyedi *et al.*, 1992). En la última línea de defensa se encuentra la resistencia sistémica adquirida (SAR).

### **Resistencia sistémica adquirida (SAR)**

La resistencia inducida consiste en un estado fisiológico de la planta en la que su capacidad de defensa se incrementa (Vilasinee *et al.*, 2019). Esta condición aparece cuando la planta interactúa con factores bióticos o abióticos (Choudhary & Johri, 2009). La resistencia inducida se manifiesta básicamente a través de dos fenómenos diferentes conocidos como la resistencia sistémica adquirida (SAR) y la resistencia sistémica inducida (SIR).

La resistencia de tipo SAR es aquella respuesta que se puede inducir en la planta cuando se expone a un estrés biótico o abiótico. El estrés biótico involucra el ataque de patógenos necrotizantes de tipo viral, bacteriano y fúngico, plagas de insectos y agentes no patógenos como elicitores químicos. El estrés abiótico incluye las condiciones ambientales adversas (Enyedi *et al.*, 1992). Esta respuesta de defensa se caracteriza por desencadenarse primero en el área de la infección para luego propagarse a zonas distantes. El establecimiento de esta resistencia sistémica puede durar de horas a días a partir de una infección primaria, después de la cual brinda a la planta una resistencia que perdura en el tiempo (Chaturvedi & Shah, 2007).

La vía de transducción que activa la respuesta SAR involucra al ácido salicílico y su derivado el salicilato de metilo (MeSA), que actúan como señalizadores para generar en primer lugar una respuesta hipersensible (Enyedi *et al.*, 1992). Esta respuesta se manifiesta como una lesión necrótica o un síntoma en el sitio de la infección, mientras que en tejidos sanos se produce la expresión de los genes PR (Conrath, 2006).

### **Resistencia sistémica inducida (SIR)**

Las raíces de las plantas son una fuente de materia orgánica (C y N), a través de sus exudados y lisados, para los microorganismos que habitan en la rizósfera como

bacterias, hongos e insectos. Es por eso que las plantas se ven amenazadas al ataque de estos patógenos que busca alimentarse de dicha materia orgánica (Choudhary *et al.*, 2007). Las plantas pueden defenderse de estos patógenos mediante la resistencia sistémica inducida (SIR), que se produce por la interacción de las raíces con bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPB) como las rizobacterias (Choudhary & Johri, 2009). La interacción se da específicamente con bacterias que pertenecen al género *Pseudomonas*, las cuales brindan a la planta una protección contra microorganismos patógenos como *Pythium*, *Fusarium* o *Rhizoctonia* (Herlihy, 2008).

La respuesta SIR se diferencia de SAR por el tipo de inductor y los mecanismos de traducción. Esta respuesta se activa por las rizobacterias, por lo que se denomina resistencia sistémica inducida por rizobacterias (RISR). La respuesta SIR es dependiente de las vías reguladas por las fitohormonas etileno y jasmonato y no conduce a una acumulación de proteínas PR (Choudhary & Johri, 2009). En su lugar hay una producción de fitoalexinas que generalmente ocurre en los tallos de la planta (Herlihy, 2008).

## **Genes PR (Pathogenesis Related)**

### **Características de los genes PR**

Los genes PR son aquellos que codifican proteínas vegetales que están involucradas en la defensa de las plantas. Su expresión se produce cuando la planta sufre un ataque de agentes patógenos como hongos, bacterias, virus, insectos y herbívoros (Ebrahim *et al.*, 2011). La producción de estas proteínas no solamente ocurre en el sitio de la infección sino también en sitios alejados donde los tejidos permanecen sanos. Esta protección de la planta está relacionada con el sistema de defensa SAR (Ođjakova & Hadjiivanova, 2001).

Los genes PR también se expresan cuando la planta sufre algún tipo de estrés ambiental como sequía, salinidad, radiación UV, entre otros (Vilasinee *et al.*, 2019). Por lo que se las incluye dentro del grupo de proteínas que están relacionadas con el estrés de la planta, sin embargo se diferencian de otros tipos porque estas proteínas están presentes en los tejidos sanos en niveles basales. Las proteínas de los genes PR representan hasta el 1% de las proteínas solubles totales de las hojas, lo cual las hace fácilmente detectables (Van Loon, 1997).

Las proteínas PR se caracterizan por ser de bajo peso molecular, se extraen a bajo pH, tienen estabilidad térmica y son resistentes a la proteólisis. Estas proteínas se localizan en células epidérmicas como las mesófilas, en el espacio intercelular de las hojas y en los haces vasculares (Vilasinee *et al.*, 2019). Las proteínas PR se clasifican en 17 familias (Tabla 1), de acuerdo a la similitud respecto a la estructura bioquímica. Los integrantes de las diferentes familias de las proteínas PR pueden presentar funciones similares, sin embargo su estructura difiere considerablemente (Sels *et al.*, 2008). Cada proteína PR, dependiendo del punto isoeléctrico pueden ser ácidas o básicas y estar ubicadas en el espacio intercelular y dentro de las vacuolas, respectivamente (Van Loon *et al.*, 2006).

**Tabla 1***Clasificación de las proteínas PR en plantas*

<b>Familia</b>	<b>Tamaño (kDa)</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Objetivo microbiano</b>
PR-1	15	Antifúngico e Involucrado en el engrosamiento de la pared celular	Desconocido
PR-2	30	$\beta$ -1,3-Glucanasa	$\beta$ -1,3-Glucano
PR-3	25-30	Quitinasa (Clase I, II, IV, V, VI y VII)	Quitina
PR-4	15-20	Quitinasa (Clase I, II)	Quitina
PR-5	25	Similar a la Taumatina	Membrana
PR-6	8	Inhibidor de la proteínasa	-
PR-7	75	Endoproteínasa	-
PR-8	28	Quitinasa clase III	Quitina
PR-9	35	Peroxidasa	-
PR-10	17	Similar a la Ribonucleasa	-
PR-11	40	Quitinasa clase I	Quitina
PR-12	5	Defensina	Membrana
PR-13	5	Tionina	Membrana
PR-14	9	Proteína de transferencia de lípidos	Membrana
PR-15	20	Oxalato oxidasa	-
PR-16	20	Similar a Oxalato oxidasa	-
PR-17	27	Peptidasa	-

*Nota.* Elaboración propia a partir de (Sels *et al.*, 2008).

Los primeros estudios de las proteínas PR se llevaron a cabo en tabaco y *Arabidopsis* desde 1970, sin embargo con el transcurso de los años estas proteínas fueron tomando mayor atención (Vidhyasekaran, 2008). Los investigadores tenían gran interés en conocer los mecanismos de inducción y las funciones biológicas en los diferentes cultivos de plantas (Gorjanović, 2009). Es así que las proteínas PR han sido identificadas y aisladas en diferentes especies de plantas (Tabla 2). Estas proteínas se encuentran en al menos nueve familias de plantas y aquellas encontradas en el tabaco y tomate son las mejor caracterizadas (Ebrahim *et al.*, 2011).



**Tabla 2**

*Plantas en las que se han detectado las proteínas PR*

<b>Familia</b>	<b>Plantas en las cuales han sido detectadas</b>
PR-1	Arroz, maíz, cebada, tomate, tabaco, perejil
PR-2	Arroz, trigo, cebada, maíz, papa, tomate, tabaco, pimienta, frijol, guisante, garbanzo, remolacha azucarera, soja, picea de Noruega, <i>Brassica napus</i> , <i>Brassica nigra</i>
PR-3	Arroz, maíz, tomate, pimienta, remolacha azucarera, colza
PR-4	Tabaco, tomate, caucho
PR-5	Arroz, trigo, cebada, avena, sorgo, papa, tomate, tabaco
PR-6	Cebada, tomate, papa, tabaco
PR-7	Tomate
PR-8	Pepino
PR-9	Tomate, arroz, tabaco, trigo
PR-10	Perejil, papa, espárragos, arveja, frijol, arroz, soja
PR-11	Tabaco
PR-12	Arabidopsis, guisante, rábano
PR-13	Cebada
PR-14	Cebada
PR-15	Cebada
PR-16	Cebada, trigo
PR-17	Trigo, cebada, tabaco

*Nota.* Elaboración propia a partir de (Sels *et al.*, 2008).

### **Proteínas de la familia PR-1**

Las proteínas PR-1 se encuentran en una gran variedad de plantas pertenecientes a las familias Gramineae, Solanaceae, Amaranthaceae y Chenopodiaceae (Vidhyasekaran, 2008). La primera proteína PR-1 se identificó en *Nicotiana tabacum* infectada con el virus del mosaico del tabaco en 1970 (Breen *et al.*, 2017). Estas proteínas son las de mayor abundancia en la planta porque representan entre el 1 y 2% de la proteína total soluble de las hojas (Sudisha *et al.*, 2012), las cuales se caracterizan por tener un peso molecular de 14-16 kDa (Vidhyasekaran, 2008). Varias proteínas PR-1 de diferentes cultivos tienen una estructura similar, compuesta de

4 hélices  $\alpha$  y 4 hélices  $\beta$ , además de seis residuos de cisteína en común (Van Loon *et al.*, 2006).

La función biológica de las proteínas PR-1 aún no está bien determinada (Niderman *et al.*, 1995). Estudios iniciales le atribuían únicamente una capacidad antifúngica debido a que se localizaban en la pared celular externa y en el citoplasma de hifas de patógenos invasores (Ferreira *et al.*, 2007), aunque estudios posteriores determinaron una función antimicrobiana, al igual que las proteínas de la familia PR-2 y PR-5 (Tornero *et al.*, 1997). Estas proteínas también se inducen bajo condiciones de estrés ambiental como el frío, salinidad, humedad, sequía, entre otros (Hong & Hwang, 2002).

Dependiendo del punto isoeléctrico las proteínas PR-1 pueden ser ácidas o básicas (Kitajima & Sato, 1999). Las isoformas ácidas se caracterizan por ser solubles en buffers ácidos (pH 3.0) y son muy resistentes a proteasas. Estas isoformas tienen en su estructura 138 aminoácidos producto de la escisión de un precursor, el cual es una señal peptídica hidrofóbica N terminal de 30 aminoácidos (Vidhyasekaran, 2008). Las isoformas básicas se expresan en mayor cantidad en comparación con las ácidas, sin embargo ambas tienen una estructura similar (Golshani *et al.*, 2015). Las isoformas básicas inmaduras tienen una secuencia peptídica N terminal de 30 aminoácidos y dominios C terminales. La primera secuencia sirve para la translocación de estas proteínas del retículo endoplásmico, mientras que la otra es una señal de transporte a las vacuolas celulares (Sudisha *et al.*, 2012).

### **Proteínas de la familia PR-2**

La familia PR-2 incluye un amplio grupo de proteínas que intervienen no solamente en la defensa de las plantas contra patógenos sino también frente al estrés abiótico (Golshani *et al.*, 2015). Estas proteínas también son parte de procesos

normales de desarrollo de la planta. Ejemplos de estos procesos son la división celular, embriogénesis, microsporogénesis, germinación de semillas y polen, maduración del fruto, latencia de brotes y el almacenamiento de las reservas en el endospermo (Datta & Subbaratnam, 1999).

Las proteínas PR-2 tienen un peso molecular de 33 a 44 kDa y actúan como  $\beta$ -1,3-glucanasas (Borad & Sriram, 2014). Estas proteínas hidrolizan los enlaces 1,3- $\beta$ -D-glicosídicos de los  $\beta$ -1,3-glucanos, los cuales son uno de los principales componentes de la pared celular de hongos (Golshani *et al.*, 2015). De acuerdo al punto isoeléctrico y otras características como el peso, localización celular y patrón de regulación, se agrupan en isoformas ácidas y básicas (Datta & Subbaratnam, 1999). Las proteínas ácidas se secretan fuera de la célula, ocupando el compartimento extracelular, mientras que las básicas se localizan en las vacuolas (Golshani *et al.*, 2015).

Las proteínas PR-2 del género de plantas *Nicotiana* se clasifican en tres tipos estructurales en base a la identidad de la secuencia de aminoácidos (Tabla 3). Algunas proteínas similares se han detectado en plantas como papa, tomate y otras (Datta & Muthukrishnan, 1999). En tomate se han identificado tres proteínas  $\beta$ -1,3-glucanasas: una isoforma ligeramente ácida de 35 kDa, una isoforma ácida y una básica. Estas dos últimas también tienen un peso molecular de 35 kDa, con una alta homología a la  $\beta$ -1,3-glucanasa básica de tabaco (Vidhyasekaran, 2008).

**Tabla 3**

*Miembros de la familia PR-2 de especies de Nicotiana*

Clase	Nombre	Origen	PM (kDa)	pl	Localización
I	PR-2e	Nt (T)	33	Básico	Vacuola
I	PR-2e	Nt (S)	33	Básico	Vacuola
I	PR-2e	Nt (S)	-	Básico	Vacuola
I	PR-2e	Nt (S)	-	Básico	Vacuola
I	-	Np	-	Básico	Vacuola
I	-	Np	34	Básico	Vacuola
II	PR-2a	Nt	35	Ácido	Secretada
II	PR-2b	Nt	35	Ácido	Secretada
II	PR-2c	Nt	35	Ácido	Secretada
II	-	Nt	-	Ácido	Secretada
III	PR-2d	Nt	35	Ácido	Secretada

*Nota.* Abreviaturas: Nt: *Nicotiana tabacum*, Np: *N. plumbaginifolia*, T: Progenitor *N. tomentosiformis* de tabaco, S: Progenitor *N. sylvestris* de tabaco, pl: punto isoeléctrico, PW: Peso molecular de la proteína madura. Fuente: (Vidhyasekaran, 2008).

### Proteínas de la familia PR-3

Los miembros de la familia de proteínas PR-3 son principalmente quitinasas o endo  $\beta$ -1,4-glucosaminidasas. Su función es hidrolizar los enlaces  $\beta$ -glicosídicos en el extremo reductor de glucosaminas encontrados en la quitina y sus derivados como el quitosano y el peptidoglicano (Vidhyasekaran, 2008). Este grupo de proteínas son parte de la familia 19 de las glicosil hidrolasas (Tabla 4). Esta familia agrupa varios genes y clases de acuerdo con la homología de secuencia y la presencia de un dominio de unión a la quitina (CBD).

**Tabla 4**

*Genes pertenecientes a la familia de proteínas PR-3*

Familia	Familia de glicosil hidrolasas	Gen y clase	Dominio de unión	Dominio catalítico	Secuencias conocidas
PR-3	19	Chia1 (I)	1	I	50
		Chia2 (IIb)	-	I	11
		Chia2 (IIa)	-	II	16
		Chia4 (IV)	1	IV	24
		Chia5 (V)	2	C	1
		Chia6 (VI)	1/2 + Pro	-	1
		Chia7 (VII)	-	IV	1

Nota. Elaboración propia a partir de (Datta & Subbaratnam, 1999).

Las quitinasas de diferentes plantas tienen una estructura en común. Esta estructura se compone de un dominio catalítico, una hélice y un dominio globular con un surco donde se encuentran dos glutamatos como residuos catalíticos (Datta & Subbaratnam, 1999). Las quitinasas de la clase II no tienen el CBD de la clase I, la clase IV en comparación a la clase I carece de delecciones internas dentro del dominio CBD y del dominio catalítico (Chandrashekar *et al.*, 2018). La clase V posee dos dominios CBD en tándem y la clase VI tiene un dominio CBD truncado y una secuencia rica en prolina (Chandrashekar *et al.*, 2018). Por otro lado la clase VII posee un dominio catalítico homólogo a la clase IV y no posee del dominio CBD (Datta & Subbaratnam, 1999).

Las isoformas básicas de las proteínas PR-3 tienen una función antifúngica y se localizan dentro de las vacuolas celulares. Dicha función brinda a la planta una protección frente una gran variedad de hongos patógenos (Golshani *et al.*, 2015). Por otro lado, las isoformas ácidas también tienen una función antifúngica, pero en menor medida y se localizan en el espacio extracelular. Este tipo de isoformas posiblemente

están involucradas en la liberación de oligosacáridos de la pared celular de patógenos, los cuales sirven como moléculas señalizadoras (Datta & Subbaratnam, 1999).

### **Otras familias de proteínas PR**

Las otras familias de proteínas PR poseen una estructura bioquímica que difiere considerablemente, a pesar de que la función biológica para algunas de ellas sea similar (Veluthakkal & Ghosh, 2010). Las proteínas de las familias PR-4, PR-8 y PR-11 tienen una función endoquitinasa al igual que PR-3. A pesar de que estas proteínas tienen en común la función biológica, su peso molecular y la estructura, son proteínas que ocupan familias diferentes (McFadden *et al.*, 2001). Algunos miembros de la familia PR-8 también tienen una función enzimática, como lisozimas, las cuales participan en el control de patógenos bacterianos (Park *et al.*, 2004).

La familia PR-5 son proteínas de tipo taumatina. Estas proteínas desempeñan una función antifúngica en el tabaco, específicamente las isoformas básicas reducen el daño ocasionado contra oomicetos (Skadsen *et al.*, 2000). Los integrantes de la familia PR-6 son inhibidores de las proteinasas que están involucradas en la resistencia de las plantas contra insectos (Murphy & Stevens, 1992). Al momento en el que la planta sufre una herida por un insecto, este estímulo conduce a la expresión de las proteínas PR-6. La familia PR-7 son endoproteinazas identificadas inicialmente en el tomate, las cuales tienen actividad enzimática porque disuelven la pared celular de los fitopatógenos (Sels *et al.*, 2008).

Las proteínas PR-9 son una clase de peroxidasas que brindan protección a los tejidos vegetales contra la entrada de patógenos promoviendo la producción de lignina (Wang *et al.*, 2005). La familia PR-10 incluye ribonucleasas, implicadas en la defensa intracelular de las células vegetales contra los patógenos víricos (Schenk *et al.*, 2009). Las proteínas PR-12, PR-13 y PR-14 son defensinas, tioninas y proteínas de

transferencia de lípidos, respectivamente. Estas tres familias brindan a la planta protección contra bacterias y hongos (Sels *et al.*, 2008).

Las familias PR-15, PR-16 y PR-17 fueron las últimas proteínas en identificarse, por lo que se requieren más estudios de caracterización. Las proteínas PR-15 y PR-16 son oxalato oxidasas, siendo la primera de tipo germinal y la segunda con actividad superóxido dismutasa (Van Loon *et al.*, 2006). Algunos miembros de la familia PR-17 se han identificado en cultivos como el trigo, cebada y tabaco (Christensen *et al.*, 2002). La función biológica de las proteínas PR-17 aún no está bien definida, sin embargo estudios de caracterización estructural le atribuyen una función similar a las metaloproteinasas de zinc (Vidhyasekaran, 2008).

### **Elicitores en plantas**

Los elicitores son compuestos que activan cualquier mecanismo de defensa en las plantas (Conrath, 2006). Estos compuestos son un estímulo para una serie de señales (Thakur & Sohal, 2013), que conducen a la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), fitoalexinas, síntesis de enzimas de defensa y proteínas relacionadas a la patogénesis (PR). Las fitoalexinas, ROS y las enzimas de defensa son parte de la respuesta hipersensible. Esta respuesta se manifiesta con un necrosamiento del tejido local de la infección, mientras los genes PR son parte de la respuesta SAR (Van Loon, 1997). La aplicación exógena de elicitores en las plantas les confiere un estado de cebado, lo que se caracteriza por ser una condición fisiológica en el que la planta reacciona de forma más rápida y con mayor intensidad cuando se expone a algún estrés posterior de tipo biótico o abiótico (Patel & Krishnamurthy, 2013).

### Ácido salicílico

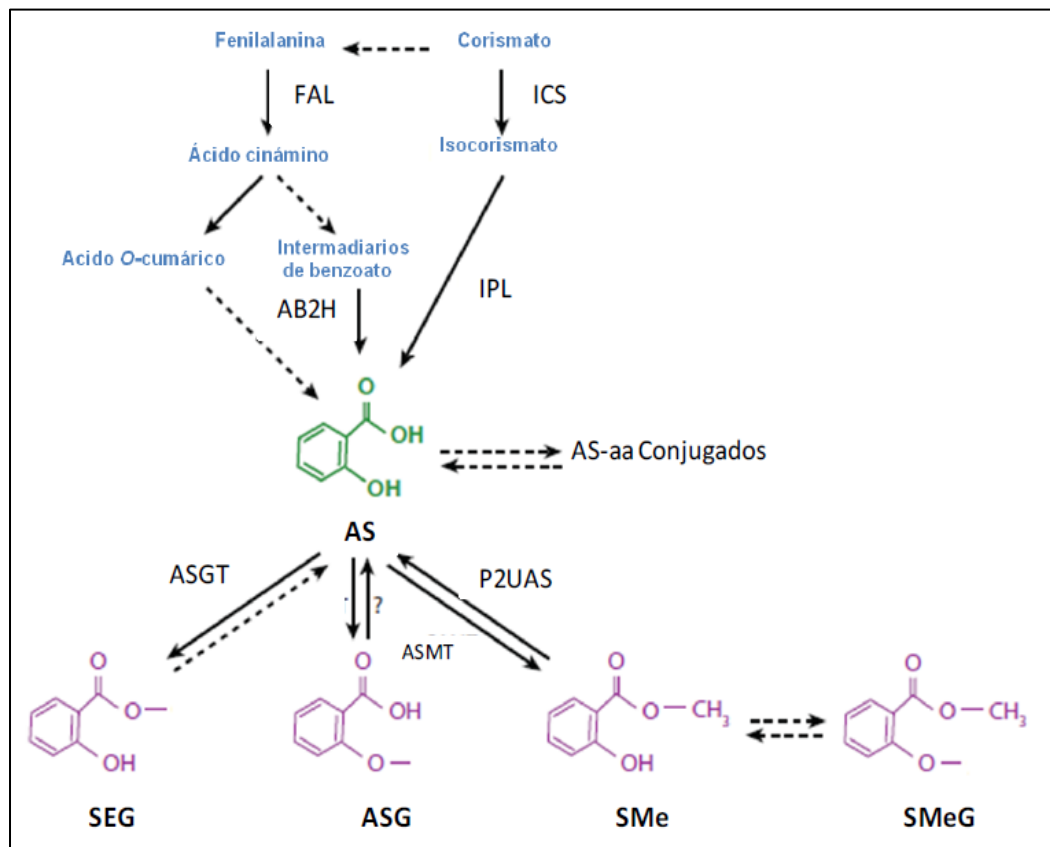
El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico, estructuralmente formado por un anillo bencénico con un grupo hidroxilo (Dempsey *et al.*, 2011). En estado libre este compuesto es un sólido cuyo punto de fusión va de 157 a 159 °C (Hayat *et al.*, 2010). En las plantas el AS es una hormona vegetal que cumple diferentes funciones en el metabolismo. El AS está involucrado en la germinación, floración y el rendimiento del fruto, también interviene en procesos como la absorción de nutrientes, la fotosíntesis, la termogénesis y la transpiración (Hayat *et al.*, 2010).

La biosíntesis de AS tiene lugar en los plastidios de las células vegetales, en los cloroplastos este compuesto es liberado al citosol mediante un transportador llamado EDS5 localizado en sus envolturas (Q. M. Gao *et al.*, 2015). El AS en las plantas se sintetiza por medio de dos vías a partir un precursor llamado corismato, el cual se forma por la ruta del ácido shikímico (Fig. 2). La primera vía toma el nombre de isocorismato sintasa (ICS). En esta vía el corismato sufre una hidroxilación en el carbono 2 del anillo aromático dando lugar al isocorismato, esta reacción esta catalizada por la enzima ICS (Dempsey *et al.*, 2011). Luego, se tiene una reacción pericíclica, en la que el isocorismato se convierte en salicilato y piruvato por medio de la enzima isocorismato piruvato liasa, IPL (Q. M. Gao *et al.*, 2015).



Figura 2

## Biosíntesis del ácido salicílico en las plantas



Nota: Rutas biosintéticas del ácido salicílico en las plantas. Abreviaturas: ICS (Isocorismato sintasa), IPL (Isocorismato piruvato liasa), y AB2H (Acido benzoico 2-hidroxilasa). Fuente: (Q. M. Gao *et al.*, 2015).

La segunda vía (Fig. 2) se conoce como la ruta de la fenilalanina amoniaco-liasa (PAL). El primero paso consiste en la conversión del corismato a fenilalanina, para luego transformarlo en cinamato por medio de la enzima PAL. Posteriormente el cinamato sufre una descarboxilación de su cadena lateral y forma el benzoato (Lefevre *et al.*, 2020). Este compuesto por medio de una reacción de hidroxilación pasa a ácido salicílico, esta reacción está catalizada por la enzima Ba2H (Gao *et al.*, 2015). Según Dempsey y colaboradores (2011), mediante estudios en *Arabidopsis*, la ruta

predominante para la biosíntesis de AS a partir de corismato es aquella catalizada por ICS.

La movilidad del AS en el interior y exterior de la célula, así como en los diferentes tejidos de la planta a través del floema está mediado por las especies reactivas de oxígeno (ROS) y la concentración del ion  $\text{Ca}^{2+}$  (Hayat *et al.*, 2010). Esta hormona se almacena dentro de la planta en forma de compuestos derivados, siendo inactivos a nivel biológico. Estos derivados son el salicilato de metilo (MeSA), SA 2-O- $\beta$ -D-glucosa (SAG), SA-éster de glucosa (SGE) y SA-conjugados de aminoácidos (Q. M. Gao *et al.*, 2015). Estos compuestos se forman por reacciones de metilación, glucosilación, esterificación y conjugación de aminoácidos, respectivamente.

La función específica de los derivados del AS no está bien determinada. Algunos estudios han establecido que el MeSA es un compuesto volátil y móvil a larga distancia a través del floema (Lefevere *et al.*, 2020). La conversión de AS a MeSA está dada por la enzima metiltransferasa (SAMT) y la biosíntesis de AS a partir de MeSA está catalizada por una metil esterasa (Chen *et al.*, 2009).

El ácido salicílico es una molécula de señalización durante procesos de infección en la planta. La acumulación endógena de AS induce la transcripción de los genes PR, los cuales son parte de la respuesta SAR (Bari & Jones, 2009). Estudios realizados en *Arabidopsis*, tabaco y pepino, mostraron una correlación positiva de la expresión del gen PR-1 con la producción de AS. En estos estudios el AS se produjo en un rango de 10 ng/g a 2.6  $\mu\text{g/g}$  (Q. M. Gao *et al.*, 2015).

La expresión inducida de los genes PR por AS depende de otras moléculas señalizadoras a larga distancia que median la biosíntesis de AS. Estas moléculas son el ácido metilsalicílico (MeSA), el ácido azelaico, el glicerol-3-fosfato (G3P) y proteínas de transferencia de lípidos como la DIR1 y ácido azelaico inducido, AZI1 (Bektas &

Eulgem, 2015). En el caso del MeSA, este se transloca por el sistema vascular de la planta desde el sitio local de la infección hacia tejidos sanos, donde sufre una transformación en AS mediante la enzima SA-metiltransferasa (Tripathi *et al.*, 2019).

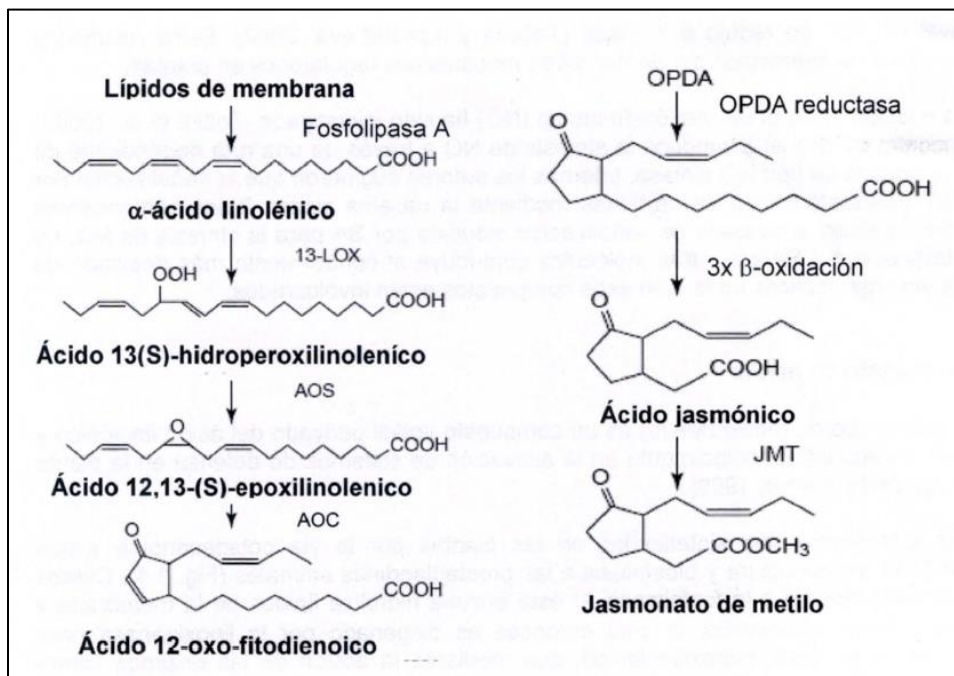
### **Ácido jasmónico**

Es una fitohormona cuyo nombre químico es ácido 3-oxo-2-(20-cis-pentenil)-ciclopentano-1-acético. Este compuesto desempeña funciones en el desarrollo de la planta como el crecimiento primario de las raíces, la formación de los estambres, la floración y la senescencia de las hojas (Huang *et al.*, 2017). Esta hormona también es parte de procesos importantes de la planta como el intercambio gaseoso a través de la apertura de los estomas como mediador de la absorción de fósforo y nitrógeno y el transporte de la glucosa (J. Wang *et al.*, 2020).

El ácido jasmónico (AJ) se sintetiza en las plantas por un proceso de esterificación de lípidos. Este proceso se lleva a cabo en dos compartimentos celulares como los cloroplastos y peroxisomas (Fig. 3). En el cloroplasto la reacción empieza con el compuesto ácido  $\alpha$ -linolénico que por acción de la enzima lipoxigenasa (13-LOX) se convierte en ácido hidroperoxiocetadecatrienoico (13-HPOT). Después el 13-HPOT se transforma en ácido oxofitodienoico (OPDA). Este compuesto se transloca al peroxisoma donde por una reacción de reducción catalizada por la OPDA reductasa se convierte en ácido 3-oxo-2-(20-cis-pentenil)-ciclopentano-1-octanoico (OPC-8). Finalmente, el OPC-8 por medio de una serie de reacciones de  $\beta$ -oxidación se convierte en AJ (Raza *et al.*, 2020).

Figura 3

*Biosíntesis del ácido jasmónico en las plantas*



*Nota:* Reacciones metabólicas del ácido jasmónico en las plantas. Tomado de (Altúzar, 2008).

El AJ que se encuentra en el citosol de la célula puede transformarse en otros compuestos derivados que a nivel biológico son parcialmente activos e inactivos. Estos derivados son el jasmonato de metilo (MeJA), 12-orto-glucosil jasmonato y sulfato de ácido 12-hidroxijasmónico (12-HSO<sub>4</sub>-JA). Estos compuestos se forman por reacciones de metilación, glucosilación y sulfatación, respectivamente (Huang *et al.*, 2017).

### Quitosano

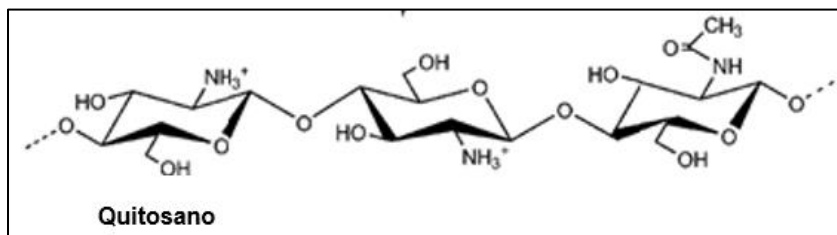
El quitosano es un polisacárido lineal derivado de la quitina, el cual es un componente estructural de hongos, crustáceos e insectos. El quitosano no se encuentra comúnmente de forma libre en la naturaleza (Hadwiger, 2013). Este polisacárido puede

ser obtenido a través de una reacción de desacetilación de la quitina. Este proceso se lleva a cabo por determinados hongos que poseen enzimas deacetilasas (Yin *et al.*, 2016). Por otro lado, a nivel comercial el quitosano se obtiene de crustáceos mediante una secuencia de pasos de desmineralización con ácidos y desproteización con bases (Malerba & Cerana, 2016). El quitosano tiene un elevado peso molecular, por lo que es insoluble en agua. Es por esta razón que se obtienen productos de degradación llamados oligosacáridos de quitosano. Estos compuestos están formados, de 2 a 10 unidades y son solubles en soluciones ácidas acuosas como ácidos orgánicos diluidos (Yin *et al.*, 2016).

El quitosano es un polímero compuesto de unidades de N-acetil glucosamina y Glucosamina, unidos por un enlace  $\beta$  (1-4), en una relación de 20% y 80%, respectivamente, tal como se observa en la figura 4 (Hadwiger, 2013). Hay tres grupos funcionales reactivos en el quitosano. Estos grupos son: un grupo amino en el carbono 2 de cada unidad desacetilada, un grupo hidroxilo primario en el carbono 6 y un grupo hidroxilo secundario en el carbono 3 (Singh *et al.*, 2018). El grupo amino le permite al quitosano cargarse positivamente y tener la capacidad de unirse a iones metálicos, proteínas, lípidos y otras macromoléculas con carga negativa. En la industria este grupo amino permite realizar modificaciones estructurales para la obtención de derivados funcionales como saliciloil quitosano, O-fumaril quitosano, quitosano funcionalizado con arginina y quitosano guanidinilado (Singh *et al.*, 2018).

## Figura 4

### Estructura química del quitosano



*Nota:* Unidades de N-acetil glucosamina y Glucosamina en el quitosano. Tomado de (Singh *et al.*, 2018).

El quitosano se caracteriza por tener propiedades antimicrobianas. Estas propiedades dependen de factores como el origen biológico, peso molecular, grado de desacetilación, pH de la solución, concentración aplicada y tipo de fitopatógeno (Malerba & Cerana, 2016). Estas características, sumado a que es un compuesto biodegradable, hacen que el quitosano sea un objetivo interesante de estudiar en el campo de la fitopatológica como un inductor general de la inmunidad innata en las plantas (Katiyar *et al.*, 2015).

### Otros compuestos

Existe una gran variedad de elicitores, que de acuerdo a su origen pueden ser de tipo biótico o abiótico (Ramírez-Estrada *et al.*, 2016). Los elicitores bióticos exógenos son aquellos que se desprenden de la pared celular de los fitopatógenos por acción de las enzimas vegetales. Ejemplos de estos son los  $\beta$ -glucanos, extractos de levadura, lisados de hongos y bacterias, entre otros (Ebel & Cosio, 1994).

Los elicitores bióticos exógenos también son las sustancias secretadas por los patógenos para favorecer la infección. En este grupo se incluyen proteínas como las

celulasas y oligandrininas, así como fitoxinas (ceratoplataninas, arpinas, coronatina), entre otros (M. G. Hahn, 1996). Por otro lado, los elicitores bióticos endógenos son productos de degradación de la pared celular vegetal por acción de los patógenos. En este tipo de elicitores están las oligosacarinas, el alginato, la pectina, entre otros (Yamaguchi & Huffaker, 2011).

Los elicitores abióticos son compuestos no biológicos, específicamente sales inorgánicas e iones metálicos (Ramírez-Estrada *et al.*, 2016). Según varios estudios, las sales inorgánicas como  $AlCl_3$ ,  $AgNO_3$ ,  $CaCl_2$ ,  $KCl$  y  $NiSO_4$ , así como los iones de  $Al$ ,  $Ag$  y  $Zn$  han provocado la producción de metabolitos secundarios en cultivos celulares (Ebel & Cosio, 1994). Se consideran también elicitores abióticos los factores físicos externos producto de la interacción de la planta con el medio ambiente (Heil *et al.*, 2012). Las heridas en los tejidos vegetales, la sequía, la salinidad, el frío, entre otros, son ejemplos de este tipo.

### **Efecto de los elicitores en la expresión de los genes PR en plantas**

La expresión de los genes PR por efecto de los elicitores constituye un sistema complejo. Este sistema involucra a receptores, segundos mensajeros, vías de transducción de señales, elementos reguladores y factores de transcripción (Backer *et al.*, 2019). Es por esta razón, que la mayor parte de las investigaciones se enfocan en identificar estos componentes de la regulación de la expresión de los genes PR. La comprensión de los mecanismos de inducción de los genes PR puede ayudar a generar plantas resistentes a patógenos devastadores (Malamy & Klessig, 1992).

La aplicación exógena de AS activa la expresión de varios genes PR. Por ejemplo, en el tabaco la aspersion de AS en hojas promueve la expresión de las isoformas ácidas de los genes PR-1, PR-2, PR-3, PR-4, PR-5 y PR-8, además de las isoformas básicas de PR-1 y PR-8 (Vidhyasekaran, 2008). Por otro lado, en los cultivos

de papa el AS induce la expresión de las isoformas ácidas de diferentes genes PR, entre los cuales PR2, PR3 y PR5 son lo que tienen mayor expresión. Este patrón indica que la expresión de los genes PR mediada por el AS depende también del cultivo. El AS también puede inhibir la expresión de algunos genes PR. Por ejemplo, en el tabaco las isoformas básicas de los genes PR-2 y PR-3 y el gen PR-12 no se inducen (Datta & Subbaratnam, 1999).

La regulación de la expresión de los genes PR por el AS es dependiente del coactivador denominado “genes no expresores relacionados a la patogénesis” (NRP1). Esta regulación comienza cuando la planta interactúa con un estrés de tipo biótico (Dong, 2004), aumentando los niveles citoplasmáticos del óxido nítrico, liberando al S-glutatión (GSH) a partir de S-nitrosoglutatión (GSNO). El GSH induce la síntesis de AS a través de la enzima isocorismato-sintasa 1 (ISC1). Una elevada concentración de AS y GSNO crea en la célula condiciones reductoras que activan el NPR1 (Backer *et al.*, 2019). Posteriormente, el NPR1 se transloca al núcleo celular donde interactúa con el factor de transcripción TGACG (TGA), promoviendo así la expresión de los genes PR (Vinod & Sabah, 2018).

Los genes PR también están regulados por vías de transducción que involucran al ácido jasmónico (AJ). Varios estudios realizados muestran un aumento de la cantidad de AJ en los diferentes tejidos de las plantas frente al ataque por patógenos (Reymond & Farmer, 1998). Este aumento está relacionado positivamente a una mayor expresión de determinados genes PR. En estudios realizados en *Arabidopsis*, la aplicación exógena de ácido jasmónico condujo a la expresión de los genes PR-1, PR-12 y PR-13 (Datta & Subbaratnam, 1999). En ensayos realizados con arroz, se tuvo una mayor expresión de los genes PR-1, PR-3, PR-5 y PR-9 (Datta & Subbaratnam, 1999). La aplicación foliar de jasmonato de metilo (MeJA), un derivado del AJ, en diferentes



cultivos de plantas aumentó la expresión de los genes PR-6 y PR-10 (Reymond & Farmer, 1998).

La regulación transcripcional de los genes PR por el AJ ha sido ampliamente estudiada. Varios autores han determinado la existencia de secuencias en las regiones promotoras de los genes PR (Turner, Ellis, & Devoto, 2002). Es así el caso de una secuencia denominada caja G (CACGTGG) ubicada en el nucleótido 574 del promotor del gen PR-6 en la papa, la cual es sensible a la presencia de AJ (Datta & Subbaratnam, 1999). Por otro lado, en *Arabidopsis*, la secuencia GCC del promotor del gen PR-12 resultó ser sensible al jasmonato de metilo (Vidhyasekaran, 2008). El promotor del gen de la enzima lipoxigenasa (13-LOX), la cual es esencial en la ruta de la biosíntesis del AJ en plantas presenta un elemento palíndromo TGACG. Este elemento se induce con la presencia de MeJA, promoviendo la producción AJ y activando la ruta de señalización para la expresión de los genes PR (Ruan *et al.*, 2019).

En el caso del quitosano, la aplicación exógena por aspersion en hojas y drenaje en suelo en diferentes cultivos de plantas promueve la expresión de varios genes (Patel & Krishnamurthy, 2013). Estos genes son PR-2 ( $\beta$ -glucanasas), PR-3, PR-4, PR-5 (similar a la taumatina), PR-6 (inhibidores de la proteinasa), PR-8, PR-9 (peroxidasas), PR-10 (ribonucleasa), PR-11 (quitinasas) y PR-14 (Singh *et al.*, 2018). Algunos genes PR inducidos tienen la función de degradar la pared celular de hongos fitopatógenos (Katiyar *et al.*, 2015).

El mecanismo por el cual el quitosano activa las respuestas de defensa consiste en una transducción de señales (Soleymani *et al.*, 2017). Estas múltiples señales producen la activación de genes de respuesta, la inducción de metabolitos secundarios y reacciones de defensa, entre las cuales está la expresión de los genes PR (Lárez Velásquez, 2008). El primer paso de este mecanismo consiste en el reconocimiento del

quitosano por la planta. El quitosano es considerado un PAMP, por lo que es reconocido por el receptor PRR de la membrana de las células vegetales (Benhamou, 1996). Este receptor tiene el nombre de la proteína de unión al inductor de quitina madura (CEBiP).

En la transducción de señales intervienen moléculas mensajeras como el  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , NO, ROS y fitohormonas como el etileno, ácido jasmónico y ácido abscísico (Jia *et al.*, 2020). Cada uno de estos compuestos actúa como señalizadores secundarios que dan lugar a cambios fisiológicos en la planta. Estos múltiples cambios brindan a la planta una respuesta de defensa mejorada frente a un estrés biótico o abiótico (Hidangmayum *et al.*, 2019).

## **Análisis bibliométrico**

### **Estrategia de búsqueda**

El análisis bibliométrico es la evaluación de la información contenida en los documentos científicos (Thompson & Walker, 2015). Este análisis tiene el propósito de estimar la cantidad y calidad de la investigación, desde un enfoque estadístico y matemático aplicado al conjunto de datos obtenidos de los trabajos científicos (Ellegaard & Wallin, 2015). El análisis bibliométrico es una herramienta importante para los investigadores porque brinda información base del desarrollo científico en un campo determinado (Thompson & Walker, 2015). Esta información constituye un enfoque de partida, desde la cual los investigadores pueden impulsar sus propias investigaciones para la generación de nuevos conocimientos científicos (van Raan, 2009).

La realización de un análisis bibliométrico es un procedimiento sistemático y exhaustivo, que debe seguir una serie de lineamientos con la finalidad de poder ser reproducido por otros investigadores. Este procedimiento se encuentra formado por tres etapas (Ellegaard & Wallin, 2015). La primera etapa consiste en determinar el objetivo

de investigación, para esto se debe incluir la temática científica sobre la cual se va a recopilar la información (Romaní *et al.*, 2011).

La segunda etapa constituye la búsqueda de los documentos científicos relacionados a la temática del objetivo de investigación. En este paso se plantean previamente diferentes estrategias de búsqueda, con el propósito de limitar la gran cantidad de información científica (Ellegaard, 2019). La primera estrategia consiste en determinar la cobertura temporal, es decir el periodo de tiempo de los estudios científicos que se van a obtener (Ellegaard, 2019). Otra estrategia tiene que ver con la selección de las bases de datos y revistas científicas, en las que se va a realizar la búsqueda (Romaní *et al.*, 2011). La selección de estas fuentes de información depende de la temática de búsqueda, la cobertura temporal, así como del nivel de análisis (local, regional y mundial).

La última etapa es el análisis de datos obtenidos a partir del conjunto de documentos recopilados de las distintas bases y plataformas científicas (Thompson & Walker, 2015). Para este análisis se emplean diferentes tipos de indicadores bibliométricos, los cuales permiten evaluar la información científica. Algunos de estos indicadores pueden obtenerse directamente a partir de la información proporcionada en los trabajos científicos. Otros indicadores en cambio se obtienen empleando fórmulas matemáticas (Romaní *et al.*, 2011). En esta etapa también se utilizan principios matemáticos para una mejor comprensión de las relación que existen entre el número de investigadores y los documentos producidos, así como la cantidad de información contenida en las revistas (Machado *et al.*, 2016).

## **Bases de datos**

El análisis bibliométrico es la búsqueda de documentos científicos sobre un tema determinado, a partir de bases de datos reconocidas. Las bases de datos son una herramienta digital, que recopilan una serie de datos que están estrechamente relacionados. Las bases de datos científicas recopilan documentos científicos como artículos de revista, revisiones (reviews), libros, actas de congreso, patentes, monografías, cartas, entre otros (Gusenbauer, 2019). Existe una gran cantidad de bases científicas de revistas indexadas a nivel internacional, regional y nacional, que permiten analizar la información bajo diferentes parámetros.

Las dos principales bases de datos que abarcan información científica de todo el mundo son Scopus y Web of Science (WoS). Cada una de estas se diferencian por la interfaz gráfica que proporcionan al usuario, cobertura temporal, áreas temáticas de la información, herramientas de análisis y descarga de la información (Burnham, 2006). Ambas bases de datos presentan ventajas y desventajas, por lo que la información debe de ser analizada en estudios complementarios (Walters, 2015).

Scopus es una fuente de datos extensa, cuenta con más de 14000 revistas indexadas revisadas por pares. Las áreas temáticas de las revistas involucran la ciencia, tecnología, medicina y ciencias sociales. El contenido de esta base es de aproximadamente 27 millones de resúmenes de documentos científicos, de los cuales los más antiguos son de 1966 (Burnham, 2006). Esta base de datos ofrece dos modos de búsqueda, una básica y una avanzada. La primera opción permite ubicar documentos a partir de palabras clave, mientras que la otra permite usar operadores booleanos (OR, AND, AND NOT, PRE y W). Estos operadores se usan para una recuperación más específica de la información. En ambos modos de búsqueda se puede definir la información por año, tipo, área temática, idioma, país y autor.

Los resultados obtenidos de Scopus se despliegan en tablas y gráficos, que se pueden exportar en formatos como CSV, BibTeX, RIS y HTML (De Moya-Anegón *et al.*, 2007). Scopus brinda también información acerca del impacto y la visibilidad de las revistas científicas mediante el portal SCImago. En este portal se puede encontrar para cada revista las citas recibidas, los cuartiles, índice H y el indicador SCImago Journal Rank (SCI).

Web of Science (WoS) al igual que Scopus, es una base de datos multidisciplinaria que contiene aproximadamente 10000 revistas científicas revisadas por pares. El contenido de esta base de datos incluye artículos de revista, conferencias, informes, series de libros, entre otros, registrados desde el 1900 (García-Gómez *et al.*, 2002). WoS cuenta con los modos de búsqueda general y avanzada, en ambos casos se puede delimitar la información por idioma, tipo de documento y autor. Los resultados de búsqueda pueden guardarse en programas como EndNote, RefWorks y en formatos como FECYT CVN, Bintex y HTML (Burnham, 2006).

Web of Science también brinda un registro y análisis de citas, a partir de portales vinculados como Journal Citation Reports (JCR). Este portal contiene los factores de impacto de las revistas pertenecientes a ciencias sociales, ciencia y tecnología. WoS Core Collection abarca los índices de citas de los documentos como actas de conferencias, libros, informes, entre otros (Vieira & Gomes, 2009). Por último Web of Science también cuenta con Data Citation Index (Vieira & Gomes, 2009). Esta base de datos difiere de Scopus en ciertos aspectos, de los cuales los principales se muestran en la Tabla 5. Estas diferencias permiten al investigador inclinarse al uso de una u otra base de datos.

**Tabla 5**

*Principales diferencias entre las bases de datos Scopus y Web of Science*

<b>Aspecto</b>	<b>Scopus</b>	<b>Web of Science</b>
Cobertura temporal	Desde 1966	Desde 1900
Revistas indexadas	14000	8700
Número de citas	27 millones	36 millones
Actualización	Diaria	Semanal
Cobertura temática	Ciencias de la vida y la salud, biología, matemáticas, física, química, ingeniería, sociales, psicología, economía, agronomía, y ciencias ambientales	Ciencias de la vida, medicina clínica, biología animal y vegetal, biotecnología, agronomía, ciencias ambientales, ciencias de la tierra, matemática, física, química, ingeniería, informática y tecnología
Cobertura geográfica	La mayoría de las revistas son de otros países, fuera de Estados Unidos	80 países
Indización	Palabras clave definidas por el autor	EMTREE, MESH y otros

Nota. Elaboración propia a partir de (Burnham, 2006).

Otra base de datos internacional de acceso gratuito es PubMed, con más de 23 millones de resúmenes de artículos científicos publicados desde 1966. La mayor parte de esta información (19 millones) se deriva de MEDLINE, que es la principal fuente pagada de documentos sobre ciencias médicas y biológicas. El resto del contenido se obtiene del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI), mediante enlaces a sus 43 bases de datos (Motschall & Falck-Ytter, 2005). En PubMed, al igual que en otras bases existen dos opciones de búsqueda, una básica y una avanzada. Los resultados se presentan en forma de 20 registros por página. De cada publicación se presenta un resumen, que muestra el título del artículo, los autores, la revista, la fecha de publicación, volumen, número, páginas y el número de registro único de PubMed

(PMID). Esta información obtenida se puede descargar en formatos de texto y CSV (Agarwala *et al.*, 2018).

PubMed también proporciona a los usuarios el número de citas recibidas de los artículos de las revistas de MEDLINE. Una de las desventajas es que, debido a la gran cantidad de información contenida, las estrategias de búsqueda se vuelven inespecíficas. Es por esta razón, que se debe emplear la búsqueda avanzada y seleccionar uno de los 65 campos disponibles, entre ellos el título, autor, fecha de publicación, entre otros (Canese & Weis, 2013).

Es importante mencionar que en relación al tipo de estudio bibliométrico que se requiere realizar, se puede analizar la producción científica local, regional o internacional (Romaní *et al.*, 2011). En un estudio regional tenemos bases de datos como Scielo, Redalyc, Dialnet, Periódica, Clase, entre otras (Gusenbauer, 2019), las cuales involucran países de Iberoamérica e Hispanoamérica. Estas bases de datos tienen el propósito de aumentar la difusión y visibilidad de la investigación de los países que los conforman. Cada una de estas bases, proporcionan al usuario un acceso gratuito o por suscripción a los documentos en texto completo, los cuales se pueden descargar (Hu *et al.*, 2019).

La biblioteca científica electrónica en línea o comúnmente llamada Scielo, comprende una colección de revistas multidisciplinarias de 13 países diferentes de América Latina y El Caribe, España y Portugal (Laerte, 1998). Esta base de datos ofrece dos portales en línea, uno de ciencias de la salud y otro de ciencias sociales. La obtención de documentos es de forma gratuita, a través de varias opciones de búsqueda, como libre o mediante índices (Bojo *et al.*, 2009).

El registro de publicaciones que proporciona Scielo se puede descargar a texto completo en PDF o HTML. Esta base de datos también incluye enlaces para revistas

incluidas en PubMed (Bojo *et al.*, 2009). Scielo también presenta una información detallada a partir de métricas de las revistas y los documentos científicos (Packer, 2009). De las revistas se muestra el área temática, el número de documentos y las referencias. De los artículos científicos se obtienen las citas recibidas, el número de referencias y los países de afiliación de los autores.

La Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal también llamado Redalyc, es otro sistema de información científica que permite el acceso gratuito a publicaciones de origen iberoamericano (Mendoza & Paravic, 2006). Esta base de datos incluye una búsqueda básica, avanzada y de colección de revistas para la obtención de documentos científicos (Aguirre, Leal, & Martínez, 2013). Las publicaciones pertenecen a una amplia variedad de áreas del conocimiento como ciencias de la salud, ingeniería y ciencias aplicadas, ciencias sociales, economía, literatura, entre otros (Aguirre, Leal, & Martínez, 2013).

Los documentos de Redalyc se pueden descargar en texto completo en formato PDF y HTML, así como compartir en redes sociales (Guédon, 2019). Esta base de datos ofrece también servicios adicionales como indicadores cientiométricos de las instituciones y países de los autores afiliados. Dentro de esta información también hay informes de colaboración de las instituciones iberoamericanas (Mendoza & Paravic, 2006).

La base de datos Dialnet también constituye una fuente de recursos científicos de origen hispanoamericano como artículos, actas, libros, monografías, tesis doctorales, entre otros (Klimenko *et al.*, 2017). El contenido de esta base de datos es multidisciplinar, sin embargo la mayor parte corresponde a ciencias sociales y humanas (Mateo, 2015). Dialnet ofrece varios servicios como una búsqueda básica, alertas y mensajes sobre el contenido actualizado y el acceso a documentos de texto completo



(Klimenko *et al.*, 2017). La mayoría de estos servicios son mediante acceso con suscripción, sin embargo la recuperación de documentos es gratuita. Las publicaciones se pueden descargar y enviar por correo (Gaitán-Angulo *et al.*, 2018).

A nivel nacional, los documentos científicos como artículos y tesis son proporcionados por plataformas que incluyen el contenido de los repositorios de las universidades del país (Fajardo, 2016). Estas bases de datos son la Red de Repositorio de Acceso Abierto del Ecuador (RRAE) y el Consorcio de Bibliotecas Universitarias del Ecuador (COBUEC). El contenido de cada una de estas aborda aproximadamente 200000 documentos de texto completo. La obtención de estos es de forma gratuita, mediante opciones de búsqueda simple y avanzada.

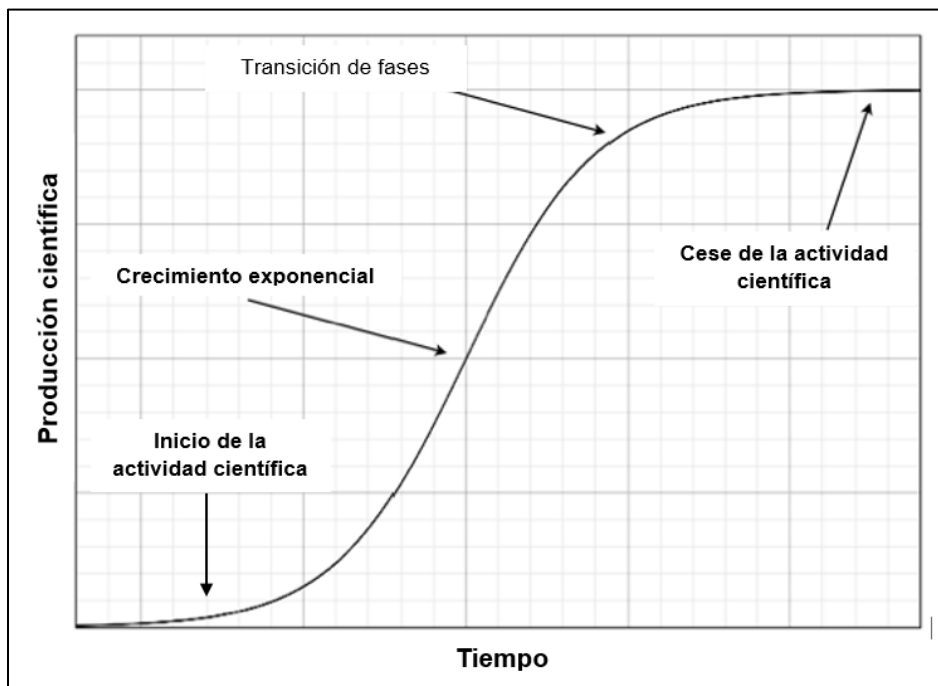
### **Principios matemáticos**

En el análisis bibliométrico, la aplicación de leyes matemáticas permite una mejor comprensión del comportamiento de los datos obtenidos a partir de un conjunto de publicaciones y documentos científicos (Machado *et al.*, 2016). Estos principios explican a través de ecuaciones matemáticas aspectos como el aumento de la producción científica, la productividad de los autores, así como la concentración y dispersión de la información en las revistas (Thompson & Walker, 2015). Cada uno de estos principios toma el nombre de la Ley de Price, Lotka y Bradford, respectivamente.

**Ley de Price.** Es una ley que explica la evolución del crecimiento de los documentos científicos a través del tiempo (Ardanuy, 2012). Esta ley manifiesta que los trabajos científicos aumentan a un ritmo acelerado, duplicando su número aproximadamente cada 15 años (Górriz & Casterá, 2018). La distribución del número de documentos científicos a través del tiempo toma una tendencia de una curva logística, en la que se pueden identificar tres fases diferentes (Fig. 5).

**Figura 5**

*Curva de crecimiento de la producción científica de acuerdo a la Ley de Price*



*Nota.* Elaboración propia a partir de (Ardanuy, 2012).

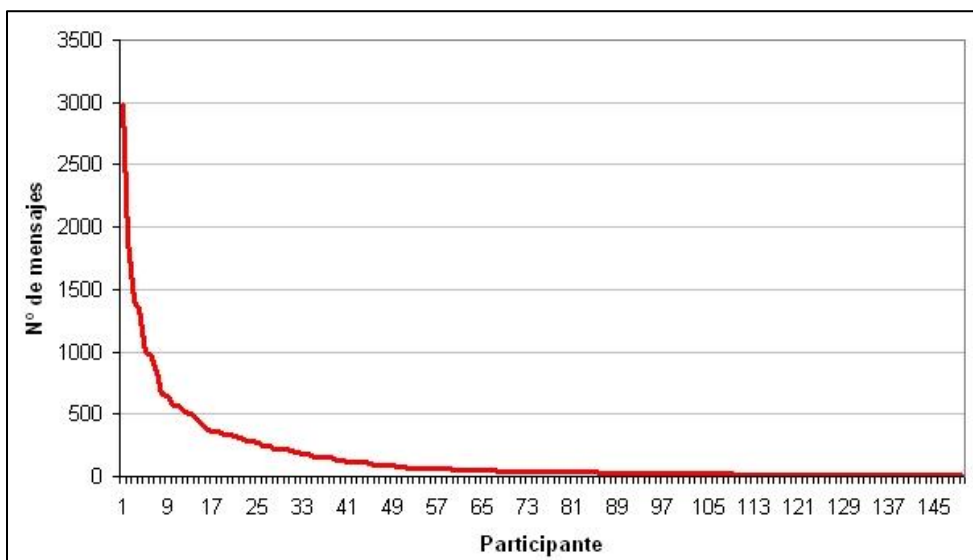
En esta figura se observa que la primera fase representa el inicio de la investigación en un área científica determinada, se caracteriza por aumento ligero a través del tiempo (Tomás & Casterá, 2018). En la segunda fase los trabajos científicos crecen rápidamente, se duplican cada 15 años, ajustándose así a un patrón exponencial (Tomás & Casterá, 2018). La última fase presenta un número constante de trabajos científicos a través del tiempo, debido a la limitación de recursos económicos, personal científico y de infraestructura (Gao *et al.*, 2016).

**Ley de Lotka.** Es un principio matemático que se encarga de estudiar la relación entre el número de investigadores y los trabajos que producen sobre un área científica

(Martín, Pestana, & Pulgarín, 2007). Esta ley menciona una relación inversamente proporcional entre los autores y los trabajos producidos (Pulgarín, 2012). Esta relación se puede observar gráficamente en la figura 6, en la que los datos siguen la tendencia de una curva cuadrática inversa.

### Figura 6

*Curva cuadrática inversa de la relación entre el número de investigadores y los trabajos científicos que producen de acuerdo a la ley de Lotka*



*Nota.* Tomado a partir de (Ardanuy, 2012).

En la figura 6, se observa que un número reducido de investigadores producen una gran cantidad de documentos científicos, mientras que un número mayor de autores generan pocos trabajos. La ley de Lotka es importante porque permite identificar a los investigadores más productivos dentro de un área científica determinada (Pulgarín, 2012). Estos investigadores se caracterizan por ser un grupo reducido en

número con una alta capacidad de producción científica (Urbizagástegui, 2002). La ley de Lotka puede ser enunciada a través de la siguiente ecuación matemática:

$$A(x) = \frac{A_0}{x^2} \quad (1)$$

Donde  $A(x)$  es el número de investigadores que publican una determinada cantidad de trabajos ( $x$ ) y  $A_0$  es el número de investigadores que han publicado un documento.

**Ley de Bradford.** En una ley matemática que analiza las revistas científicas. Esta ley establece que un número menor de revistas científicas publican aproximadamente la tercera parte del total de trabajos relacionados a un tema particular (Patra *et al.*, 2006). La cantidad restante de revistas, que son un número mayor publican los dos tercios del total de trabajos científicos. De acuerdo a este principio, la ley de Bradford asigna a las revistas científicas en tres grupos denominados núcleo, zona 1 y zona 2 de la información (Patra *et al.*, 2006). Estos tres grupos publican aproximadamente la misma cantidad de documentos, sin embargo el núcleo está formado por el menor número de revistas en comparación a las otras zonas (Neelamma & Gavisiddappa, 2016).

La ley de Bradford es importante porque permite identificar las principales revistas científicas que publican documentos sobre un determinado campo de estudio (núcleo de la información). Los investigadores que requieren encontrar trabajos sobre su área de investigación, deben orientarse a la identificación de las revistas del núcleo de la información (Sembay *et al.*, 2020). Del mismo modo, aquellos investigadores que desean publicar sus trabajos científicos, pueden enfocarse en las revistas principales para tener un mayor impacto y visibilidad (Shenton & Hay-Gibson, 2009).

### **Indicadores bibliométricos**

El análisis bibliométrico se ejecuta a través de indicadores, que constituyen una herramienta para la evaluación de la investigación científica (Belter, 2015). Estos indicadores son un conjunto de valores obtenidos o calculados a partir de la información cuantitativa contenida en las publicaciones científicas (Gisbert & Panés, 2009). Estas publicaciones incluyen artículos, informes, actas de congreso, libros, patentes, entre otros. Estos documentos se consideran la unidad de análisis en los estudios bibliométricos (Debackere *et al.*, 2002).

Los indicadores bibliométricos permiten determinar aspectos importantes como el crecimiento con la obsolescencia y evolución temporal de un campo científico, la productividad, la colaboración de los diferentes entes de investigación y la influencia de su desempeño en la comunidad científica (Sancho, 1990). Las revistas científicas también son parte del análisis proporcionado por estos indicadores, debido a que son el principal medio de difusión de los conocimientos científicos (Valérie & Pierre, 2010). A través de las revistas se pueden obtener indicadores relacionados a la calidad y la dispersión de las publicaciones científicas (Belter, 2015).

Los indicadores bibliométricos son importantes porque proporcionan información útil a los investigadores y a las organizaciones relacionadas, ya que son los mayormente involucrados en el proceso científico (Okubo, 1997). Para los investigadores, esta información es una guía que sirve de ayuda para la generación de nuevas publicaciones, ya que permite identificar dentro de su campo las revistas científicas con mayor prestigio para la divulgación de sus publicaciones (Bordons & Ángeles-Zulueta, 1999). A las organizaciones políticas los indicadores bibliométricos les proveen datos sobre la calidad de la investigación de individuos y grupos. Esta

información permite promover programas de investigación para la obtención de recursos económicos (Velasco *et al.*, 2012).

Los indicadores bibliométricos pueden clasificarse en tres grupos, tales como indicadores de producción, de colaboración y de visibilidad o impacto (Tabla 6). Los indicadores de producción tienen el propósito de estimar la actividad investigativa, mediante la cuantificación de las publicaciones (Romaní *et al.*, 2011). Estos valores se calculan en relación a los autores, instituciones, países y otros agregados. Los indicadores de colaboración estudian las características y la dinámica de la contribución científica entre los diferentes sujetos generadores de ciencia (Peralta-González *et al.*, 2015). Estos indicadores se presentan mediante gráficos que incluyen redes y mapas. Finalmente, los indicadores de visibilidad o impacto muestran la aceptación, influencia y repercusión de los trabajos en la comunidad científica. Según varios autores, este tipo de indicadores se encuentran estrechamente relacionados con la calidad del trabajo investigativo (Sancho, 1990).

**Tabla 6**

*Clasificación de los indicadores empleados en el análisis bibliométrico*

<b>Indicadores de producción</b>	<b>Indicadores de colaboración</b>	<b>Indicadores de visibilidad o impacto</b>
Número total de publicaciones	Número de publicaciones en colaboración	Distribución de las publicaciones por cuartiles o deciles
Número de publicaciones por autor, institución y país	Índice de coautoría	Factor de impacto (FI)
Número de publicaciones por revista y área científica	Grado de colaboración	Journal Citation Rank (JCR)
Distribución temporal de las publicaciones	Tipo de colaboración	Índice de inmediatez
Percentil de producción	Liderazgo científico	Número y promedio de citas
Dispersión de las publicaciones	Red de coautoría entre autores	Número y porcentaje de documentos citados y no citados
Índice de especialización temática	Red de coautoría entre instituciones	Tasa de citación relativa
Distribución de publicaciones por año	Red de coautoría entre países	Tasa de autocitación
Distribución de publicaciones por quinquenio	Redes de cocitación	Publicaciones más citadas
Distribución de publicaciones por idioma y tipo de documento	Mapas de palabras comunes	Índice H

*Nota.* Elaboración propia a partir de (Peralta-González *et al.*, 2015).

### **Herramientas informáticas**

Actualmente, los investigadores y gestores políticos de ciencia tienen un mayor interés por la colaboración científica (Acedo *et al.*, 2006). Las políticas de financiamiento de la investigación están priorizando cada vez más proyectos ejecutados por grupos de científicos. Es por esta razón, que los indicadores de colaboración son cada vez más empleados en estudios bibliométricos. Generalmente se usan los indicadores de colaboración de tipo relacional, que estudian los patrones de colaboración a través de

mapas y redes (Ponomariov & Boardman, 2016). El desarrollo de gráficos se consigue mediante herramientas informáticas, las cuales permiten la entrada de un conjunto de datos para la visualización y el análisis de redes.

Uno de los programas más empleados para este propósito es Gephi, que se especializa en la representación, exploración y análisis de redes y mapas. Este software fue desarrollado por Mathieu Bastian, Mathieu Jacomy y Sebastien Heynmann, quienes emplearon Java como lenguaje de programación y plataformas como NetBeans y OpenGL (Amat, 2014). Esta herramienta informática se caracteriza por ofrecer una interfaz de manejo moderna y flexible. Es un programa de código abierto y multiplataforma, es decir de acceso libre sin ningún tipo de licencia y puede ejecutarse en más de un sistema operativo (Aggrawal & Arora, 2017).

Gephi permite visualizar grandes redes de hasta cien mil nodos y un millón de aristas (Amat, 2014). Esta base de datos ofrece varias opciones para personalizar el tamaño, color de los nodos y aristas, así como adicionar etiquetas (Bastian *et al.*, 2009). Gephi dispone de varios algoritmos para el diseño de la red, los cuales se encuentran en la pestaña distribución de la ventana vista general. Algunos de estos algoritmos sirven para el ajuste de las etiquetas, para la expansión y comprensión de la red, estabilización, inercia, rotación, entre otros (Grandjean, 2015).

El programa gephi permite también conocer las dimensiones de la red mediante la obtención del número de nodos, aristas, diámetro de la red y densidad (Grandjean, 2015). El análisis de redes se logra con este programa, a partir del cálculo de métricas que muestran la dinámica de las mismas. Estas métricas incluyen la modularidad, coeficiente de agrupamiento, centralidad, trayectoria más corta, entre otros (Bastian *et al.*, 2009). Finalmente, los gráficos desarrollados en este programa pueden ser descargados en varios formatos como SVG, PNG y PDF.



**Hipótesis**

La producción científica sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR (*Pathogenesis Related*) en plantas permitirá fortalecer futuras investigaciones en el área vegetal.

## **Materiales y Métodos**

### **Participantes**

Este trabajo fue desarrollado por Paúl Alexander Romero Quishpe, egresado de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología, bajo la tutoría de la Dra. Karina Proaño Ph. D. jefe de laboratorio de Biotecnología Vegetal y de la Dra. María Claudia Segovia Ph. D., docente investigadora de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. El financiamiento de esta investigación estuvo a cargo del laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

### **Zona de estudio**

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE del campus Sangolquí, ubicado en el cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha, dirección Av. General Rumiñahui S/N y calle Ambato (Latitud: 0°18'53"S, Longitud 78°26'36"O).

### **Duración de la investigación**

La duración de este trabajo de investigación fue de aproximadamente 5 meses. Se inició en el mes de noviembre del 2020 y finalizó en marzo del 2021.

### **Estrategias de búsqueda de la información**

#### **Criterios de selección**

La presente investigación tiene como propósito analizar la información contenida en las publicaciones científicas a nivel nacional e internacional relacionadas al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas. Se consideraron varios criterios de selección para el análisis de las publicaciones científicas, en el caso de

publicaciones nacionales se consideró a aquellos documentos firmados por al menos un autor cuyo lugar de afiliación sea el Ecuador.

En relación a la temática, los documentos nacionales e internacionales se analizaron en base a los siguientes elicitores: ácido salicílico y sus derivados como el acibenzolar-S-metil (ASM), ácido S-formilsalicílico (S-FSA), ácido 2,6-dicloroisonicotínico (INA), benzotiadiazol (BTH) y salicilato de metilo (MeSA). El ácido jasmónico y su derivado el jasmonato de metilo (MeJA). Así también como el quitosano. Los estudios nacionales abarcaron además otros elicitores como el ion calcio, nitroprusiato de sodio ( $C_5FeN_6Na_2O_2 \cdot H_2O$ ), etileno ( $C_2H_4$ ), bisulfito sódico de menadiona, solución de nitratos y amonio, entre otros.

Es importante mencionar que el análisis de la información de los elicitores se realizó sin tomar en cuenta los genes PR y el cultivo, factores que también se analizaron de una manera independiente dentro de esta investigación. En los genes PR se analizó el grupo de genes relacionados a la inmunidad de la planta y en el caso de los cultivos se analizó la influencia de los elicitores en la expresión de estos genes.

Al analizar el tipo de documento se revisaron artículos científicos y revisiones. A nivel nacional se consideraron además las tesis de pregrado. La obtención de la información científica se realizó través de bases de datos, cuyo contenido abarcaba documentos publicados en cualquier año e idioma.

### **Fuentes de información**

La búsqueda de los documentos se realizó en bases de datos y plataformas digitales que contienen literatura científica. Se emplearon bases de datos como Scopus, PubMed, Pascal y Francis para la obtención de publicaciones científicas a nivel internacional. Las fuentes de información como Scielo, Redalyc, Dialnet y Periódica

fueron utilizadas para recopilar documentos científicos desarrollados a nivel regional, específicamente de Hispanoamérica e Iberoamérica. Finalmente, con el propósito de obtener los trabajos científicos producidos a nivel nacional, se recurrió a plataformas digitales como la Red de Repositorio de Acceso Abierto del Ecuador (RRAE) y el Consorcio de Bibliotecas Universitarias del Ecuador (COBUEC).

La obtención de las publicaciones científicas se realizó a través de una búsqueda exhaustiva y sistemática en las diferentes bases de datos. Para esta búsqueda fue necesario tener un acceso completo y emplear palabras clave y frases específicas relacionadas al tema de interés. A continuación, se describe a detalle el procedimiento utilizado en cada una de las bases de datos.

### **Scopus**

El acceso a la base de datos Scopus fue mediante suscripción para acceder a la herramienta de búsqueda básica y avanzada por documentos. En la opción básica se ingresaron palabras específicas y se seleccionaron como campos de búsqueda título del artículo, resumen y palabras clave. Las palabras específicas se ingresaron con operadores booleanos (AND y OR) y determinados dígitos (asterisco y comillas). El asterisco y las comillas se colocaron en ciertas palabras y frases, respectivamente. El asterisco permitió obtener todas las palabras relacionadas, mientras que con las comillas se obtuvieron frases exactas. En la figura 7 se presenta un ejemplo de búsqueda de los documentos relacionados al efecto de los elicitores en la expresión de los genes PR en plantas, tomando en cuenta al quitosano como elicitador.

## Figura 7

*Búsqueda en Scopus de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas*



*Nota.* Captura de pantalla tomada de: <https://www.scopus.com/home.uri>

Posteriormente, la búsqueda se delimitó por el tipo de documento ya sea artículo o revisión. Los resultados se despliegan por página y de cada publicación se muestra el título, los autores, el año, la revista, el número de citas recibidas y el resumen. Del número total de documentos obtenidos se realizó una verificación manual de los mismos y aquellos que no estaban relacionados al área vegetal fueron descartados. Finalmente, se procedió a descargar la información bibliográfica y las citas de los documentos seleccionados en formato CSV de Microsoft Excel.

### PubMed

El acceso a la base de datos PubMed fue de forma gratuita. Se empleó la herramienta de búsqueda avanzada, en la que se ingresaron palabras específicas relacionadas al tema de interés. En esta búsqueda también se utilizaron operadores booleanos (AND y OR) y determinados dígitos (asterisco y las comillas). Luego se

realizó la búsqueda de estas palabras específicas en todos los campos como título del documento, resumen, revista, autor, entre otros. En la figura 8 se muestra la forma de búsqueda de los documentos relacionados al efecto de los elicitores en la expresión de los genes PR en plantas, tomando en cuenta al ácido salicílico como elicitador.

### Figura 8

*Búsqueda en PubMed de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas*

PubMed Advanced Search Builder

PubMed.gov  
User Guide

Add terms to the query box

All Fields Enter a search term AND Show Index

Query box

(((\"pathogenesis related gen\" OR \"pathogenesis related protein\") AND (\"salicylic acid\" OR \"methyl salicylate\")) AND (\"PR1\" OR \"PR-\*)\" AND (\"PR\*\")) Search

*Nota.* Captura de pantalla tomada de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

Posteriormente, los resultados de búsqueda se delimitaron al tipo de documento como revisión, systematic review, además de libros y documentos. Las publicaciones obtenidas fueron revisadas manualmente y aquellas que no estaban relacionadas al área vegetal fueron descartadas. Finalmente, los documentos seleccionados fueron descargados en formato CSV de Microsoft Excel.

### Pascal y Francis

Se tuvo acceso a la base de datos Pascal y Francis de forma gratuita. La obtención de documentos se realizó mediante la herramienta de búsqueda avanzada. En esta opción se ingresaron palabras específicas relacionadas al tema de análisis. Se

emplearon también operadores booleanos y determinados dígitos (asterisco y comillas). Adicionalmente, se realizó la búsqueda de palabras específicas en los campos como título del documento y palabras clave. En la figura 9 se muestra la búsqueda en esta base de datos de los documentos relacionados al efecto de los elicitores en la expresión de los genes PR en plantas, tomando en cuenta al ácido jasmónico como elicitador.

### Figura 9

*Búsqueda en Pascal y Francis de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas*

The screenshot displays the 'Búsqueda avanzada' (Advanced Search) interface. At the top, there are navigation tabs: 'Búsqueda simple', 'Búsqueda avanzada', 'Búsqueda por clasificación', 'Búsqueda por vocabulario', and 'Mi Cuenta'. The main heading is 'Inicio > Búsqueda avanzada' followed by 'Búsqueda avanzada' with a help icon and a link to 'Acceder a la búsqueda experta'. Below this is the 'Constructor de búsqueda' (Search Builder) section, which consists of several rows. Each row has a dropdown menu for the field type (e.g., 'Título (documento) [ti]' or 'Palabra clave [kw]') and a text input field for the search term. The search terms entered are: 'pathogenesis related genes OR pathogenesis related proteins', 'jasmonic acid OR methyl jasmonate', and 'PR1\* OR \*PR\*\*'. At the bottom right of the search builder, there are '+' and '-' icons. Below the search builder is a 'Buscar' button and a 'BORRAR TODO' button.

*Nota.* Captura de pantalla tomada de: <https://pascal-francis.inist.fr/inicio/>

Posteriormente, los resultados de búsqueda de las publicaciones internacionales se delimitaron por el tipo de documento como artículo. Para el caso de la búsqueda de las publicaciones nacionales los resultados se delimitaron a artículo y tesis como tipo de documento, además se seleccionó a Ecuador como país del autor. Las publicaciones seleccionadas se descargaron en formato de texto.

## Scielo

La recuperación de documentos de Scielo se realizó de forma gratuita a través de la opción de búsqueda avanzada. En esta opción se ingresaron palabras específicas relacionadas al tema de interés en español e inglés, además se seleccionaron el título y el resumen como campos de búsqueda (Fig. 10). Posteriormente, se filtraron los resultados de esta búsqueda por el tipo de literatura como artículo y revisión. Se realizó una revisión manual de los documentos obtenidos para descartar aquellos que no pertenecían al área vegetal. Finalmente, los documentos seleccionados se exportaron en formato CSV de Microsoft Excel.

### Figura 10

*Búsqueda en la base de datos de Scielo de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas*

The screenshot shows the Scielo search interface with the following elements:

- Search Bar:** Contains the query "pathogenesis related gen OR pathogenesis related protein".
- Search Button:** A blue button labeled "Buscar" with a magnifying glass icon.
- Filter Selection:** A dropdown menu set to "Titulo".
- Advanced Search Options:** A list of search criteria, each with a dropdown menu for the search field and a dropdown menu for the filter type.
 

Operator	Search Term	Filter Type
OR	pathogenesis related gen OR pathogenesis related protein	Resumen
OR	genes relacionados a la patogénesis	Titulo
OR	genes relacionados a la patogénesis	Resumen
AND	salicylic acid OR ácido salicílico	Titulo
OR	salicylic acid OR ácido salicílico	Resumen
OR	methyl salicilato OR salicilato de metilo	Titulo
OR	methyl salicilato OR salicilato de metilo	Resumen
OR	jasmonic acid OR ácido jasmónico	Titulo
OR	jasmonic acid OR ácido jasmónico	Resumen
OR	chitosan OR quitosano	Titulo
OR	chitosan OR quitosano	Resumen

*Nota.* Captura de pantalla tomada de: <https://scielo.org/es/>



## Dialnet

Se accedió a la biblioteca virtual Dialnet mediante la creación de una cuenta. La recuperación de la información científica fue realizada a través de palabras clave específicas ingresadas en el modo buscar documentos. En esta opción de búsqueda no se pudo emplear operadores booleanos, por lo que se realizaron búsquedas sucesivas con una palabra clave o frase específica diferente (Fig. 11). Los resultados obtenidos se filtraron por tipo de documento como artículo de revista y tesis. La información de las publicaciones científicas seleccionadas se registró de forma manual en un archivo de Microsoft Excel, esto debido a que Dialnet carece de una opción para descargar los resultados.

### Figura 11

*Búsqueda en la base de datos regional Dialnet de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas*

The screenshot displays the Dialnet search results page. At the top, the Dialnet logo is on the left, and navigation tabs for 'Buscar', 'Revistas', 'Tesis', and 'Congresos' are on the right. Below the navigation is a search bar with the text 'pathogenesis related gen' and a red 'Buscar' button. Underneath the search bar, it indicates '169 documentos encontrados'. To the left, there is a 'Filtros' section with a dropdown for 'Tipo de documento' showing options for 'Tesis (87)', 'Artículo de revista (81)', and 'Artículo de libro (1)'. On the right, there are dropdowns for 'Relevancia' and '20'. The main content area shows two search results. The first result is titled 'Expresión de un gen que codifica para una proteína PR (Pathogenesis-Related) durante la germinación de semillas de maíz infectadas por el hongo Fusarium moniliforme' by Blanca San Segundo de los Mozos, Pedro Puig Domenech, Josep Maria Casacuberta i Suñer. The second result is titled 'Expresio de proteines pr (pathogenesis-related) en resposta a infeccio per fongs en llavors de blat de moro. Anàlisi funcional del promotor del gen prms' by Dorotea Raventós, a doctoral thesis from the Universitat de Barcelona (1995).

Nota. Captura de pantalla tomada de: <https://dialnet.unirioja.es/>

## Redalyc

Se accedió al sistema de información científica Redalyc de forma libre, en la cual se utilizó el modo de búsqueda simple. En este buscador se ingresaron palabras clave específicas relacionadas al tema de análisis. Esta base de datos al igual que Dialnet, no permite el uso de operadores booleanos por lo que se realizaron búsquedas sucesivas con palabras clave y frases específicas diferentes (Fig. 12). Se seleccionó el campo de búsqueda artículos para la recuperación de documentos. Las publicaciones obtenidas finalmente fueron descargadas en texto completo de manera individual (formato PDF), esto debido a que en Redalyc no se puede descargar los registros completos.

### Figura 12

*Búsqueda en la base de datos regional Dialnet de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas*

The screenshot shows the Redalyc search interface. The search term 'pathogenesis related gen' is entered in the search bar. The results are displayed in a table format. The left sidebar shows filters for 'Año' (2012: 2, 2006: 1, 2018: 1, 2015: 1), 'Disciplinas' (Biología: 3, Ciencias de la Tierra: 1, Agrociencias: 1), and 'País' (Colombia: 4, Ecuador: 1). The search results table has columns for 'Título', 'Autores', 'Revista', 'Número', and 'Resumen'. Two results are shown, each with a 'Resumen' and 'Abstract' button, and a 'PDF' download icon.

Título	Autores	Revista	Número	Resumen
Análisis de expresión génica durante la respuesta de defensa de la yuca a la bacteriosis vascular (Añublo Bacteriano)	Mauricio Soto-Suárez, Silvia Restrepo, Glorina Mosquera, Valérie Verdier, Joe Tohme	Revista Colombiana de Biotecnología	2006.VIII(2)	Resumen Abstract
ESTUDIO DE LA EXPRESIÓN DE GENES QUE CODIFICAN PARA PUTATIVAS PROTEÍNAS PR EN YUCA (Manihot esculenta Crantz)	Mariana HERRERA, David PORTILLO, Marlon Adrian PULIDO, Paula Alejandra DÍAZ TATIS, Camilo Ernesto LÓPEZ CARRASCAL	Acta Biológica Colombiana	2018.23(3)	Resumen Abstract

Nota. Captura de pantalla tomada de: <https://www.redalyc.org/>

## Periódica

En la base de datos Periódica de uso gratuito, la obtención de documentos fue a través de la búsqueda avanzada. En este buscador se ingresaron palabras y frases específicas de acuerdo al tema de estudio, además se emplearon operadores booleanos (AND y OR), tal como se muestra en la figura 13. Adicionalmente, se seleccionaron como campos de búsqueda el título del documento y palabras clave. Los resultados de la información se registraron individualmente para cada publicación en un archivo de Microsoft Excel. Se procedió de esta manera a obtener la información debido a que la base científica Periódica no posee de una herramienta para descargar registros.

### Figura 13

*Búsqueda en la base de datos regional Dialnet de publicaciones científicas relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas*

The screenshot shows the 'Periódica' search interface. The top navigation bar includes links for 'Nueva búsqueda', 'Resultados', 'Historial', 'Mis registros', 'Contacto', 'Acerca de PERIODICA', and 'Salir'. The main search area is titled 'Nueva búsqueda' and 'Búsqueda avanzada'. It features a table with columns for 'Campo de búsqueda', 'Palabra o frase', '¿Adyacencia?', and 'Registros'. The search criteria are as follows:

Campo de búsqueda	Palabra o frase	¿Adyacencia?	Registros
Título del documento	pathogenesis related genes OR pa	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Sí	1
Palabra clave	pathogenesis related genes OR pa	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Sí	0
Título del documento	genes relacionados a la patogénesis	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Sí	0
Título del documento	salicylic acid OR methyl salicylate	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Sí	13
Palabra clave	salicylic acid OR methyl salicylate	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Sí	0
<b>Resultados de la búsqueda</b>			0

Below the table, there are radio buttons for 'Toda la base' (selected) and 'Sólo registros con enlace a texto completo'. There are 'Buscar' and 'Limpiar' buttons. At the bottom, there is a section for '¿Limitar búsqueda?' with a language dropdown set to 'Todos', and fields for 'Del año [aaaa]:' and 'al año [aaaa]:'.

Nota. Captura de pantalla tomada de: [http://periodica.unam.mx/F?func=find-b-0&local\\_base=per01](http://periodica.unam.mx/F?func=find-b-0&local_base=per01)

## RRAAE

Se accedió de forma libre a la plataforma RRAAE. En esta fuente se recuperaron tesis de pregrado y artículos publicados a nivel nacional. Se empleó la herramienta de búsqueda básica y avanzada, en las cuales se ingresaron palabras y frases específicas en español del tema de interés (Fig. 14). La opción avanzada se delimitó a una búsqueda en el título y tabla de contenido de los documentos. Los resultados de búsqueda no se delimitaron a ningún idioma ni formato del documento. Los trabajos científicos recopilados fueron descargados individualmente en formato PDF, debido a que RRAAE no posee una herramienta que permita descargar los registros completos. Se empleó de manera similar el procedimiento mencionado anteriormente para la recuperación de documentos de la otra plataforma nacional COBUEC.

### Figura 14

*Búsqueda en la plataforma RRAAE de publicaciones científicas nacionales relacionadas al efecto de elicitores en los genes PR en plantas*

### Búsqueda Avanzada

Buscar:			Coincide:
<input type="text" value="genes relacionados a la patogénesis"/>	Título	▼ ×	<input type="text" value="Cualquier término"/>
<input type="text" value="genes relacionados a la patogénesis"/>	Tabla de Cc	▼ ×	
<input type="text" value="proteínas relacionados a la patogénesis"/>	Título	▼ ×	
<input type="text" value="proteínas relacionados a la patogénesis"/>	Tabla de Cc	▼ ×	
<input type="text" value="ácido salicílico"/>	Título	▼ ×	
<input type="text" value="ácido salicílico"/>	Tabla de Cc	▼ ×	
<input type="text" value="PCR"/>	Título	▼ ×	
<input type="text" value="PCR"/>	Tabla de Cc	▼ ×	

*Nota.* Captura de pantalla tomada de: <http://rraae.org.ec/>

## Manejo y tratamiento de la información

### Selección y almacenamiento de los datos

Los archivos CSV descargados de las bases de datos se transformaron a formato XLSX de Microsoft Excel para un mejor manejo de los datos. Posteriormente, se examinó la información de las publicaciones científicas contenidas en estos archivos para seleccionar aquellos datos relevantes para este estudio. Los datos seleccionados se presentan en la Tabla 7, los cuales fueron extraídos y migrados a un solo archivo. En este archivo las publicaciones científicas fueron colocadas en hojas diferentes de Microsoft Excel, de acuerdo a la base de datos de la cual se extrajeron.

**Tabla 7**

*Datos seleccionados de las publicaciones científicas obtenidas de las diferentes bases de datos*

No.	Datos
1	Nombre de la base de datos
2	Título de la publicación
3	Año de la publicación
4	Idioma de la publicación
5	Tipo de documento (artículo o revisión científica)
6	Nombre de los autores
7	País de afiliación de los autores
8	Revista científica
9	Número ISSN de la revista
10	Número de citas recibidas de la publicación

*Nota.* Elaboración propia

Se crearon dos archivos, uno para la información de las publicaciones internacionales y el otro para almacenar aquellas producidas a nivel nacional. Estos archivos fueron considerados subregistros de las publicaciones nacionales e

internacionales relacionadas al efecto de los elicitores en la expresión de los genes PR en plantas. Finalmente, los subregistros de datos fueron revisados minuciosamente con el propósito de identificar las publicaciones duplicadas, es decir aquellas encontradas más de una vez en la misma base de datos. Estas publicaciones fueron eliminadas para evitar una sobreestimación de los resultados del análisis bibliométrico.

### **Creación de un registro de datos**

En cada subregistro de datos se procedió a unificar las publicaciones en una sola hoja de Microsoft Excel. Se creó una nueva columna con el nombre de la base de datos de la cual fue obtenida cada publicación. Se revisó el título de cada publicación nacional e internacional para identificar los estudios repetidos, es decir aquellos encontrados en más de una base de datos. Estas publicaciones repetidas fueron eliminadas.

Posteriormente, se revisó el resumen de las publicaciones para identificar el cultivo, el elicitor aplicado y el gen PR sensible. Este procedimiento permitió filtrar las publicaciones del área vegetal que no se relacionaban al tema de análisis en esta investigación. Estos estudios no pertinentes fueron excluidos de los subregistros, teniendo así el número absoluto de publicaciones.

Con los estudios definitivos, se adicionaron otros datos, algunos referentes a las revistas como el cuartil, el índice SJR, número ISSN, editor y país de edición. Además, se incluyeron el número de autores por publicación, el cultivo, elicitor aplicado y el gen PR. En la Tabla 8 se presentan los datos de las publicaciones nacionales e internacionales que servirán para calcular los indicadores bibliométricos.

**Tabla 8**

*Datos de las publicaciones nacionales e internacionales sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas para el análisis bibliométrico*

<b>No.</b>	<b>Datos</b>
1	Año de la publicación
2	Revista
3	Cuartil de la revista (2019)
4	SCImago Journal Rank (SJR 2019)
5	Idioma de la publicación original
6	Tipo de documento
7	Nombre de los autores
8	Número de autores por publicación
9	País/Institución de afiliación de cada autor
10	Base de datos de la cual fue obtenida la publicación
11	Número de citas recibidas de la publicación
12	Número ISSN de la revista
13	Editor de la revista
14	País de edición de la revista
15	Cultivo o planta del ensayo
16	Elicitor aplicado en el cultivo
17	Gen PR sensible

*Nota.* Elaboración propia

Algunos datos de la Tabla 8 no fueron obtenidos directamente de la información científica proporcionada por las bases de datos. Es por esta razón que la información relacionada al cuartil de la revista, el índice SJR, número ISSN, entre otros se buscaron manualmente en otras fuentes de información científica. Los índices de visibilidad o impacto (SJR y cuartil) y el número ISSN de las revistas científicas fueron obtenidas del portal SCImago Journal & Country Rank (<https://www.scimagojr.com/aboutus.php>). Sin embargo, este sitio web solamente proporcionó la información requerida para las publicaciones científicas de revistas indexadas en Scopus. Mientras tanto, la

información del editor y país de edición de las revistas científicas fue obtenida a partir SCImago Journal & Country Rank y del portal ISSN (<https://portal.issn.org/>).

### **Normalización de los datos**

La normalización de la información fue un proceso indispensable en este trabajo debido a las distintas bases de datos empleadas. Cada una de estas bases presentó de forma diferente algunos datos de las publicaciones. Es por esta razón, que los datos científicos almacenados en los registros finales fueron parte de un proceso de normalización para lograr uniformidad en la presentación de la información.

Los datos normalizados fueron el título de las publicaciones, los nombres de las revistas, los autores e instituciones de afiliación. Se presentó el título de todos los documentos en un solo idioma, el inglés, a excepción de las publicaciones escritas en otros idiomas. En este caso se trabajó con el título en el idioma original a parte del inglés. Se procedió de la misma manera para el nombre de las revistas científicas.

Los nombres de cada autor se normalizaron de la siguiente manera: Apellido 1, Apellido 2, Nombre 1 y Nombre 2. Para los autores de origen asiático, los nombres y apellidos se mantuvieron en el mismo orden como se encontraban en las publicaciones. El nombre de las instituciones y centros de investigación internacionales se mantuvieron en el idioma original, mientras que los nombres de las nacionales fueron traducidos al español. Todos los demás datos de los registros estuvieron escritos en español con un solo tipo y tamaño de letra (Times New Roman, tamaño 10).



## **Análisis de datos**

### **Indicadores bibliométricos**

A partir del conjunto de datos de las publicaciones nacionales e internacionales (Tabla 8), se procedió a calcular y obtener distintos indicadores bibliométricos. Estos indicadores permiten evaluar y valorar aspectos importantes de la investigación científica. Es por esta razón, que se aplicaron diferentes tipos de indicadores para los estudios nacionales e internacionales.

La información de los estudios nacionales permitió obtener cuatro tipos de indicadores, los cuales se mencionan en la Tabla 9. Estos indicadores evalúan la producción, dispersión, colaboración y visibilidad e impacto del trabajo científico nacional. Los indicadores de producción fueron obtenidos en relación al año, a las instituciones o centros de investigación, tipo de documento e idioma. Los indicadores de colaboración se calcularon a través del grado de colaboración e índice de coautoría. Para la obtención de los indicadores de dispersión de la producción se tomaron en cuenta las revistas científicas que publicaron estudios nacionales, así como también los editores y países de edición de estas fuentes. Para el análisis de la visibilidad o impacto de la investigación nacional solamente se consideraron artículos y revisiones de revistas indexadas en Scopus, mientras las tesis de pregrado no fueron parte de este análisis.

**Tabla 9**

*Indicadores bibliométricos calculados y obtenidos de las publicaciones nacionales sobre el efecto de elicitores en la expresión de genes PR en plantas*

<b>Tipo</b>	<b>Cod.</b>	<b>Nombre del indicador</b>
Indicadores de producción	P1	Número de publicaciones por año
	P2	Número de publicaciones por institución
	P3	Número de publicaciones por tipo de documento
	P4	Número de publicaciones idioma
Indicadores de colaboración	C1	Número y porcentaje de publicaciones en coautoría
	C2	Índice de coautoría
	C3	Evolución del índice de coautoría a través de tiempo
	C4	Grado de colaboración
	C5	Red de colaboración internacional
	C6	Red de colaboración entre instituciones nacionales e internacionales
	C7	Red de colaboración entre diferentes instituciones nacionales
Indicadores de dispersión	D1	Número de revistas científicas
	D2	Número de publicaciones por revista
	D3	País de edición de las revistas científicas
Indicadores de visibilidad o impacto	I1	SCImago Journal Rank (SJR) de las revistas
	I2	Cuartil de las revistas
	I3	Número de citas recibidas por institución nacional
	I4	Número total de citas recibidas en los últimos tres años para cada revista científica

*Nota.* Elaboración propia a partir de (Riggio-Olivares, 2017).

La investigación científica internacional, sobre el efecto de los elicitores en la expresión de los genes PR en plantas, fue valorada también a través de cuatro tipos de indicadores bibliométricos. Estos indicadores se presentan en la Tabla 10. Los indicadores de producción fueron obtenidos en relación al tiempo, al país, región del mundo, institución, revista científica, idioma y tipo de documento.

**Tabla 10**

*Indicadores bibliométricos calculados y obtenidos de las publicaciones a nivel mundial sobre el efecto de elicitores en la expresión de genes PR en plantas*

<b>Tipo</b>	<b>Cod.</b>	<b>Nombre del indicador</b>
Indicadores de producción	P1	Número de publicaciones por año
	P2	Número de publicaciones por país
	P3	Número de publicaciones por región del mundo
	P4	Número de publicaciones por tipo de publicación
	P5	Número de publicaciones por idioma
	P6	Número de publicaciones por autor e institución
Indicadores de colaboración	C1	Número y porcentaje de publicaciones en coautoría
	C2	Índice de coautoría
	C3	Evolución del índice de coautoría a través de tiempo
	C4	Grado de colaboración
	C5	Red de colaboración entre los principales países
Indicadores de dispersión	D1	Número de revistas científicas
	D2	Número de publicaciones por revista
	D3	País de edición de las principales revistas científicas
Indicadores de visibilidad o impacto	I1	SCImago Journal Rank (SJR) de las revistas
	I2	Cuartil de las revistas científicas
	I3	Número de publicaciones citadas y no citadas
	I4	Número de citas recibidas por país y por región
	I5	Promedio de citas por publicación
	I6	Número de citas por tipo de documento
	I7	Número total de citas recibidas en los últimos tres años para cada revista científica

*Nota.* Elaboración propia a partir de (Riggio-Olivares, 2017).

Las publicaciones científicas producidas por más de un autor fueron la base para el cálculo de los indicadores de colaboración. Para el análisis de la visibilidad o impacto del desempeño investigativo internacional se tomaron en cuenta solamente las publicaciones de Scopus. Esta consideración se realizó debido a dos razones, la primera es que Scopus contiene informes de citas y otros parámetros de las publicaciones y revistas que indexa. Esta información es útil para la obtención de los

indicadores de visibilidad e impacto. La segunda razón se debe a que la mayoría de las publicaciones científicas fueron obtenidas de esta base de datos. De este modo, los resultados obtenidos con este tipo de indicadores muestran una aproximación de la influencia del trabajo internacional en la comunidad científica.

Los métodos de cálculo y obtención de los indicadores bibliométricos se indican en la Tabla 11. Estos métodos se basaron en la aplicación de fórmulas para algunos indicadores, mientras que otros se obtuvieron mediante sumas, promedios, porcentajes y frecuencias. Los resultados de estos análisis se presentaron a través de tablas, gráficos estadísticos y curvas de correlación. Para la elaboración de los gráficos estadísticos se empleó el software RStudio (1.1.383) y Microsoft Excel. Las curvas de correlación y ajuste de datos fueron realizadas en el programa matemático Matlab (versión 2015).

Tabla 11

*Métodos de obtención y cálculo de los indicadores bibliométricos*

<b>Indicador</b>	<b>Método de obtención</b>
Publicaciones por año	Se contabilizaron los documentos por año de publicación y estos se graficaron para establecer la tendencia de crecimiento
Publicaciones por país, región del mundo, autor, revista, documento e idioma	Se contaron los documentos por cada uno de los agregados y se calculó el porcentaje del total
Publicaciones en coautoría	Se contabilizaron los documentos publicados por más de un autor y se calculó el porcentaje del total
Índice de coautoría	$IC = \frac{\text{Número de firmas}}{\text{Número de documentos}} \quad (2)$
Grado de colaboración	$DC = \frac{\text{Documentos de autoría múltiple}}{\text{Total de documentos}} \quad (3)$
Revistas por país de edición y por región	Se contabilizaron las revistas por cada país de edición y región del mundo y se calculó el porcentaje del total
Países de edición de las revistas	Este indicador se obtuvo por medio del número ISSN de cada revista científica
Documentos por cuartiles de las revistas	Se contabilizaron los documentos publicados en revistas científicas de cada cuartil y se calculó el porcentaje de cada grupo
Publicaciones citadas y no citadas	Se contabilizaron los documentos que recibieron al menos una cita y se calculó el porcentaje del total
Citas recibidas por país y por región	Se contabilizaron las citas por país y por región del mundo y se calculó el porcentaje del total
Promedio de citas por publicación	$PC = \frac{\text{Número total de citas}}{\text{Número total de documentos}} \quad (4)$
Citas por tipo de documento	Se contabilizaron las citas recibidas por cada tipo de documento y se calculó el porcentaje del total
Redes de colaboración	Se obtuvieron un conjunto de datos (nodos y relaciones) de las publicaciones y se ingresaron en el programa Gephi

*Nota.* Elaboración propia a partir de (Riggio-Olivares, 2017).

### **Aplicación de leyes matemáticas**

A partir de los datos obtenidos de las publicaciones a nivel mundial sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas, se aplicaron leyes bibliométricas como la ley de Price, Lotka y Bradford. Para la evaluación de la producción científica mundial a través del tiempo, se procedió a aplicar la ley de Price. Para esto inicialmente se obtuvo el número de publicaciones por año del periodo comprendido entre 1982-2020 (Anexo 1). Posteriormente, estos datos se graficaron y ajustaron a una curva matemática (tiempo vs número de publicaciones) empleando el programa Matlab.

Con el propósito de identificar el número de investigadores más productivos en los estudios a nivel mundial en esta área de investigación, se procedió inicialmente a comprobar la ley de Lotka. Para esto se obtuvieron de cada publicación el número de autores, luego se contabilizaron los documentos producidos por  $n$  investigadores. Para el almacenamiento de estos datos se emplearon dos columnas de Microsoft Excel, las cuales se nombraron como número de autores y número de investigadores (Anexo 2). A partir de estos datos se realizó una gráfica en Matlab, la cual relaciona el número de autores vs número de investigadores. Estos datos graficados se ajustaron a una curva cuadrática inversa y se obtuvo su ecuación, así como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Luego de comprobar un buen ajuste de los datos por un valor de  $R^2 > 0.80$ , se determinó el número de investigadores con mayor producción científica ( $n$  con más de 10 trabajos científicos).

Para la identificación de las principales revistas científicas a nivel mundial que publican documentos acerca del tema de estudio se aplicó la ley de Bradford. Esta ley permitió determinar el número de revistas del núcleo de la información (principales), que publican aproximadamente la tercera parte del total de documentos a nivel mundial

(n=117). El primer paso consistió en ordenar las revistas de mayor a menor de acuerdo a la cantidad de documentos publicados. Posteriormente, se contabilizaron las revistas que publican el mismo número de documentos. Estos datos se colocaron en dos columnas de Microsoft Excel, una llamada número de revistas (A) y la otra número de documentos publicados (B), tal como se muestra en el Anexo 3. Después se calculó el número de revistas y documentos acumulados, cuyos datos se colocaron en dos columnas adicionales (C y D). A partir de estos datos se calculó el total de publicaciones, al multiplicar el número de revistas por la cantidad de documentos publicados ( $A*B$ ). Estos datos se colocaron en una nueva columna (E) y se procedió a obtener el número total acumulado de publicaciones (F).

Con los datos de la columna F se localizó el rango de valores que incluyen a las 117 publicaciones y se relacionó al número respectivo de revistas de la columna C. Este valor calculado representa el número de revistas científicas que integran el núcleo de la información. Además, se calculó el número de revistas de las zonas 1 y 2, estos resultados se presentan en los Anexos 4 y 5. Adicionalmente, con el propósito de comprobar el enunciado de la ley de Bradford se procedió a graficar el número acumulado de revistas (C) vs el número acumulado de publicaciones (D). Estos datos se ajustaron a una curva logarítmica mediante el programa Matlab.

### **Creación de redes de colaboración**

Las redes de colaboración entre países e instituciones nacionales e internacionales fueron analizadas mediante el software Gephi (0.9.1). Los datos se ingresaron a este programa a través de dos archivos en formato CSV de Microsoft Excel. El primer archivo nombrado "nodos de la red" contenía dos columnas (ID y etiqueta). En la columna ID se colocaron números a partir del 0. La columna etiqueta

estuvo formada por los nombres de las instituciones o países que colaboraron en la producción de alguna de las publicaciones.

El segundo archivo nombrado “enlaces de la red” contenía cuatro columnas (Fuente, objetivo, peso y tipo). En las columnas fuente y objetivo se ingresaron los nombres de las instituciones y países entre las cuales existía colaboración científica. En la columna peso se ingresó el número de publicaciones producidas en colaboración por dos instituciones o países. En la columna tipo se colocaron en todas las filas la palabra “undirected”. Estos archivos se subieron a Gephi a través de la opción importar hoja de cálculo.

Una vez creados los gráficos de las redes se personalizaron a través de las opciones de la ventana vista general. El color de los nodos fue seleccionado a partir de la opción atributo, mientras que el tamaño de las etiquetas fue acorde a la distribución ajuste de etiquetas. Adicionalmente, se aplicó un algoritmo de diseño de la red llamado Fruchterman Reingold, para conseguir un gráfico con bordes del mismo tamaño. La configuración final del diseño de la red consistió en la selección de aristas curvas, así como el tipo de letra y tamaño de las etiquetas (Arial 10). Finalmente, los gráficos se exportaron en formato de imagen SVG.



## **Resultados**

En este apartado se va a presentar la evaluación de la cantidad y calidad de la investigación científica global sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas. Los resultados evidenciaron tras el análisis de diferentes bases de datos que la mejor plataforma de búsqueda fue Scopus, debido a que contenía la mayor cantidad de documentos científicos. El manejo de los datos fue el adecuado y permitió la aplicación de indicadores representativos como los de producción, dispersión, colaboración y visibilidad e impacto.

### **Producción científica a nivel mundial**

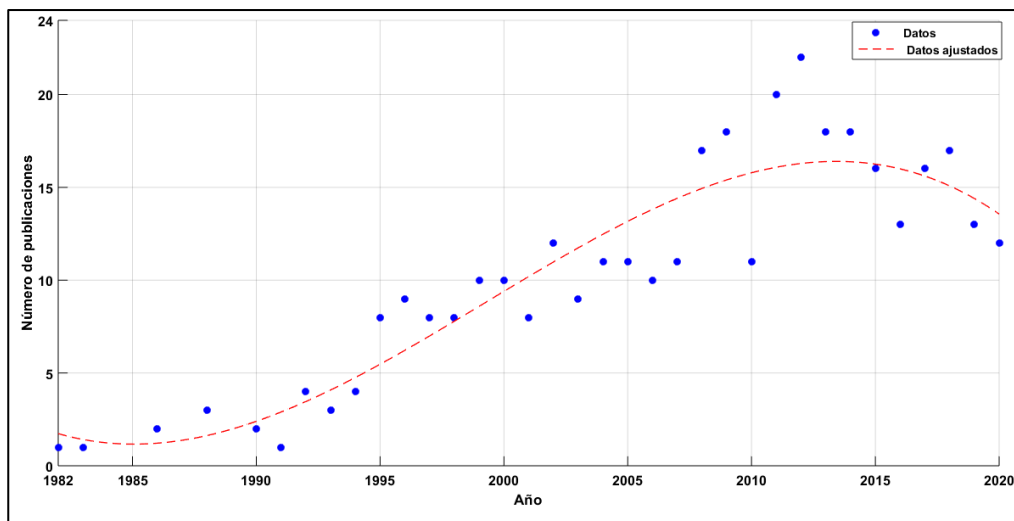
La producción científica a nivel mundial se analizó en base a los indicadores mencionados anteriormente. Los indicadores de producción, dispersión y colaboración fueron aplicados al conjunto total de datos recuperados de las distintas bases de datos (357 documentos). En el caso de los indicadores de visibilidad e impacto, estos fueron obtenidos a partir del subconjunto de publicaciones encontradas en la base de datos Scopus (310 documentos).

### **Indicadores bibliométricos de producción e impacto**

El número total de documentos científicos desarrollados a nivel mundial sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas fue de 357 trabajos. Es importante destacar que la evidencia de los primeros trabajos publicados fue a partir de 1982, a partir de lo cual se realizó este análisis. Se analizaron documentos publicados entre el periodo 1982 y 2020, lo que refleja un exhaustivo análisis de cerca de 38 años. La distribución anual de la producción científica mundial relacionada al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas se indica en la figura 15.

## Figura 15

*Distribución anual de la producción científica mundial relacionada al efecto de elicitors en la expresión de los genes PR en plantas*



*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

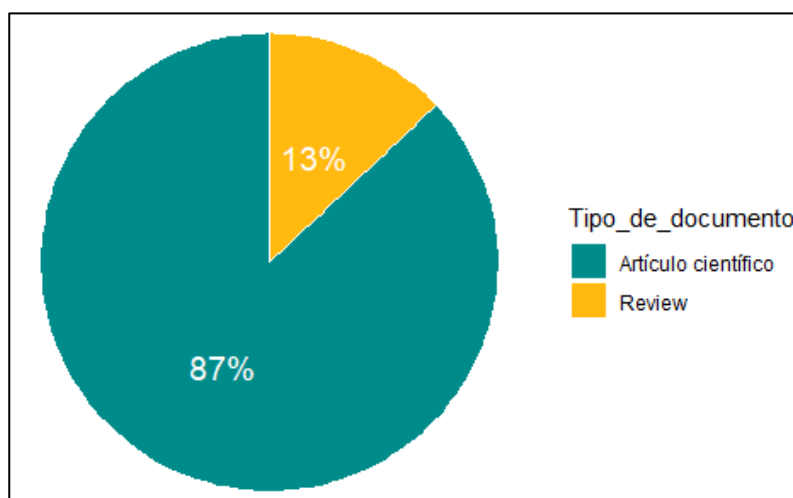
En esta figura se observa una tendencia de crecimiento de tipo logístico (curva sigmoideal), en la que se identifican tres fases. La primera fase está comprendida entre 1982 y 1994, en la que existe un ligero crecimiento de la investigación científica. La segunda fase ocurre a partir de 1995, con un incremento acelerado del número de publicaciones hasta el 2012. En este periodo de tiempo (1995-2012), el número máximo de documentos fue de 22, publicados en el 2012. La última fase se presenta en los últimos ocho años (2013-2020), con una producción científica que se mantiene constante durante los inicios de este periodo. Sin embargo, existe un declive de la actividad científica a finales del periodo analizado, llegando al mínimo de 20 documentos en el año 2020, posiblemente debido a la disminución de recursos

destinados a las publicaciones y posiblemente relacionados a acontecimientos a nivel mundial.

Los resultados de la investigación científica a nivel mundial se dan a conocer en diferentes tipos de documentos científicos. Es por esto que se analizó el tamaño de la producción científica a través del porcentaje de artículos científicos y revisiones (Fig. 16). La mayor parte de la investigación científica internacional se ha publicado como artículos científicos, los cuales representan el 87% (n=310) de la producción total. Mientras tanto, las revisiones (reviews) son únicamente el 13% del total de documentos internacionales (n=47).

### Figura 16

*Porcentaje de artículos científicos y revisiones publicados a nivel mundial*



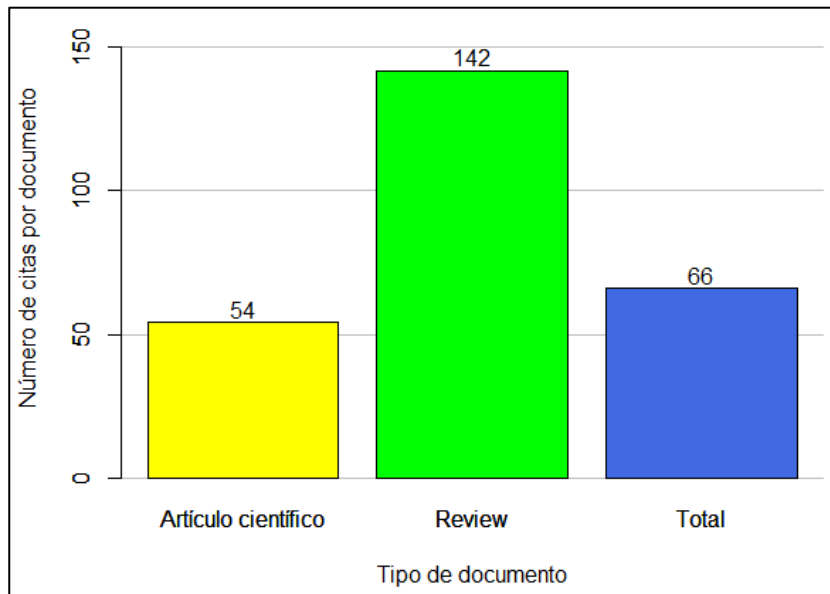
*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

Un parámetro que permite estimar la calidad, influencia e importancia del trabajo investigativo en el medio científico son las citas recibidas por una publicación. Al tomar en cuenta la cantidad total de trabajos internacionales (n=310), el número promedio de

citas recibidas por publicación es de 66. Al analizar esta métrica por el tipo de publicación, las revisiones (reviews) presentan un mayor valor con 142 citas por documento, en relación a los artículos científicos que tienen 54 citas por documento (Fig.17). Este resultado nos indica que a pesar de que existe una cantidad menor de revisiones, estos son citados más veces que los artículos.

### Figura 17

*Número de citas recibidas por cada tipo de documento científico publicado a nivel mundial*



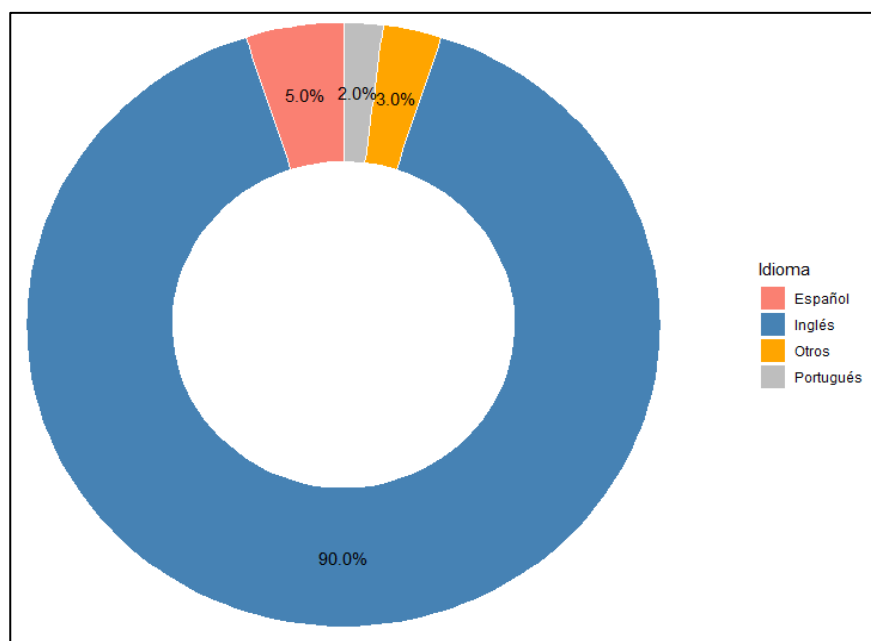
*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

La información científica de las publicaciones a nivel mundial se presenta en cinco idiomas diferentes (Fig. 18). La mayor parte de los documentos están escritos en inglés (90% del total), siendo el idioma predominante. El español es el segundo idioma más utilizado (5%), seguido del portugués (2%). Los idiomas menos empleados son el

chino, alemán y coreano, los cuales suman en conjunto aproximadamente el 3% del total.

### Figura 18

*Porcentaje de la producción científica a nivel mundial en relación al idioma publicado*

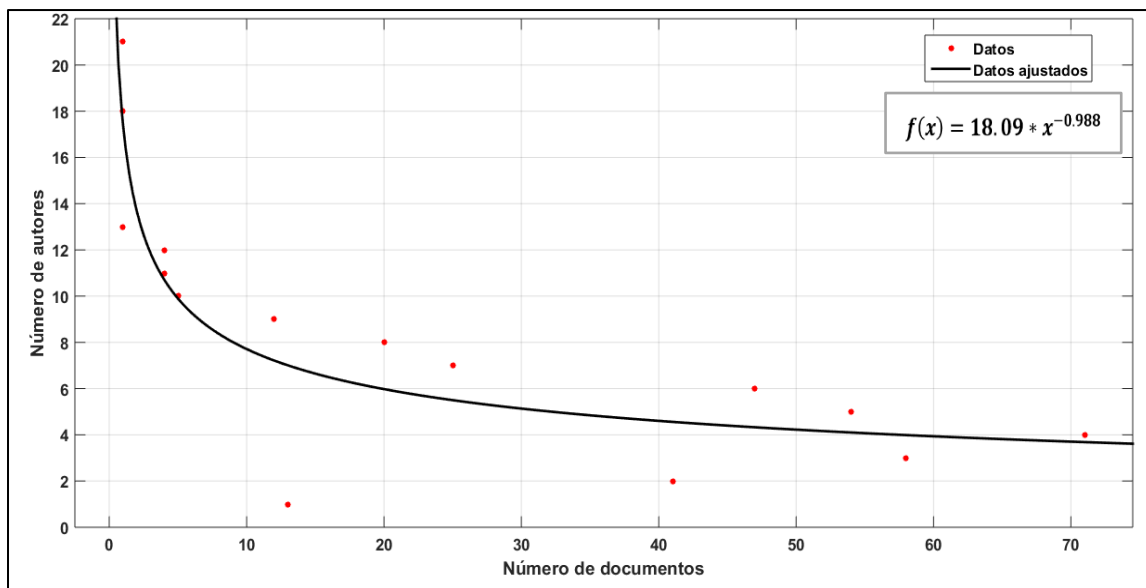


*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

En el campo de la ciencia, los investigadores son el motor principal de la generación de conocimientos científicos. La información contenida en las 357 publicaciones a nivel mundial fue el resultado de un trabajo de 1452 investigadores en total. Al graficar, en la figura 19 el número de documentos vs. el número de investigadores, podemos observar como los datos se ajustan a una curva cuadrática inversa ( $R^2=0.81$ ). Es por esta relación que se cumple la ley de Lotka, que manifiesta una relación inversamente proporcional entre el número de autores y los documentos que producen.

**Figura 19**

*Curva cuadrática inversa del análisis de los datos número de documentos vs. el número de investigadores*



*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

La ley de Lotka permite identificar aquellos investigadores que se encuentran dentro del grupo de los grandes productores científicos (con mayor producción). Esto debido a que de acuerdo a la figura 19, una gran parte de trabajos son producidos por un número menor de autores (más productivos), mientras una gran cantidad de investigadores producen pocos documentos. Con el propósito de identificar a los investigadores con mayor productividad científica se procedió a contabilizar el número de publicaciones por cada uno de ellos.

En la Tabla 12 se puede observar la información sobre los investigadores más productivos, así como los países e instituciones de afiliación sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas. En este campo de estudio cuatro

investigadores son los más productivos, los cuales producen aproximadamente el 14% del total de trabajos (n=50). El autor con el mayor porcentaje de publicaciones (3.92%), pertenece al Instituto Boyce Thompson de Investigación Vegetal en Estados Unidos. En esta tabla, es interesante recalcar la presencia de un investigador latinoamericano que pertenece al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA, Cuba). Este investigador alcanza una producción del 3.36% del total de documentos analizados. Los investigadores con menor producción científica (no incluidos en la Tabla 12), representan el 11% del total de autores con producción media (de 2 a 9 publicaciones) y el 89% con producción baja (1 publicación).

**Tabla 12**

*Países e instituciones de afiliación de los investigadores más productivos en la investigación científica a nivel mundial*

No.	País de afiliación	Institución de afiliación	Nombre del investigador	Porcentaje de documentos
1	Estados Unidos	Instituto Boyce Thompson de Investigación Vegetal	Daniel F. Klessig	3.92%
2	Países Bajos	Universidad de Utrecht y el Centro de Genómica de Biosistemas	Corné. M. J. Pieterse	3.64%
3	Cuba	Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)	Alejandro B. Falcón Rodríguez,	3.36%
4	Países Bajos	Universidad de Utrecht	L.C. Van Loon	3.1%

*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

Al analizar el total de publicaciones científicas (n=357), se observó que los trabajos pertenecían a 52 países de diferentes regiones a nivel mundial. Los diez países más productivos en relación al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR se muestran en la Tabla 13. La mayor parte de los países de esta lista se encuentra en

Asia y Europa. Los países como Estados Unidos, China e India son los principales productores de ciencia, con un 20.7%, 16.8% y 9%, respectivamente. En América Latina, Brasil y Cuba han publicado el mayor porcentaje de documentos, con un 4.5% y 4.2%, respectivamente.

**Tabla 13**

*Países más productivos de la investigación científica a nivel mundial sobre el efecto de elicitors en la expresión de los genes PR en plantas*

Posición	País	Porcentaje de documentos	Porcentaje de citas recibidas
1	Estados Unidos	20.7%	22.7%
2	China	16.8%	5.9%
3	India	9%	3.3%
4	Japón	7.8%	4.7%
5	Países Bajos	6.2%	20.7%
6	Reino Unido	6.2%	6.7%
7	Corea del Sur	5.6%	2.8%
8	Alemania	4.8%	7.0%
9	Brasil	4.5%	0.4%
10	Cuba	4.2%	0.03%

*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

En relación a esta tabla se evaluó el impacto científico de los trabajos publicados. Se observa que Estados Unidos, Países Bajos y Alemania han recibido el mayor porcentaje de citas con el 22.7%, 20.7% y 7%, respectivamente. De acuerdo a estos resultados, Estados Unidos es el mayor productor de trabajos científicos de calidad relacionados a este campo de investigación.



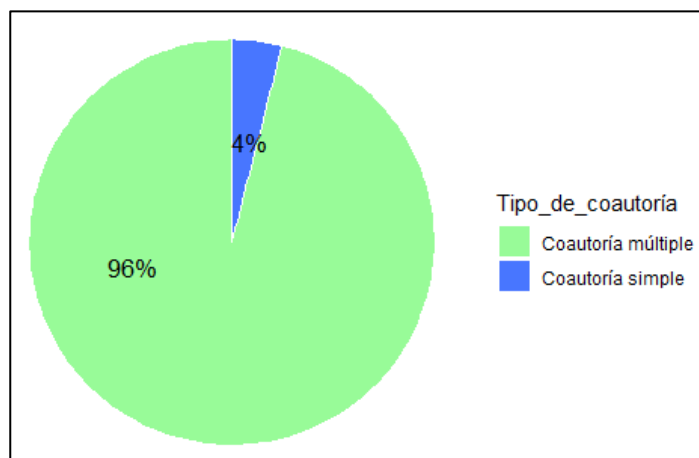
### Indicadores bibliométricos de colaboración

En el proceso de generación de publicaciones, la participación intelectual de dos o más investigadores da lugar a la colaboración científica. Esta interacción ocurre tanto a nivel micro, meso y macro. A nivel micro se toma en cuenta la relación entre autores para producir un trabajo científico, la cual puede ser medida a través del índice de coautoría. Los niveles meso y macro de colaboración tratan sobre los vínculos que pueden crear los investigadores en el medio externo en el que se desenvuelven (nacional e internacional).

Al evaluar la coautoría como medida de colaboración científica, se identificó en las publicaciones un máximo de 21 autores. Esto nos muestra la ausencia de hiperautoría (> 100 autores). En la figura 20 se muestra el porcentaje de documentos desarrollados por un solo autor (coautoría simple) y por más de un autor (coautoría múltiple), a partir de los 357 documentos analizados.

#### Figura 20

*Porcentaje de documentos científicos a nivel mundial producidos en coautoría simple y múltiple*



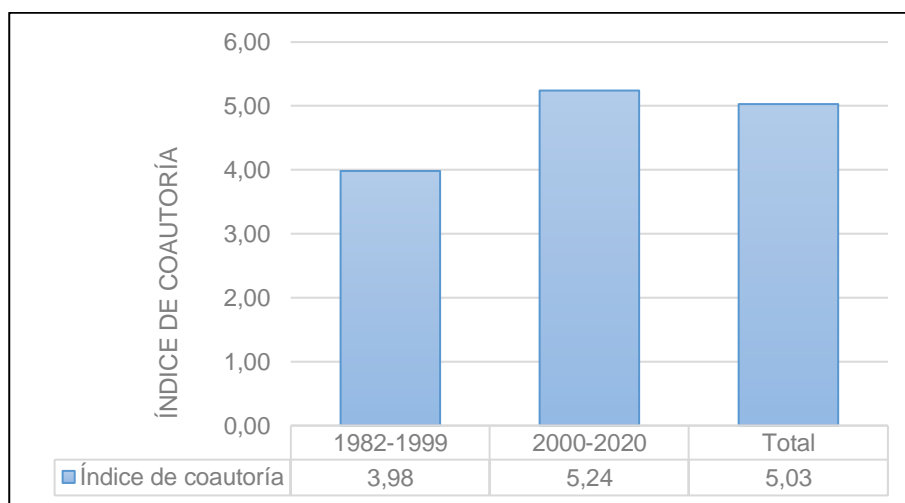
*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

En esta figura se observa que el 96% (n=344) de las publicaciones han sido producidas por más de un autor, mientras que un 4% aparece como autoría de un solo investigador. A partir de esta información, se determinó el grado de colaboración científica (DC), el cual fue de 0.96 ( $0 \leq DC \leq 1$ ). Este valor nos indica que el trabajo colaborativo predomina en la investigación mundial en el tema del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas.

Luego de conocer que la mayor parte de los trabajos en este campo de investigación son producidos por más de un investigador, con el propósito de saber el número medio de autores por publicación se calculó el índice de coautoría. Este indicador se obtuvo para el periodo comprendido entre 1982-1999, así como para 2000-2020. Estos resultados se presentan en la figura 21.

**Figura 21**

*Índice de coautoría por periodos de tiempo para las publicaciones científicas a nivel mundial*



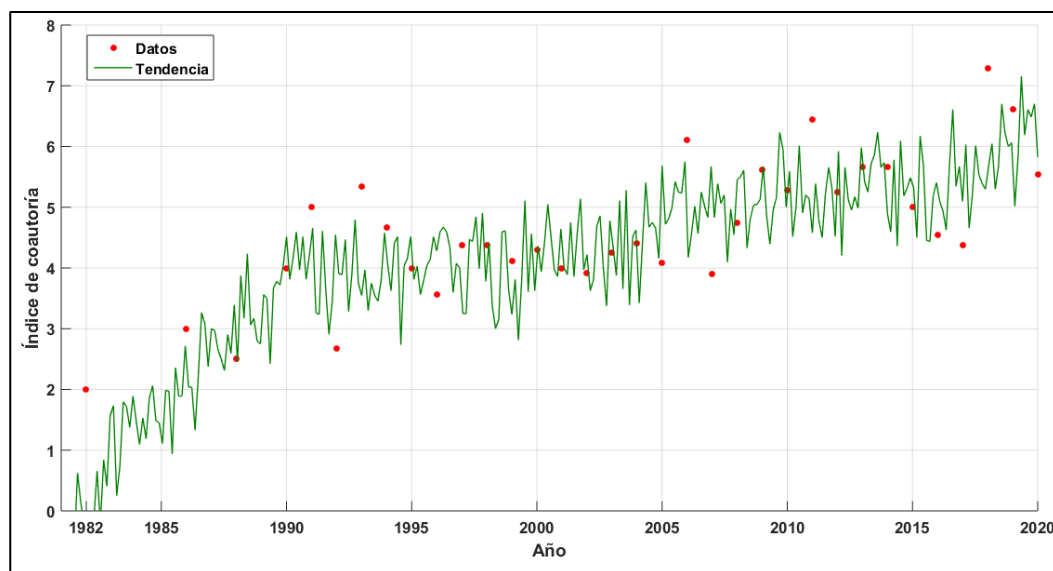
*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

En esta figura se observa que el índice de coautoría total es de 5.03 autores por documento. Para el periodo comprendido entre 1982-1999 se tiene un índice de coautoría de 3.98 autores por documento. Para el segundo periodo 2000-2020 se obtiene un valor de 5.24 autores por documento. Este aumento del valor del índice de coautoría posiblemente se debe a dos razones. La primera tiene que ver que con el incremento de los trabajos a través del tiempo. La segunda podría estar relacionada con la participación de grupos de investigación cada vez más grandes con el transcurso de los años.

Al evaluar el comportamiento del valor del índice de coautoría a través del tiempo (Fig. 22), se observa que los datos tienen una tendencia de crecimiento.

## Figura 22

*Evaluación del índice de coautoría de las publicaciones a nivel mundial a través del tiempo*



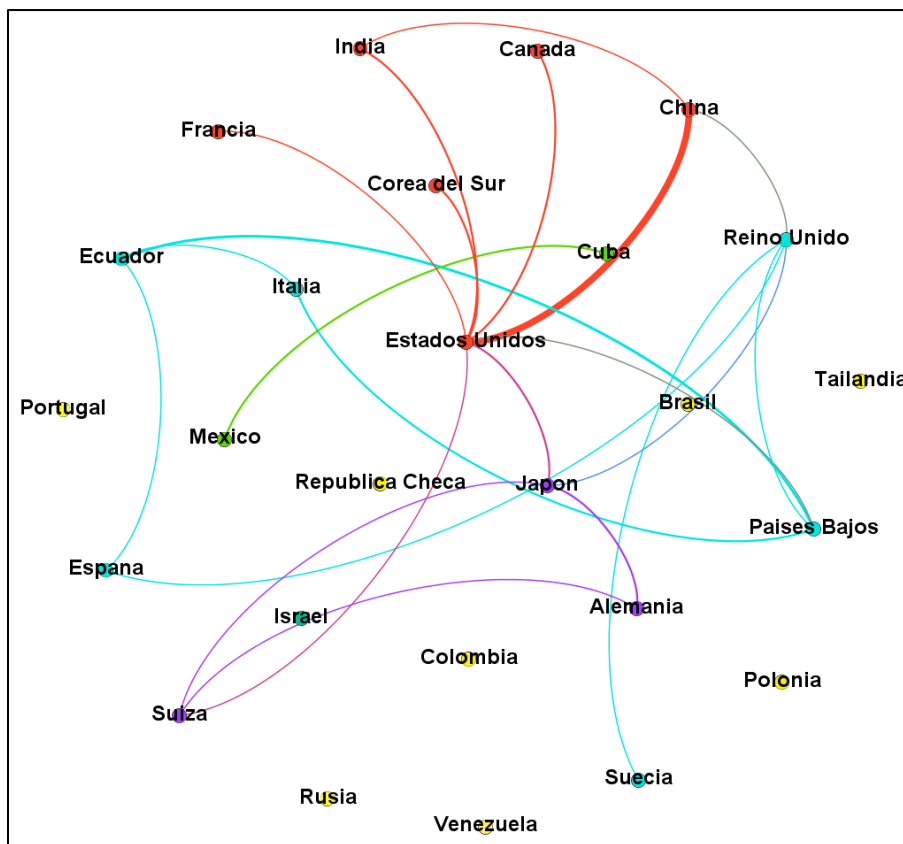
*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos.

Es decir, existe cada vez más una prioridad por el trabajo colaborativo entre investigadores. Este resultado tiene coherencia con el índice de coautoría analizado anteriormente en la figura 21. Estos resultados en conjunto nos muestran un claro interés que tienen los investigadores por ser parte de un grupo de investigación, posiblemente debido a las múltiples ventajas y beneficios.

La colaboración científica se da tanto a nivel nacional como internacional. Al analizar los 357 documentos, se observó que los autores entablan mayoritariamente una relación de colaboración dentro del país de origen. Con el propósito de identificar las relaciones de colaboración científica entre países, se procedió a utilizar el programa Gephi, en el cual se ingresaron y procesaron un conjunto de datos obtenidos de los documentos analizados (Anexos 6 y 7). En este programa se creó una red de colaboración internacional. En la figura 23 se muestra los principales países que han publicado al menos dos trabajos científicos en relación al efecto de elicitores en la expresión de genes PR en plantas.

**Figura 23**

*Red de colaboración entre países que publican documentos a nivel mundial sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas*



*Nota.* Las líneas representan redes de colaboración y la intensidad representa una mayor cantidad de documentos científicos publicados. Estos datos fueron obtenidos del análisis de 357 documentos.

En esta figura se puede evidenciar que cada nodo o esfera representa a un país y las líneas representan la relación de colaboración entre países. La intensidad de cada conexión es proporcional a la cantidad de publicaciones producidas en cooperación. Al analizar esta red observamos una fuerte relación científica entre Estados Unidos y China, siendo estos países los mayores socios científicos en este tema. Estados Unidos también ha colaborado con otros países, como India, Canadá, Corea del Sur y Japón.

Entre Ecuador y Países bajos existe un fuerte vínculo. Se puede observar colaboración entre los Países Bajos e Italia, entre México y Cuba, así como Japón y Alemania. En esta red de coautoría, se puede identificar a países que no interactúan con otros, es decir su colaboración tiene solo un alcance nacional. Estos países son Brasil, Colombia, Venezuela, Polonia, Portugal, República Checa, Rusia, Israel y Tailandia.

### **Indicadores bibliométricos de dispersión**

Las revistas representan el principal medio de divulgación de la información científica. Con el propósito de analizar las principales fuentes empleadas por los investigadores para la publicación de los documentos científicos relacionados al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas, se aplicaron indicadores de dispersión. Estos indicadores permiten determinar las revistas especializadas más relevantes dentro de un campo científico establecido.

A partir de los documentos analizados ( $n=357$ ), se identificó un total de 149 revistas científicas con publicaciones a nivel mundial sobre esta área de estudio. Para la identificación del número de revistas se empleó el análisis de Bradford, cuyos resultados se muestran en los Anexos 4 y 5. La información científica relevante se encontró en 11 revistas, que corresponden aproximadamente el 33% del total de documentos ( $n=117$ ). Este número de revistas constituyen las principales fuentes de información para el análisis.

Para conocer las características de las revistas científicas se evaluó la productividad de cada una de estas. En la Tabla 14 se presentan las 11 principales revistas científicas que publican documentos sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas a nivel mundial.

**Tabla 14**

*Principales revistas científicas con documentos sobre el efecto de elicitores en la expresión de genes PR en plantas a nivel mundial*

No.	Nombre de la revista	Documentos	Cuartil (2019)	SJR (2019)	Citas (3 años)	País de edición
1	Molecular Plant-Microbe Interactions	19	Q1	1.67	3608	Estados Unidos
2	Physiological and Molecular Plant Pathology	12	Q2	0.53	929	
3	Plant Physiology	11	Q1	3.62	6518	
4	Plant Physiology and Biochemistry	11	Q1	1.11	11531	Países Bajos
5	Plant Molecular Biology	11	Q1	1.73	5152	
6	Plant Journal	11	Q1	3.16	17538	Reino Unido
7	Cultivos Tropicales	11	N/A	N/A	N/A	Cuba
8	Plant Cell	9	Q1	5.4	17021	Estados Unidos
9	Planta	8	Q1	1.26	6411	Alemania
10	Plant Signaling and Behavior	7	Q1	0.81	3430	Estados Unidos
11	Plant and Cell Physiology	7	Q1	2.02	8625	Reino Unido

*Nota.* Los valores no encontrados de cada revista se designaron como N/A. Q: Cuartil, SJR: SCImago Journal Rank. Estos datos fueron obtenidos del análisis de 357 documentos científicos.

En esta tabla se observa que la revista con la mayor productividad científica es *Molecular Plant-Microbe Interactions*, la cual publica un total de 19 documentos. Esta revista al igual que la mayoría se localiza en Estados Unidos. Es interesante identificar dentro de este grupo una revista de América Latina, específicamente de Cuba (Cultivos Tropicales), la cual publica 11 documentos.

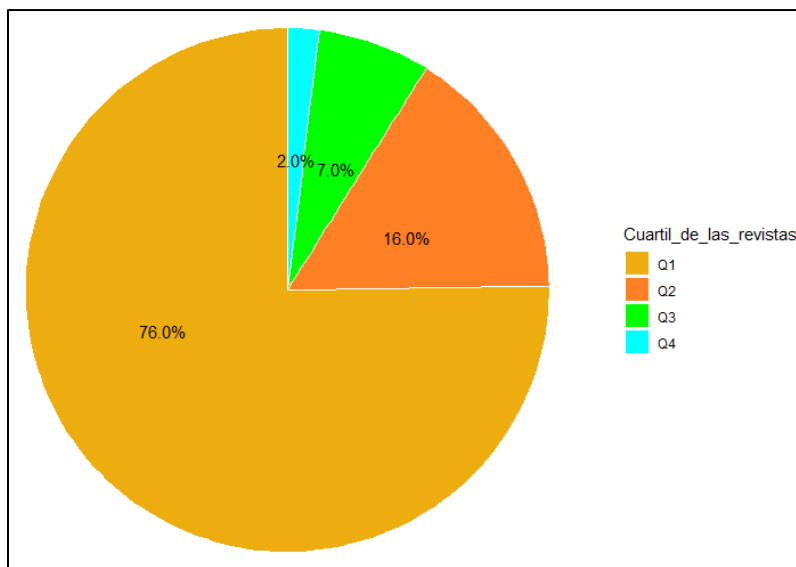
Con el propósito de analizar la visibilidad e impacto de las principales revistas científicas a nivel mundial, se emplearon algunos indicadores como el cuartil, el índice SJR y el total de citas recibidas durante los últimos tres años. En la Tabla 14 se observa que la mayoría de las revistas pertenecen al cuartil Q1, únicamente *Physiological and Molecular Plant Pathology* se encuentra en el cuartil Q2. Al observar el número total de citas recibidas, observamos que *Plant Journal* de Reino Unido y *Plant Cell* de Estados Unidos tienen la mayor cantidad de citas.

Al analizar el número total de documentos (n=310), se pudo observar que más del 75% de los trabajos a nivel mundial (n=228) son publicados por revistas Q1. El 25% de los documentos son publicados por revistas científicas con un menor impacto científico (Q2 y Q3). Las de menor calidad científica (Q4) publican un 2% del total de documentos. Estos resultados sugieren que los investigadores publican la mayor parte de sus trabajos en revistas científicas prestigiosas y de alto impacto. La estimación de la cantidad de documentos que se publican a nivel mundial con un alto impacto científico, agrupados de acuerdo a su cuartil, se observan en la figura 24.



## Figura 24

*Porcentaje de documentos científicos publicados a nivel mundial, tomando en cuenta el cuartil de la revista*



*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 310 documentos científicos.

El número de citas recibidas por documento es un indicador de la importancia e influencia de la información publicada. Al evaluar, a partir de los 357 documentos, la cantidad de trabajos que han recibido al menos una cita, se determinó que la gran parte (95%) han sido citados al menos una vez. Estos resultados reflejan la importancia de publicar en revistas Q1, las cuales proporcionan una mayor posibilidad de citación en sus trabajos.

### **Producción científica de América Latina vs. el resto del mundo**

La cantidad y calidad de la producción científica en América Latina sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas se analizó con el propósito de comparar la investigación científica de esta región con el resto del mundo.

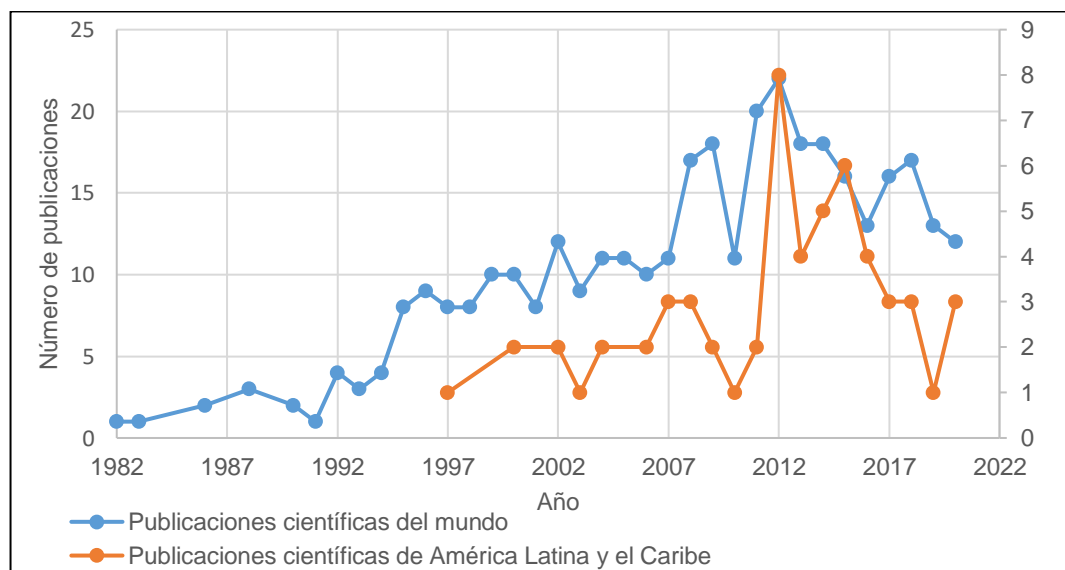
Para esto se emplearon indicadores de producción, colaboración y visibilidad e impacto. A partir de los 357 documentos analizados a nivel mundial, se determinó que 58 trabajos pertenecían al menos a un autor de una institución de esta región.

La región de América Latina se encuentra formada por 23 países, de los cuales solo nueve publican trabajos científicos a nivel mundial relacionados al efecto de elicitors en la expresión de los genes PR en plantas como son Ecuador, Chile, Colombia, Cuba, México, Brasil, Bolivia, Argentina y Uruguay (Anexo 8). Esto debido posiblemente a la ausencia de relaciones científicas internacionales.

La producción científica en las bases de datos para América Latina evidencia una producción durante el periodo comprendido entre 1997 y 2020. La distribución anual de documentos de esta región vs el resto del mundo se observa en la figura 25.

### Figura 25

*Distribución anual de la producción científica de América Latina y El Caribe vs. la producción científica mundial*



*Nota.* Datos obtenidos a partir de 357 documentos analizados.

En esta figura se puede observar que la investigación científica en América Latina comenzó años posteriores en comparación al resto del mundo. El primer trabajo fue publicado en 1997 en Uruguay, con la colaboración de países europeos. Se puede observar que el mayor número de trabajos científicos se publicaron en el 2012 (n=8), tendencia similar a lo que ocurre en el resto del mundo. Estos datos reflejan un mayor interés e inversión en este tema de investigación durante este periodo. En cambio, en los últimos años se observa una disminución posiblemente por las dificultades y adversidades presentadas a nivel mundial.

En relación a la producción científica sobre este tema, se puede observar en la Tabla 15 que la región de América Latina produce el 17% de los trabajos científicos a nivel mundial, ocupando el cuarto lugar, después de América del Norte y Oceanía. La mayor producción científica la tienen regiones como Asia y Europa con una producción del 45% y 36% respectivamente, lo que refleja un progresivo interés de América Latina en este tema.

**Tabla 15**

*Producción científica por regiones del mundo en relación al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas*

Posición	Región del mundo	Porcentaje de documentos	Porcentaje de citas recibidas
1	Asia	45%	21%
2	Europa	36%	46%
3	América del Norte y Oceanía	26%	26%
4	América Latina y el Caribe	17%	7%
5	África	2%	<1%

*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos científicos.

En la Tabla 15 también se puede observar el porcentaje de las citas recibidas en las diferentes regiones. Esta información permite analizar la calidad del trabajo científico de cada región mediante el promedio de citas por publicación, lo que muestra la visibilidad e impacto de las publicaciones. En esta tabla se puede observar que los trabajos publicados en Europa son los más citados, con un 46%. América del Norte recibe el 26%, ocupando el segundo lugar como la región de mayor impacto, resultado que se corrobora con el obtenido en la Tabla 13, en el que Estados Unidos es el país con el mayor porcentaje de citas. Las publicaciones de América Latina y el Caribe tienen el 7% del total de citas, mientras que África menos del 1%, siendo la región con el menor valor. Estos datos sugieren que América Latina debe trabajar en este indicador para incrementar la visibilidad e impacto de las publicaciones.

Al analizar el promedio de citas por publicación por cada región, se observa la misma tendencia (Anexo 9), lo que permite observar que la mayor productividad científica en esta área de la ciencia proviene de la región asiática, sin embargo estos trabajos no tienen una gran influencia en el ámbito científico. Al analizar la investigación científica de Europa, podemos ver que es la región que produce trabajos con el mayor impacto e influencia, a pesar de ser la segunda región con la mayor producción. En el caso de América Latina, los resultados denotan una falta de fortalecimiento de políticas que promuevan la investigación científica en relación al resto de regiones.

La colaboración científica influye en la productividad e impacto de las publicaciones de cada región del mundo, por tal razón se evaluó el grado de colaboración e índice de coautoría. En la Tabla 16 se presentan los indicadores de colaboración científica para cada región del mundo que publican documentos sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas, a partir del análisis del número total de trabajos (n=357).

**Tabla 16**

*Índices de colaboración científica por cada región del mundo sobre el efecto de elicitores en la expresión de genes PR en plantas*

<b>Región del mundo</b>	<b>Grado de colaboración (<math>0 \leq DC \leq 1</math>)</b>	<b>Índice de coautoría</b>
América del Norte y Oceanía	0.97	3.64
Europa	0.96	3.59
América Latina y el Caribe	0.95	3.44
África	1.00	2.86
Asia	0.99	2.06

*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 357 documentos científicos. DC: Grado de colaboración

En esta Tabla, se puede observar que todas las regiones tienen un grado de colaboración mayor a 0.90, es decir que la mayor parte de los trabajos publicados son de autoría múltiple, por lo que existe gran colaboración entre investigadores. Los valores del índice de coautoría en América del Norte y Europa tienen los valores más altos, 3.64 y 3.59 autores por documento respectivamente, en comparación a América Latina y el Caribe, la cual presenta un valor de 3.44 autores por documento. Este valor y el que se observa para África y Asia muestran un menor grado de colaboración pese a que Asia es la región que posee la mayor producción. En el caso de Europa se puede mencionar que ocupa los primeros lugares en cantidad y calidad científica y además de tener un índice de coautoría alto, lo que pone en evidencia la importancia del trabajo en grupos de investigación.

## **Producción científica a nivel nacional**

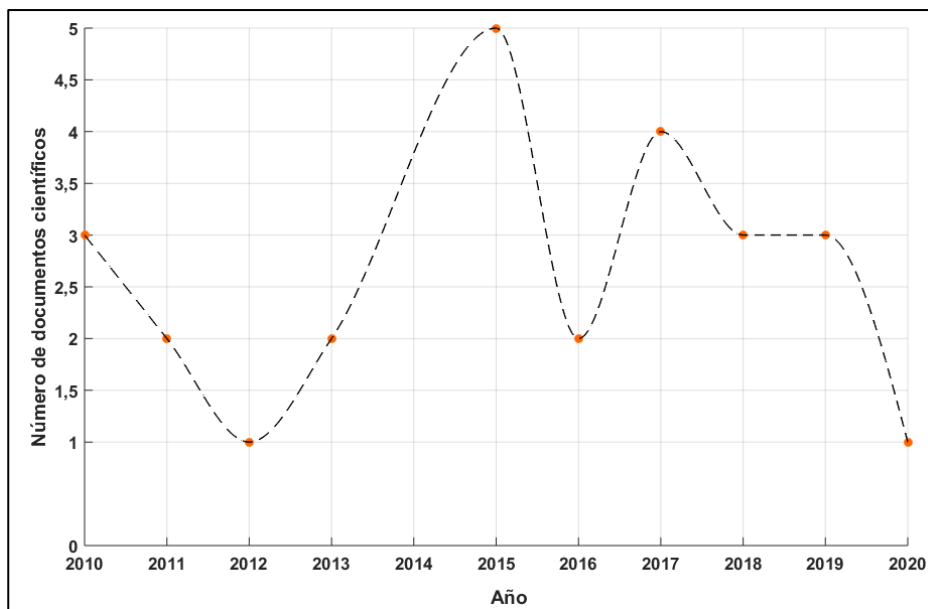
En este apartado se analizó aspectos relacionados a la cantidad y calidad de la investigación científica nacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas. Para este propósito, se aplicaron indicadores de producción, dispersión y colaboración al conjunto total de datos recuperados de las distintas bases de datos (26 documentos). Los datos para los indicadores de visibilidad e impacto fueron obtenidos a partir del subconjunto de publicaciones encontradas en la base de datos Scopus (11 documentos).

### **Indicadores bibliométricos de producción e impacto**

El número total de documentos científicos producidos a nivel nacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas fue de 26 trabajos. La investigación nacional en este campo científico comenzó en el 2010, a partir del cual se realizó el análisis bibliométrico. Se analizaron los documentos publicados entre el periodo 2010 y 2020, siendo un trabajo de búsqueda de los últimos 10 años. La distribución anual de la producción científica nacional en esta área de estudio durante el periodo 2010-2020 se presenta en la figura 26.

**Figura 26**

*Distribución anual de la producción científica nacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas*



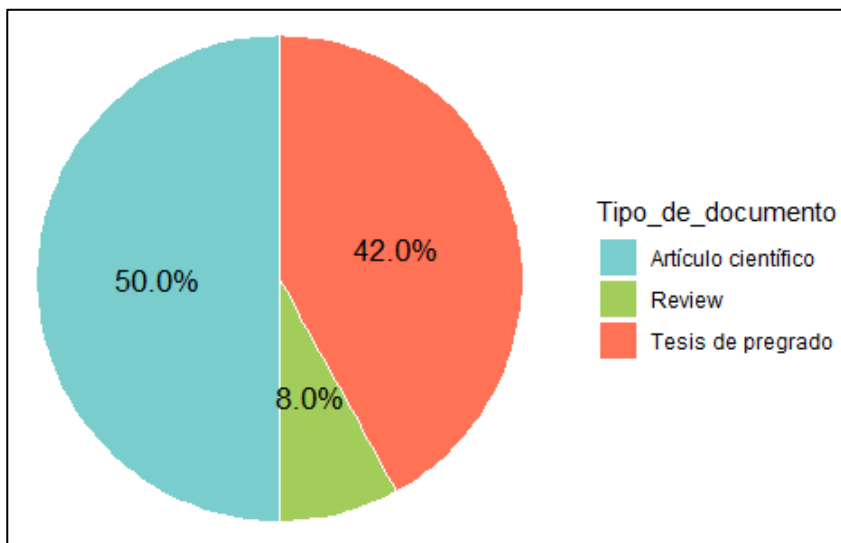
*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 26 documentos científicos.

En esta figura se observa una evolución irregular de la producción científica, con tasas de incremento y decremento variables para la mayoría de los años. En el 2015 se visualiza la mayor tasa de crecimiento de la producción científica, siendo este año el más productivo de la investigación nacional ( $n=5$ ). Al contrario, en el año 2020 se observa un decrecimiento considerable en la producción.

La investigación científica nacional se ha publicado por medio de tres tipos de documentos científicos. Es por esto que se analizó el tamaño de la producción científica a través del porcentaje de artículos, revisiones y tesis de pregrado (Fig. 27).

### Figura 27

*Porcentaje de documentos científicos publicados a nivel nacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas*



*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 26 documentos científicos.

Los artículos científicos son los documentos más empleados, los cuales representan el 50% (n=13) de la producción. Las tesis de pregrado y revisiones representan el 42% y 8% respectivamente, lo que muestra una tendencia de publicación en el país. Los trabajos científicos nacionales son publicados tanto en español como inglés, aunque el idioma que predomina en los trabajos nacionales es el español y para los artículos científicos el inglés.



Con el propósito de evaluar la productividad y el impacto de la investigación científica a nivel nacional, se procedió a analizar los 26 documentos nacionales seleccionados. A partir del análisis se obtuvo una lista de instituciones nacionales con el porcentaje de documentos y citas recibidas, así como el número de colaboradores por cada institución (Tabla 27).

**Tabla 17**

*Porcentajes de producción, visibilidad y colaboración científica de las instituciones nacionales sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas*

Posición	Institución	Porcentaje de documentos	Porcentaje de citas recibidas	No. de colaboradores científicos	
				Nacionales	Internacionales
1	USFQ	35%	95.62%	0	8
2	UPS	12%	0.65%	0	1
3	ESPE	12%	0.12%	1	1
4	UTPL	8%	3.26%	0	3
5	UTEQ	8%	N/A	0	1
6	UDLA	8%	N/A	N/A	N/A
7	UCE	8%	N/A	N/A	N/A
8	UNACH	4%	0.24%	0	1
9	UNEMI	4%	N/A	0	1
10	ESPOL	4%	N/A	1	2
11	INIAP	4%	0.12%	1	1
12	PUCE	4%	N/A	N/A	N/A

*Nota.* Los datos fueron obtenidos del análisis de 26 documentos científicos. Los datos no encontrados se designaron como N/A.

En esta tabla se observa un total de 12 instituciones nacionales que se dedican a la investigación del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas. De estas instituciones, la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) tiene la mayor producción científica con cerca del 35% del total. A continuación, se encuentran la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca (UPS) y la Universidad de las Fuerzas

Armadas-ESPE, cada una con el 12% de la producción total. El resto de las universidades y centros de investigación han contribuido en la investigación sobre este tema entre un 4 y 8%.

Al analizar el número de citas recibidas para evaluar el impacto científico se observa que más del 90% del total de citas pertenece a los trabajos científicos de la USFQ. Al observar los colaboradores científicos se evidencia que la USFQ tiene una alianza científica con ocho centros internacionales de investigación, lo que muestra que existe una correlación positiva entre la colaboración científica y la productividad o el impacto de las publicaciones de cada institución (Tabla 17).

### **Indicadores bibliométricos de colaboración**

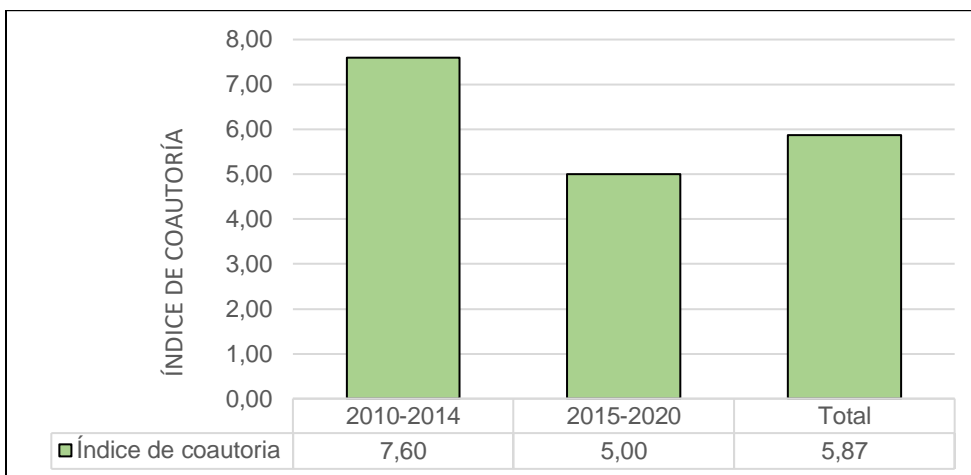
En el siguiente apartado se analiza con mayor profundidad la colaboración científica, debido a que de acuerdo a los resultados anteriores de la Tabla 17, se encontró una influencia positiva de la colaboración en la productividad o impacto de la investigación científica nacional. Para este propósito se aplicaron indicadores como el número de documentos en coautoría, grado de colaboración e índice de coautoría a los datos obtenidos de las publicaciones nacionales que incluyen artículos científicos y revisiones (n=15).

Al analizar la coautoría, se determinó que todos los documentos nacionales son de coautoría múltiple, es decir desarrollados por más de un autor. Al determinar el grado de colaboración científica (DC), este tomó un valor de 1.0 ( $0 \leq DC \leq 1$ ), lo cual muestra una gran afinidad de los investigadores por el trabajo científico colaborativo.

Posteriormente se analizó la colaboración científica a nivel del investigador, para lo cual se empleó el índice de coautoría. Se calculó este indicador para el periodo comprendido entre 2010-2014, así como para 2015-2020. Estos valores se indican en la figura 28, en la que se tiene un índice de coautoría total de 5.87 autores por documento.

### Figura 28

*Índice de coautoría por periodos de tiempo de los trabajos científicos nacionales relacionados al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas*



*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 26 documentos científicos.

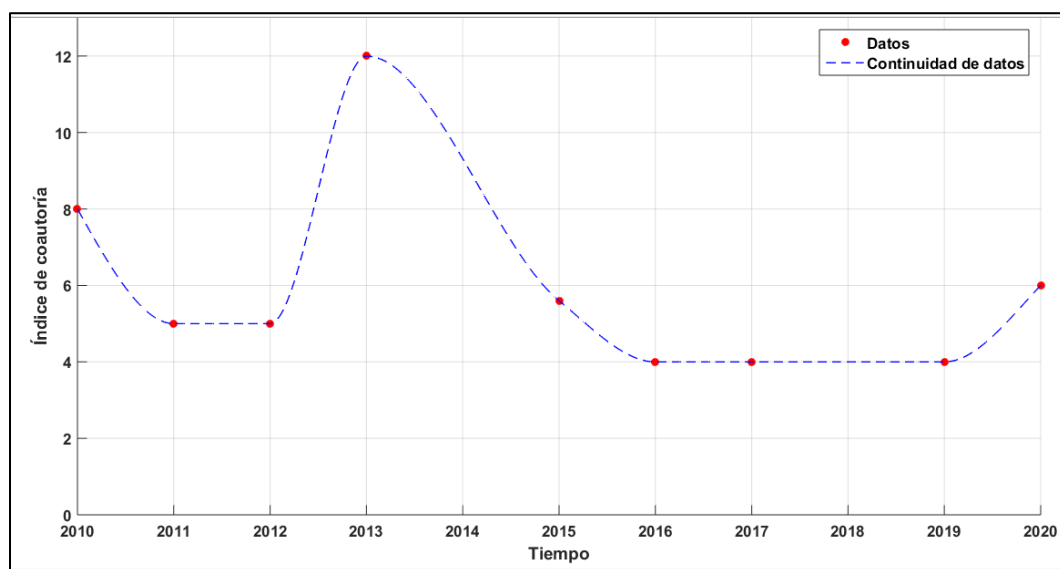
En esta figura se observa que para el periodo comprendido entre 2010-2014 el índice de coautoría es de 7.60 autores por documento. Para el segundo periodo 2015-2020 se tiene un valor de 5.0 autores por documento. Al comparar estos valores se puede apreciar una disminución de aproximadamente el 30%, lo cual indica la

participación en los últimos años de un número menor de investigadores en los proyectos nacionales.

Al evaluar el comportamiento del índice de coautoría a través del tiempo, se puede observar en la figura 29, la tendencia de una leve disminución para la mayoría de los años a excepción del 2013.

### Figura 29

*Índice de coautoría de los trabajos nacionales con respecto al tiempo*



*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 26 documentos científicos.

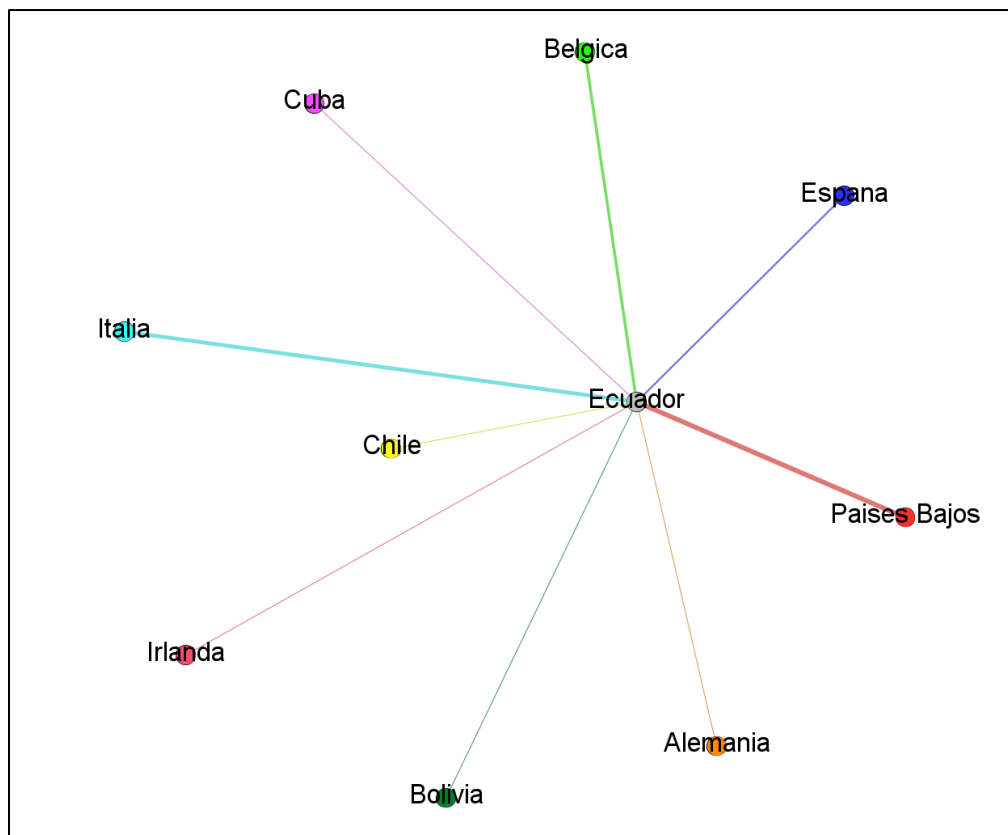
En esta figura se observa que el índice de coautoría alcanzó el mayor valor en el año 2013, con 12 autores por documento. Los resultados obtenidos nos permiten confirmar que los grupos de investigación están reduciendo su número de investigadores a medida que transcurre el tiempo. Esto se debe posiblemente a las limitaciones respecto a la falta de recursos económicos y personal especializado en este campo de investigación.

Para determinar el tipo de colaboración que existe en la investigación científica nacional sobre este campo, se procedió a identificar las publicaciones producidas con colaboración nacional e internacional. A partir de los documentos analizados (n=15), se determinó que el 93% fue producido con colaboración internacional, es decir trabajos entre diferentes autores tanto de instituciones nacionales como internacionales. Este resultado evidencia la importancia de la colaboración con instituciones extranjeras, lo cual es fundamental para el desarrollo científico nacional sobre el tema del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas.

En la figura 30 se puede observar la red de colaboración internacional mediante el análisis de los trabajos científicos (Anexos 10 y 11) en el programa Gephi.

**Figura 30**

*Red de colaboración internacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR*



*Nota.* Los nodos indican los países y las líneas las relaciones de colaboración. La intensidad de las líneas representa una mayor cantidad de documentos científicos publicados. Estos datos fueron obtenidos a partir del análisis de 15 documentos científicos mediante el programa Gephi.

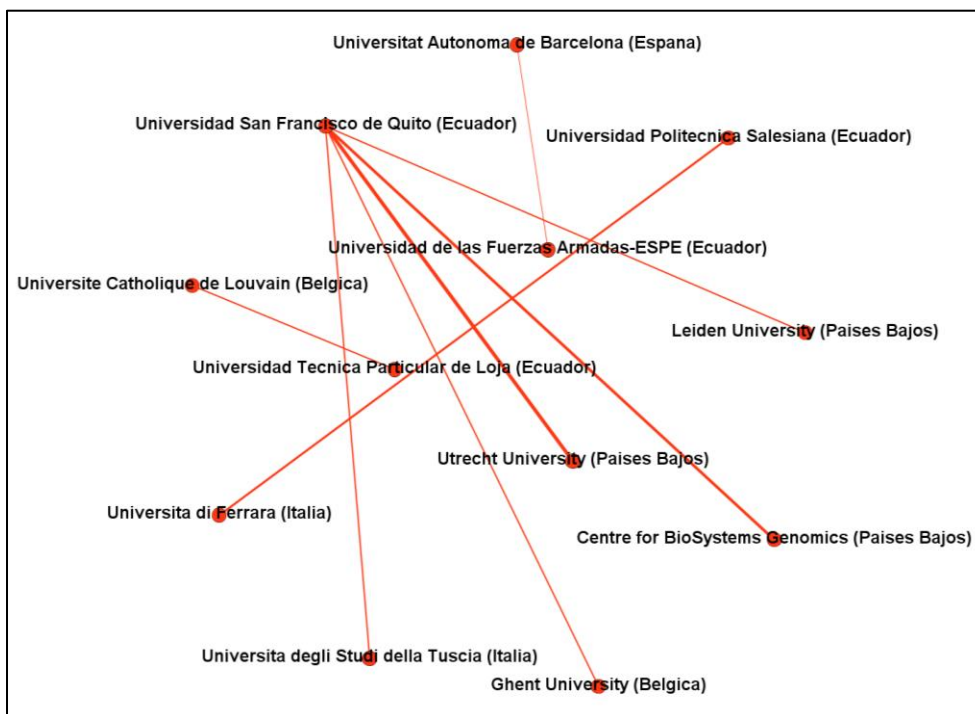
En esta figura se puede observar a los diferentes países que colaboran con el Ecuador en la producción científica de documentos sobre esta área de investigación. Estas relaciones están determinadas por el número de documentos producidos en conjunto. El Ecuador mantiene colaboración con instituciones de Europa y América Latina. Los tres principales socios científicos de Ecuador son Bélgica, Italia y Países

Bajos. A nivel de América Latina, la colaboración se realiza principalmente con Bolivia, Chile y Cuba.

Para identificar las principales instituciones que participan en la red de colaboración con el Ecuador, se elaboró una gráfica en base a los documentos de los Anexos 12 y 13 (Fig. 31).

### Figura 31

*Red de colaboración internacional entre instituciones sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR*



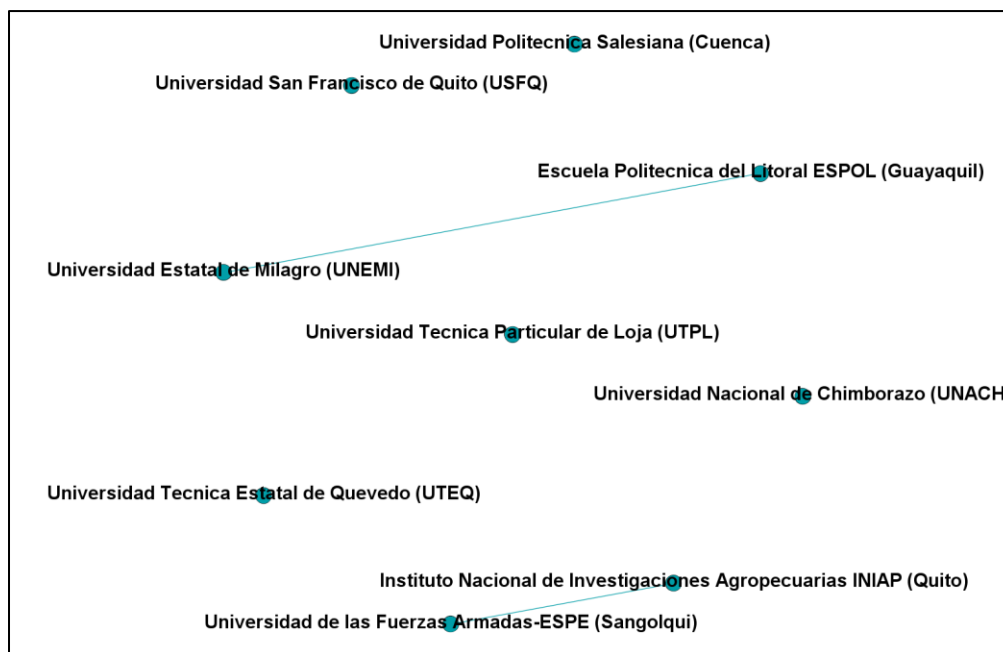
*Nota.* Los nodos indican las instituciones nacionales e internacionales y las líneas las relaciones de colaboración entre ellas. La intensidad de las líneas representa una mayor cantidad de documentos científicos publicados. Estos datos fueron obtenidos a partir del análisis de 15 documentos científicos.

En esta figura, se puede observar a las principales instituciones internacionales con las que el Ecuador tiene colaboración. La Universidad de Utrecht y el Centro de Genómica de Biosistemas (Países Bajos) y la Universidad de Ferrara (Italia). Estos resultados evidencian que las mayores relaciones científicas internacionales existen con instituciones de Europa.

Con el propósito de conocer las relaciones científicas entre las instituciones nacionales, se elaboró una gráfica mediante el programa Gephi donde se muestra la colaboración nacional (Fig. 32), a partir de los documentos de los Anexos 14 y 15.

### Figura 32

*Red de colaboración nacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas*



*Nota.* Los nodos indican las instituciones nacionales y las líneas las relaciones de colaboración. La intensidad de las líneas representa una mayor cantidad de documentos científicos publicados. Estos datos fueron obtenidos del análisis de 15 documentos científicos.



En esta figura se puede identificar una relación científica entre la Universidad Politécnica del Litoral (ESPOL) y la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), así como entre la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). En esta red se puede observar que la mayoría de las instituciones nacionales no mantienen relaciones científicas entre ellas. Esto es un indicativo del trabajo investigativo independiente, posiblemente debido a la ausencia de convenios científicos dentro del país.

### **Indicadores bibliométricos de dispersión**

Para analizar las principales fuentes empleadas por los investigadores para la publicación de los documentos científicos nacionales relacionados al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas, se aplicaron indicadores de dispersión. Estos indicadores permitieron identificar las revistas con mayor relevancia que publican la mayor cantidad de trabajos científicos nacionales.

A partir de los documentos analizados (n=15), se determinó que la producción científica nacional se publica en 13 revistas científicas. Para identificar las principales revistas, se procedió a determinar el número de trabajos publicados por cada una de estas. En la Tabla 18 se presentan las características de las revistas científicas que publican documentos nacionales.

**Tabla 18**

*Revistas científicas que publican documentos nacionales sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas*

No.	Nombre de la revista	Número de documentos	Cuartil (2019)	SJR (2019)	Citas (3 años)	País de edición
1	Ciencias Agrarias	2	N/A	N/A	N/A	Ecuador
2	La Granja: Revista de Ciencias de la Vida	1	Q4	0.12	3	
3	Plant Cell	1	Q1	5.4	17021	Estados Unidos
4	Physiological and Molecular Plant Pathology	1	Q2	0.53	929	
5	Pest Management Science	1	Q1	1.21	8540	
6	Molecular Plant-Microbe Interactions	1	Q1	1.67	3608	
7	Annual Review of Cell and Developmental Biology	1	Q1	11.79	3651	
8	Plant Signaling and Behavior	1	Q1	0.81	3430	
9	European Journal of Plant Pathology	1	Q1	0.68	3833	Países Bajos
10	Ecotoxicology	1	Q2	0.76	3825	
11	Scientific Reports	1	Q1	1.34	699552	Reino Unido
12	Planta	1	Q1	1.26	6411	Alemania
13	Revista de Protección Vegetal	1	N/A	N/A	N/A	Cuba

*Nota.* Estos datos fueron obtenidos del análisis de 15 documentos científicos. Los datos no encontrados se designaron como N/A. Q: Cuartil de la revista, SJR: SCImago Journal Rank.

En esta tabla se observa que la mayor cantidad de documentos nacionales son publicados en la revista nacional llamada Ciencias Agrarias. Todas las demás revistas a excepción de una son revistas internacionales de Estados Unidos, Países Bajos, Reino Unido, Alemania y Cuba.

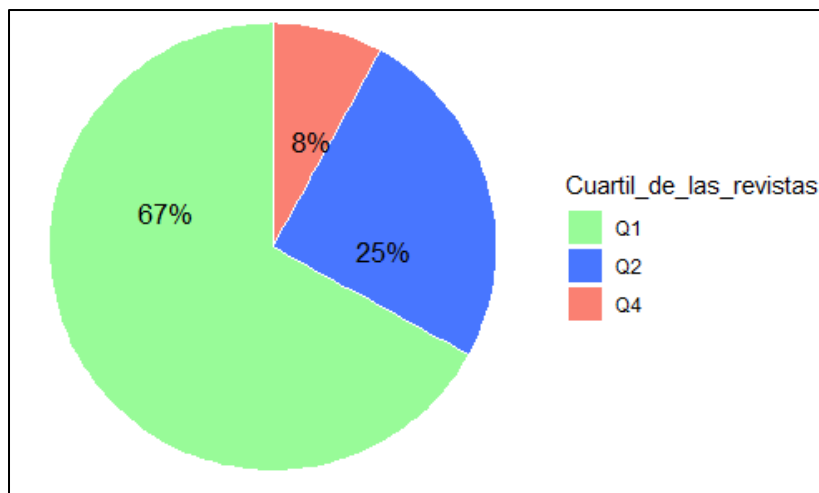
Con el propósito de evaluar la calidad científica de las revistas de la Tabla 18, se analizaron indicadores de visibilidad e impacto como el cuartil, índice SJR y citas recibidas en los últimos tres años. En esta tabla podemos observar que la mayoría de las revistas pertenece al cuartil Q1, a excepción de tres revistas que son Q2 y Q4.

Al tomar en cuenta el número de citas recibidas, podemos identificar en la Tabla 18, que la revista *Scientific Reports* de Reino Unido ha recibido el mayor número en los últimos tres años. Si comparamos este valor con las demás revistas, podemos notar que es un valor alto. Este resultado nos indica que esta revista tiene un alto prestigio y pertenece al grupo de revistas más importantes a nivel mundial. Por lo tanto, se puede sugerir a esta revista como una estrategia para impulsar una mayor visibilidad e impacto de los trabajos científicos nacionales.

Al analizar el número total de trabajos (n=11), se pudo observar que más del 60% de los documentos nacionales son publicados por revistas Q1. El 33% de los documentos son publicados por revistas científicas con un menor impacto científico (Q2 y Q4). Estos resultados indican que los investigadores publican gran parte de los documentos nacionales en revistas con un alto impacto científico, lo que sugiere una mayor aceptación y expansión de los conocimientos de la investigación nacional en la sociedad científica. La estimación de la cantidad de documentos nacionales que se publican con un alto impacto científico, agrupados de acuerdo a su cuartil, se observan en la figura 33.

**Figura 33**

*Porcentaje de documentos científicos nacionales tomando en cuenta el cuartil de la revista*



*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 11 documentos científicos extraídos de Scopus.

**Factores involucrados en la expresión de los genes PR en plantas**

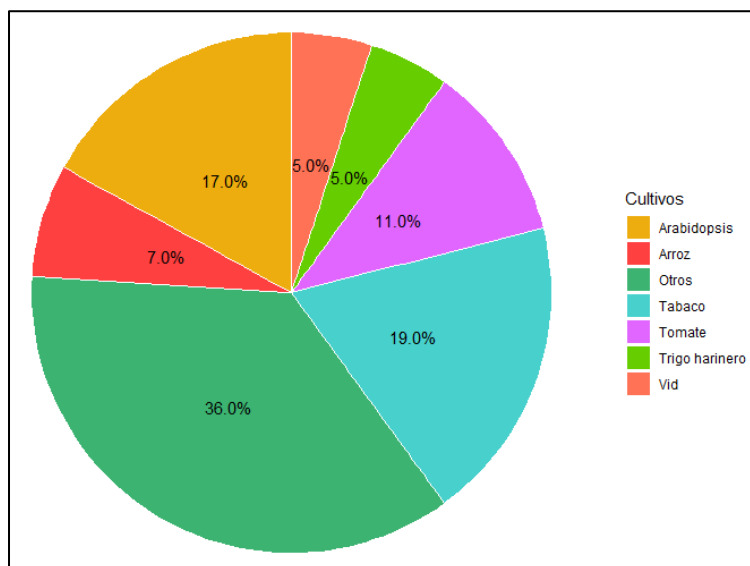
En este apartado se presentan los resultados obtenidos del análisis de los componentes que intervienen en la expresión de los genes PR en plantas. Estos resultados se obtuvieron a partir del resumen de 306 artículos científicos publicados a nivel mundial. A partir del total de documentos analizados, se identificó factores involucrados en la expresión de estos genes PR como el cultivo, el elicitador aplicado y el gen PR sensible. Adicionalmente, se analizó la relación que existe entre el cultivo y elicitador aplicado. Este procedimiento se desarrolló con el propósito de tener información científica como base para futuros planes de mejoramiento genético.

Al analizar los factores involucrados se procedió a determinar la producción científica por separado de cada uno de ellos. Al tomar en cuenta el “factor cultivo”, se

determinó la importancia del material biológico a partir del cual se puede aislar el gen de resistencia (gen PR). A partir de las 306 publicaciones analizadas, se identificó 61 diferentes cultivos. En la figura 34 se presentan los porcentajes de los principales cultivos empleados para este tipo de estudio.

### Figura 34

*Porcentajes de los principales cultivos empleados para estudios del efecto de elicitores en la expresión de genes PR a nivel mundial*



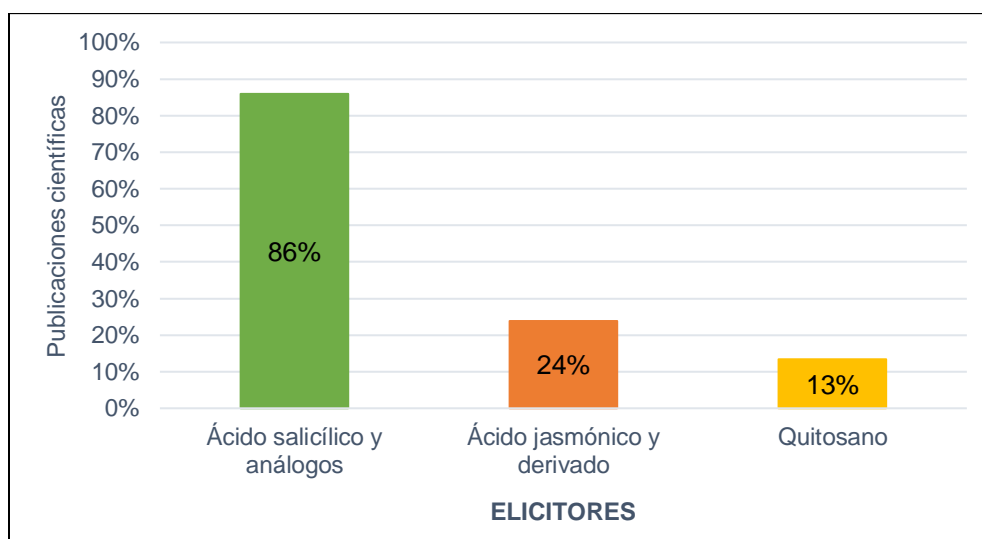
*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 306 documentos científicos.

En esta figura se puede observar que el tabaco (19%), Arabidopsis (17%) y tomate (11%) son los principales cultivos empleados en estos estudios. Esto sugiere que estas plantas son generalmente utilizadas como modelo biológico experimental. Existen otros cultivos utilizados como arroz, trigo y vid, los cuales tienen una producción científica media (>5% de producción). Los cultivos con menor del 3% de producción se presentan en el Anexo 16.

Al analizar el “factor elicitores” se determinó la producción científica de cada uno de los elicitores más empleados en los documentos seleccionados. Los elicitores analizados como el ácido salicílico y sus análogos, ácido jasmónico y su derivado y el quitosano fueron las sustancias aplicadas de forma exógena a los cultivos (Fig. 35). Esto para inducir mecanismos de defensa en las plantas como los genes PR y evaluar el grado de protección frente a patógenos bacterianos, fúngicos y virales.

### Figura 35

*Porcentaje de la producción científica a nivel mundial en relación a los elicitores empleados sobre la expresión de los genes PR en plantas*



*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 306 documentos científicos.

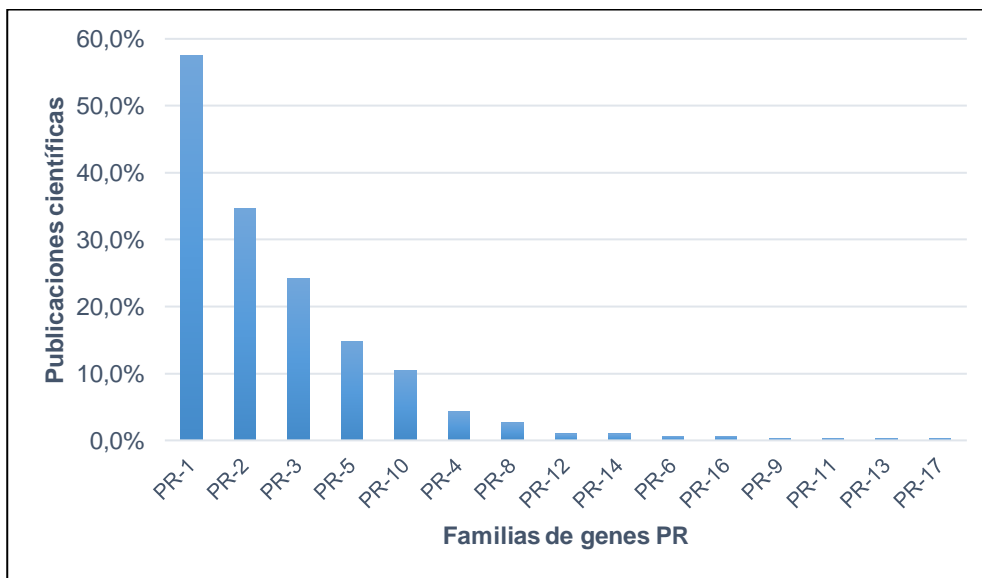
En esta figura se observa que el ácido salicílico (AS) y sus análogos son el grupo de elicitores con la mayor producción científica, aproximadamente más del 85% del total de documentos (n=263). En este grupo se encuentra el acibenzolar-S-metil (ASM), ácido S-formilsalicílico (S-FSA), ácido 2,6-dicloroisonicotínico (INA), benzotiadiazol (BTH) y salicilato de metilo (MeSA), los cuales son compuestos análogos

al AS. Los elicitores como el ácido jasmónico (AJ), su derivado metil jasmonato (MeJA) y el quitosano son compuestos menos usados. Estos resultados reflejan un mayor interés por el ácido salicílico y sus análogos, posiblemente debido a que el AS es más conocido como una molécula señalizadora que interviene en la transducción de señales de defensa, en la que participan los genes PR.

Al analizar el “factor genes PR” se identificó a partir de los documentos analizados 15 familias de genes. En la figura 36 se observa el porcentaje de la producción científica en relación a las familias de genes PR estudiadas en los trabajos científicos a nivel mundial.

### Figura 36

*Porcentaje de la producción científica en relación a las familias de genes PR en estudios a nivel mundial*



*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 306 documentos científicos.

En esta figura, se observa que las familias de genes PR más estudiadas son PR-1, PR-2 y PR3. De estas familias, PR-1 tiene la mayor producción científica, con aproximadamente más del 50% del total de trabajos (n=176). Los genes PR con una producción científica baja ( $\leq 1\%$  de documentos) incluyen a ocho familias (PR-12, PR-14, PR-6, PR-16, PR-9, PR-11, PR-13 y PR-17). Estos resultados sugieren que los genes con más estudios pertenecen a las tres primeras familias, ya que están involucrados con un mayor número de estudios de resistencia a enfermedades en plantas.

A continuación, se procedió a determinar la relación dependiente entre el cultivo y el elicitor aplicado. Para esto se consideró la mayor cantidad de estudios científicos, en los que la expresión de un determinado gen PR dependía de un cierto elicitor. A partir de los trabajos científicos analizados, en la Tabla 19 se presenta el porcentaje de documentos analizados en relación al cultivo, elicitor y expresión del gen PR.

**Tabla 19**

*Porcentaje de documentos analizados en relación al cultivo, elicitor y expresión del gen PR*

<b>Cultivo</b>	<b>Elicitor aplicado</b>	<b>Expresión del gen PR</b>	<b>Porcentaje de documentos</b>
Tabaco	Ácido salicílico (AS)	PR1(PR-1a y PR-1b)	11.76%
Tomate	Quitano	PR-2(PR-2a y PR-2b)	1.68%
Vid	Metil jasmonato (MeJA)	PR2	1.68%
Tabaco	INA	PR-1a	1.40%
Arroz	Ácido jasmónico (AJ)	PR-1(PR-1a y PR-1b)	1.12%
Arabidopsis	BTH	PR-1	0.84%
Tomate	ASM	PR-2	0.84%
Arabidopsis	S-FSA	PR-2	0.28%
Cebada	MeSA	PR-1	0.28%

*Nota.* Datos obtenidos a partir del análisis de 306 documentos científicos.



En esta tabla, se puede observar que en la mayoría de los estudios analizados, utilizan el ácido salicílico (AS) y sus análogos, ácido jasmónico (AJ) y quitosano. El AS es mayormente aplicado en tabaco induciendo la expresión de las isoformas ácidas y básicas del gen PR-1. Los compuestos análogos del AS aplicados en Arabidopsis, tomate y cebada inducen los genes PR-1 y PR-2. Respecto al ácido jasmonico (AJ) y su derivado (MeJA), en la mayoría de los estudios condujeron a la expresión del gen PR-1 y PR-2, en arroz y vid, respectivamente. El quitosano en cambio fue el responsable de la expresión del gen PR-2 en tomate. Estos resultados muestran claramente el uso del AS como inductor de la expresión de genes de resistencia.

## Discusión

### Evaluación de la producción científica a nivel mundial

La presente investigación tiene el propósito de proveer información sobre el desarrollo científico del uso de elicitores como método de control de las enfermedades de las plantas. Para esto se realizó un análisis bibliométrico de la producción científica a nivel nacional como mundial.

Los 357 documentos científicos, recuperados de las diferentes bases de datos, evidencian el trabajo investigativo a nivel mundial de cerca de 38 años sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR. Esto refleja el interés de las instituciones y centros de investigación de todo el mundo por encontrar una solución que permita superar las dificultades en el control y manejo de las enfermedades de las plantas.

La distribución del número de documentos científicos publicados a nivel mundial en el periodo de 1982-2020, presentó un crecimiento de la investigación de tipo logístico (Fig. 15). Este patrón de crecimiento coincide con el mencionado por Górriz y Casterá (2018), quienes manifiestan que el aumento del conocimiento científico a través del tiempo es similar al de los procesos biológicos como es el caso del crecimiento poblacional de los organismos (Rodríguez, 2011).

El crecimiento tipo logístico observado en esta investigación presentó tres etapas (Fig.15). En la primera se observó un ligero crecimiento de la investigación (1982-1994), en la segunda hubo un aumento considerable de trabajos científicos (1995-2012), mientras que la última se observó un ritmo constante de producción y un declive de la actividad científica (2013-2020). Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Górriz y Casterá (2018), quienes manifiestan que el establecimiento de

la investigación en un área científica determinada es el resultado de tres etapas como: producción inicial, crecimiento exponencial y saturación de la actividad científica.

Generalmente, en la primera etapa existe una concentración de recursos para impulsar la investigación. La segunda etapa se caracteriza por un ritmo acelerado (exponencial), de acuerdo a la ley de Price. Según Fernández y colaboradores (2004) la producción científica se duplica cada 15 años, debido a una mayor disponibilidad de recursos económicos y personal especializado. Finalmente, en la tercera etapa existe una limitación de recursos que detiene la actividad científica (Rodríguez, 2011).

El conocimiento científico se transfiere por medio de documentos escritos, los cuales son una fuente de consulta de estudiantes e investigadores que requieren iniciar nuevos proyectos o estar actualizados en un área específica (Palmatier *et al.*, 2018). A nivel mundial, la mayor parte de la investigación sobre el tema analizado se ha publicado como artículos científicos (87%), ya que el 13% corresponde a las revisiones (reviews).

El impacto científico se determina por la cantidad de citas que recibe cada documento. En relación a esto se observó que las revisiones recibieron 2.7 veces más citas que los artículos científicos. Este resultado concuerda con los encontrados por Miranda y García (2018), quienes realizaron un análisis de citas a partir de más de 90,000 publicaciones de Web of Science (WoS), que incluían 15 tipos de documentos de 35 áreas temáticas. En este estudio determinaron que las revisiones científicas se citaban con mayor frecuencia y en comparación a los artículos recibían un promedio de citas entre 1.34 y 6.74 veces más. Las revisiones proporcionan a los investigadores una recopilación de los avances y hallazgos más importantes encontrados en un mayor número de artículos científicos. De este modo, estos documentos presentan una síntesis y un panorama general de un área científica determinada, útil para los

investigadores que planifican futuras investigaciones a partir de un análisis crítico y de valoración de la información científica (Ketcham y Crawford, 2007).

La mayoría de los trabajos científicos a nivel mundial se presentan escritos en inglés (90%), mientras que el resto (10%) en otros idiomas como el español, portugués, chino, alemán y coreano (Fig. 18). De acuerdo a estos resultados el inglés es el idioma predominante en esta área científica. Según Tardy (2004), el inglés es considerado el idioma universal de la ciencia, cuyo uso se encuentra mayormente expandido en ciertas áreas científicas como las ciencias naturales en comparación a las ciencias sociales. Menciona además que los trabajos científicos publicados en inglés son citados con mayor frecuencia que aquellos escritos en otros idiomas. De acuerdo a King (2002), una alta competencia en el idioma inglés permite tener una mayor tasa de publicaciones en revistas científicas internacionales de alto prestigio permitiendo un mejor desempeño científico de los países (Ray, 2012). Es importante recalcar que existe la presencia de trabajos en varios países y en otros idiomas aunque en menor porcentaje, lo que refleja el interés del tema sobre el control de enfermedades en plantas a nivel mundial.

Al analizar la producción y el impacto científico por cada país, se identificó que Estados Unidos, China e India son los países con mayor número de publicaciones. Se determinó además que Estados Unidos, Países Bajos y Alemania reciben la mayor cantidad de citas en este campo científico (Tabla 13). Estos resultados se ven reflejados en el hecho de que los principales científicos pertenecen a instituciones de Estados Unidos, Países Bajos y Cuba (Tabla 12). Man y colaboradores (2004) mencionan que Estados Unidos se caracteriza por ser el país con mayor producción científica, donde un total 12 universidades de alto nivel producen el 50% de los documentos (OECD, 2011). La investigación científica en algunos países de Europa y Asia está emergiendo cada vez más, es por eso que 10 universidades de las 60 con mayor producción a nivel

mundial se encuentran en Europa. En relación a las citas existen muchos factores que determinan un impacto científico alto, como un dominio del idioma inglés debido a la mayor posibilidad de publicar en revistas científicas internacionales de gran prestigio o a la colaboración científica entre autores a nivel internacional (Man *et al.*, 2004).

Al analizar la colaboración científica en los estudios publicados a nivel mundial sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas, se determinó que el trabajo colaborativo predomina en la investigación. Esto debido a que se obtuvo un grado de colaboración de 0.96 ( $0 \leq DC \leq 1$ ), lo que indica que la mayor parte de los trabajos son producidos por más de un autor (Fig. 20). De acuerdo a Singh (2015), actualmente la actividad científica es el resultado de un esfuerzo colectivo, sobre todo en ciertas áreas del conocimiento como las ciencias experimentales y aplicadas, biomedicina, entre otras. Una situación contraria ocurre para las ciencias sociales, donde el trabajo individual es considerado suficiente para la producción científica (García *et al.*, 2010).

En el análisis de coautoría se determinó que los grupos científicos que publican la mayor parte de los trabajos tienen un promedio de 5.03 investigadores. La evaluación del promedio de autores por documento a través del tiempo (Fig. 21 y 22), evidenció una tendencia de aumento del número de individuos en los grupos de investigación con el transcurso de los años. Esta tendencia también se encontró en un estudio realizado por Pérez-Llantada (2012), quien determinó un valor de 4.0 autores por documento (2000-2005), el cual se duplicó en comparación al periodo anterior (1995-1999). Según Katz y Martin (1997), la expansión de la colaboración científica con el paso del tiempo se debe a múltiples factores, de los cuales destacan la solución de problemas complejos que requieren la contribución de conocimientos por más de un investigador.

De acuerdo a la red de colaboración entre países (Fig. 23), se determinó que Estados Unidos y China son los mayores socios científicos en este campo de estudio. Estados Unidos también ha colaborado con India, Canadá, Corea del Sur y Japón. Estos resultados son similares a los obtenidos por Xiawen-Wang y colaboradores (2013), quienes a partir de un análisis de más de cien mil documentos obtenidos en el 2010 de WoS, determinaron que el principal colaborador científico de China era Estados Unidos, juntos producían más del 40% del total de trabajos. En otro estudio realizado por Guerrero y colaboradores (2013) a partir de más de 3,000 documentos obtenidos de Scopus (2003-2009), determinaron que Estados Unidos mantiene una asociación científica con Reino Unido, Alemania y Canadá, además de algunos países de Asia como China, Corea del Sur y Japón.

Se han identificado países cuya producción científica es solo a nivel nacional (Fig. 23), como Brasil, Colombia, Venezuela, Polonia, Portugal, República Checa, Rusia, Israel y Tailandia. Según Adams (2003), la ausencia de colaboración internacional se observa en aquellos países que recién emergen en un área científica determinada, porque inicialmente tienden a una mayor inversión de recursos en la producción nacional.

Las revistas científicas constituyen el principal medio de comunicación de los resultados de las investigaciones (Zhou *et al.*, 2012). Actualmente, existe una gran cantidad de publicaciones, resultado del desarrollo científico y tecnológico de muchos países (Guz & Rushchitsky, 2009). Así mismo, el internet permite un mayor acceso a toda esta información. Es por esta razón, la importancia de utilizar parámetros que permitan priorizar la información más relevante dentro de un área científica.

Por tal razón, se aplicaron indicadores de producción y de visibilidad e impacto para determinar las revistas especializadas más relevantes que publican documentos a

nivel mundial sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas. Se evidenció que la información científica relevante está publicada en 11 diferentes revistas (Tabla 14), de esta lista *Plant Journal* de Reino Unido y *Plant Cell* de Estados Unidos han recibido el mayor número de citas en los últimos tres años. Una gran cantidad de citas demuestra la calidad del trabajo científico de los investigadores y de la revista que lo publica (Dong *et al.*, 2005).

La mayor parte de los trabajos sobre este tema son publicados a nivel mundial por revistas Q1 (Fig. 24), los cuales de acuerdo a Gravel e Iselid (2008) tienen más probabilidad de ser citados y reflejan un alto impacto en la comunidad científica. Guz (2006) menciona que las revistas Q1 son reconocidas por la colectividad científica porque presentan características como confiabilidad, periodicidad, seguridad y accesibilidad. La confiabilidad y seguridad de una revista se debe al proceso de revisión por pares que aplica a los documentos antes de ser aceptados, asegurando la calidad y la ética del contenido (Guz, 2006). La periodicidad permite la publicación de un mayor número de documentos, lo que demuestra el eficiente trabajo de una revista científica (Van Leeuwen & Moed, 2005). Finalmente, la accesibilidad de una revista significa que pertenece a una base de datos reconocida como Scopus y WoS, facilitando la disponibilidad de la información (Gavel & Iselid, 2008).

Al analizar la producción y el impacto científico por cada región del mundo, se observó que América Latina ocupa el cuarto lugar, con un 17% de la producción total y un 7% de las citas recibidas (Tabla 15). De acuerdo a estos resultados América Latina se encuentra en un progresivo desarrollo científico relacionado a los estudios del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas. Según Salager-Meyer (2008), la ausencia de liderazgo en la producción científica de esta región se debe a múltiples causas, una de ellas es la insuficiente inversión de recursos económicos por parte de

los gobiernos para la investigación científica. Man y colaboradores (2008) mencionan que los países desarrollados destinan a la investigación entre el 2% y 4% del PIB (Producto Interno Bruto), mientras que los países en desarrollo máximo el 0.5% del PIB. De acuerdo a Hamel (2007), otra causa está relacionada con el déficit del dominio del inglés en los países de esta región, lo que dificulta al momento de querer publicar en revistas de alto impacto. Cargill y O'Connor (2006) enfatizan la ausencia de relaciones de colaboración científica entre países de baja y alta producción científica como otra de las causas.

Estos resultados nos indican la importancia del trabajo de grandes grupos de investigación en el desempeño científico. García y colaboradores (2010) mencionan que la colaboración científica permite un mayor acceso a recursos financieros y de infraestructura, además existe el intercambio de conocimientos y experiencias entre investigadores. Según Wu y colaboradores (1997), el trabajo de grupos de investigación con muchos integrantes minimiza posibles errores en los artículos, asegurando la excelencia del contenido publicado.

### **Evaluación de la producción científica a nivel nacional**

A nivel nacional, el manejo adecuado y eficaz de las enfermedades de las plantas se ha convertido en un desafío para el gremio científico. La investigación científica nacional sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas comenzó en el año 2010, tal como lo demuestran los 26 documentos encontrados en las distintas bases de datos durante los últimos 10 años. Esto coincide con la creación de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt) en el país (Cabezas R., 2013), la cual posiblemente favoreció el desarrollo de proyectos de investigación sobre este tema, debido al impulso en



programas de Ciencias de la Vida, permisos para la ejecución de la investigación y al desembolso de los recursos financieros (Senescyt, 2010).

Al evaluar el número de documentos durante este periodo, se observó ligeros incrementos y decrementos de la producción científica (Fig. 26). De acuerdo al modelo logístico de crecimiento de la información científica (Górriz & Casterá, 2018), la producción nacional se encuentra en la primera etapa. Esto quiere decir que la investigación nacional sobre este tema aún está surgiendo en las instituciones debido a la falta de disponibilidad de recursos económicos, así como de investigadores en esta área (Urbizagástegui, 2002).

Los resultados de la investigación científica a nivel nacional se publican mayormente como artículos científicos y tesis de pregrado (Fig. 27). El idioma empleado en la mayoría de las publicaciones es el inglés (80%). Según Pardede (2014), el artículo científico es el documento más empleado por los investigadores, debido a que es una fuente de información primaria que permite comunicar métodos y resultados.

A nivel nacional, la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) lidera la investigación en el país sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas. De acuerdo a la Tabla 11, la USFQ ha publicado el mayor número de documentos (35%) en colaboración con instituciones internacionales, los cuales han recibido el mayor porcentaje de citas (95.62%). Los principales países colaboradores con el Ecuador son los Países Bajos, Italia y Bélgica (Fig. 30). De acuerdo a la figura 31, las instituciones extranjeras que más han colaborado son la Universidad de Utrecht, el Centro de Genómica de Biosistemas (Países Bajos) y la Universidad de Ferrara (Italia). Los resultados indican que Ecuador mantiene fuertes vínculos científicos con instituciones de países desarrollados de Europa, lo que de acuerdo a Guerrero y

colaboradores (2013) esta interacción ofrece beneficios como experiencia técnica y calidad a los trabajos, los cuales tienen una mayor visibilidad e impacto (Mervis, 2010).

El resto de las universidades e instituciones del país han publicado entre un 4 y 12% sobre este tema, sin embargo no tienen un gran impacto, posiblemente debido al bajo número de colaboradores internacionales. Al evaluar el indicador de las publicaciones a nivel nacional, se observa una tendencia de disminución de los grupos científicos por publicación (Fig. 28 y 29). La reducción de los investigadores en los trabajos nacionales posiblemente se debe a la baja disponibilidad de recursos económicos para ejecutar proyectos multidisciplinarios (Shekofteh & Rahimi, 2016).

A nivel nacional, las instituciones y centros de investigación que trabajan en colaboración sobre este tema son la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), así como entre la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estos resultados muestran la falta de fortalecimiento de la investigación entre profesionales de diferentes instituciones nacionales.

Laborde (2015) menciona en un estudio dirigido por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil que la ausencia de redes nacionales de investigación es una limitante para impulsar una mayor producción, así como el desconocimiento de las principales revistas científicas dentro de un área específica y la escritura en el idioma inglés. Por tal razón la colaboración internacional tiene mayor prioridad para los investigadores nacionales.

En el Ecuador, las revistas que han publicado sobre la expresión genes PR son las Ciencias Agrarias y La Granja, esta última se encuentra indexada en Scopus y pertenece al cuartil Q4 (Tabla 18). Estos resultados evidencian la necesidad de fomentar la afiliación de revistas nacionales en bases de datos internacionales, la

escritura de artículos científicos en inglés y la inversión de recursos económicos para aumentar la cantidad de publicaciones a nivel mundial.

### **Cultivos y elicitores en la expresión de los genes PR**

El estudio de los elicitores aplicados en diferentes cultivos forma parte del área de investigación de las instituciones y centros a nivel mundial. Esto debido a que los elicitores presentan dos enfoques para el control de enfermedades de las plantas. El primero está relacionado con el uso de estos compuestos en los cultivos para potenciar respuestas de defensa que permitan suprimir los daños ocasionados por los fitopatógenos. Esta aplicación constituye una alternativa al uso de pesticidas con menores efectos negativos al medioambiente (Francis *et al.*, 2003). El segundo enfoque está orientado al desarrollo de especies resistentes a enfermedades empleando genes PR. Este argumento debido a que estos genes tienen la capacidad de impedir el desarrollo de una amplia variedad de patógenos por su acción hidrolítica, endoproteasa, ribonucleasa, peroxidasa, entre otras (Sels *et al.*, 2008).

En esta investigación se pudo observar a nivel mundial, que los cultivos mayormente empleados en los estudios relacionados al efecto de elicitores en la expresión de los genes PR son el tabaco, Arabidopsis y tomate (Fig. 34). De acuerdo a Ali y colaboradores (2018), la información de los genes PR pertenecientes a las 17 familias fue obtenida a partir de estudios realizados en tabaco, tomate, pepino, perejil, rábano, Arabidopsis y cebada. Esta información permite la identificación de genes homólogos en otras especies (Van Loon *et al.*, 2006). Por esta razón, estos cultivos siguen siendo muy empleados en estudios de inmunidad vegetal.

Según el criterio de búsqueda de este trabajo se seleccionaron diferentes tipos de elicitores el AS y sus análogos, AJ y MeJA y el quitosano, por ser los elicitores más

empleados en la inducción de mecanismos de defensa en plantas. En base a las publicaciones analizadas se pudo determinar que el AS y sus análogos (ASM, S-FSA, INA, BTH y MeSA) son los elicitores mayormente empleados en este tipo de investigaciones (Fig. 35). Esta información se corrobora con varios trabajos realizados sobre AS, donde se establece que este es un compuesto endógeno que actúa como mediador para el establecimiento de respuestas de defensa en plantas (Durner *et al.*, 1997). Se determina que la aplicación de AS en plantas previo al ataque de un patógeno potencia la expresión de los genes PR (Gaffney *et al.*, 1993). Se demuestra que los análogos biológicos y sintéticos del AS conducen a la activación de genes PR, siendo algunos de estos como el INA y BTH menos tóxicos y más eficientes que el AS (Lu *et al.*, 2009; Bektas & Eulgem, 2015). Por estas razones, posiblemente el AS y sus análogos tienen una mayor producción en esta área científica.

Se pudo observar que el AJ como elicitador es menos utilizado, posiblemente por su aplicación de protección descrita básicamente para hongos necrotrofos. En relación al quitosano, se determinó poca información, posiblemente a que es un elicitador que está siendo utilizado recientemente. Existe evidencia de que el quitosano es un compuesto natural biodegradable que se obtiene de residuos de crustáceos y presenta propiedades antimicrobianas y de inducción de respuestas de defensa como la expresión de genes PR en plantas (Lárez-Vasquez 2008; Xing *et al.*, 2015). Sin embargo, faltan estudios complementarios de transcriptómica y proteómica con el propósito de dilucidar aspectos importantes sobre el mecanismo de transducción de señales de defensa en las plantas mediadas por el quitosano (Alvarez *et al.*, 2013; Chadchawan, 2015).

Al analizar la expresión de los genes PR, se pudo observar que de las 17 familias existentes de este gen 15 estuvieron presentes dentro de los documentos analizados en este estudio (Fig. 36). Esto evidencia la importancia de los genes PR en

la defensa de las plantas contra fitopatógenos. Las familias PR-1, PR-2 y PR-3 son los genes mayormente evaluados en los trabajos relacionados a este tema, siendo PR-1 la familia que presenta la mayor cantidad de documentos. Los genes de la familia PR-1 se emplean comúnmente como marcadores biológicos para estudiar los componentes involucrados en la transducción de señales de defensa en las plantas mediadas por el AS (Van Loon *et al.*, 2006). Los genes PR-2 y PR-3 tienen gran interés debido a que hidrolizan la pared celular de hongos fitopatógenos por su acción como  $\beta$ -1,3-glucanasas y  $\beta$ -1,4-glucosaminidasas, respectivamente (Sels *et al.*, 2008).

Finalmente, es importante determinar la relación del cultivo con el elicitor para evaluar la expresión de los genes PR. Esta información proporciona a los investigadores la base para futuros planes de mejoramiento genético ya que son factores a tomar en cuenta para el desarrollo de cultivos resistentes (Ali *et al.*, 2018). De acuerdo a varios estudios, se ha observado que la eficiencia de la protección de los genes PR varía de acuerdo al cultivo de origen (Punja, 1996). En zanahoria transgénica, el gen PR-3b aislado del tabaco ofrece una protección a una menor variedad de hongos, sin embargo este gen aislado de la petunia, no proporciona ninguna resistencia (Zhang *et al.*, 2017). Es por esta razón que Kashyap y Deswal (2017) sugieren que los estudios deben enfocarse en la caracterización funcional de los genes PR en diferentes cultivos frente al ataque de varias especies de patógenos.

Este trabajo pretende dar a conocer la producción científica del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas a nivel mundial. La importancia de los patrones de expresión, la caracterización biológica y bioquímica de los genes PR en diferentes cultivos y frente a varios patógenos son estudios necesarios para futuros planes de mejoramiento en plantas.

## Conclusiones

- A nivel nacional, se pudo determinar que la investigación científica sobre el efecto de elicitores en la expresión en los genes PR en plantas se encuentra en una etapa inicial, donde se observa claramente una necesidad de inversión de recursos económicos, una mayor colaboración nacional e internacional, escritura de publicaciones en idioma inglés y una mayor afiliación de revistas nacionales en bases de datos internacionales como factores para un mejor desempeño científico.
- Se determinó que la investigación de América Latina sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR se encuentra en un progresivo desarrollo científico por los valores en los indicadores de producción de 17%, visibilidad e impacto del 7% y el índice de coautoría de 3.44 autores por documento en relación a la producción a nivel mundial. Siendo, la adecuada inversión de recursos económicos en investigación, la publicación de un mayor número de estudios en inglés y el trabajo con grandes grupos de investigación necesarios para promover una mayor producción científica de calidad en esta región del mundo.
- Los indicadores de producción y de visibilidad e impacto son importantes para determinar la cantidad y calidad de los trabajos científicos, mediante los cuales se determinó a Estados Unidos, como el país que lidera la investigación con el 20.7% de los documentos sobre el efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas.
- La colaboración científica entre investigadores predomina en la investigación a nivel mundial y nacional ya que se obtuvo un grado de colaboración entre

0.96 y 1.0 ( $0 \leq DC \leq 1$ ), lo que influye de manera positiva en una mayor producción e impacto científico.

- En relación a las redes de investigación sobre la expresión de los genes PR, se determinó que a nivel mundial Estados Unidos es el país que posee la mayor cantidad de vínculos científicos, siendo China el mayor colaborador en esta área científica. A nivel nacional, la USFQ es la universidad con mayor número de vínculos científicos, siendo la Universidad de Utrecht y el Centro de Genómica de Biosistemas de Países Bajos los mayores socios en áreas de investigación.
- Al analizar la información publicada en los estudios científicos a nivel mundial, se identificó que el AS y sus análogos como el ASM, S-FSA, INA, BTH y MeSA son los elicitores más empleados en cultivos de tabaco, Arabidopsis y tomate para evaluar la expresión de los genes PR, principalmente de las familias PR-1 y PR-2, así como el grado de protección contra fitopatógenos.
- Se determinó que Scopus y Scielo, constituyen las mejores bases de datos para la obtención de publicaciones científicas a nivel mundial y regional.
- El análisis de la producción científica del efecto de elicitores en la expresión de los genes PR en plantas es importante para determinar las bases de la expresión de genes relacionados a la resistencia contra patógenos para el planteamiento de nuevos proyectos de interés a nivel nacional con miras al mejoramiento genético y a la publicación científica.

### Recomendaciones

- Se debería incrementar líneas de investigación en elicitores bióticos, patógenos y cultivos para tener un conocimiento claro y amplio sobre la expresión de los genes de resistencia en plantas.
- Se recomienda realizar un acercamiento con organismos e instituciones nacionales para crear lineamientos que impulsen el desarrollo de este campo científico mediante la colaboración entre investigadores y la asignación de recursos económicos para generar un mayor número de proyectos de investigación y publicaciones en esta área.
- Es importante al desarrollar un trabajo de investigación realizar una búsqueda de información científica sobre el tema de estudio, analizando documentos científicos que sirvan como base para el lineamiento de la investigación y de las publicaciones.
- Se recomienda profundizar a nivel nacional en estudios de patógenos y cultivos relacionados a la biología molecular en plantas para incrementar las publicaciones en esta área y poder obtener una mayor visibilidad a nivel internacional.



## Bibliografía

- Acedo, F. J., Barroso, C., Casanueva, C., & Galán, J. L. (2006). Co-authorship in management and organizational studies: An empirical and network analysis. *Journal of Management Studies*, 43(5), 957–983. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2006.00625.x>
- Agarwala, R., Barrett, T., Beck, J., Benson, D. A., Bollin, C., Bolton, E., Bourexis, D., Brister, J. R., Bryant, S. H., Canese, K., Cavanaugh, M., Charowhas, C., Clark, K., Dondoshansky, I., Feolo, M., Fitzpatrick, L., Funk, K., Geer, L. Y., Gorelenkov, V., ... Zbicz, K. (2018). Database resources of the National Center for Biotechnology Information. *Nucleic Acids Research*, 46(D1), D8–D13. <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1095>
- Aggrawal, N., & Arora, A. (2017). Visualization, analysis and structural pattern infusion of DBLP co-Authorship network using Gephi. *Proceedings on 2016 2nd International Conference on Next Generation Computing Technologies, NGCT 2016, October*, 494–500. <https://doi.org/10.1109/NGCT.2016.7877466>
- Aguirre-Pitol, M.; Leal-Arriola, M.; Martínez-Domínguez, N. (2013). Laboratorio de Cienciometría Redalyc-Fractal. *Laboratorio de Cienciometria Redalyc-Fractal*. [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/571/AnalisisComparativoScieloRedalyc\\_Aguirre\\_Leal.pdf?sequence=3&isAllowed=y%0Ahttp://redalycfractal.org/](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/571/AnalisisComparativoScieloRedalyc_Aguirre_Leal.pdf?sequence=3&isAllowed=y%0Ahttp://redalycfractal.org/)
- Aldaya, M. M., Allan, J. A., & Hoekstra, A. Y. (2010). Strategic importance of green water in international crop trade. *Ecological Economics*, 69(4), 887–894. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.001>
- Ali, S., Ganai, B. A., Kamili, A. N., Bhat, A. A., Mir, Z. A., Bhat, J. A., Tyagi, A., Islam, S. T., Mushtaq, M., Yadav, P., Rawat, S., & Grover, A. (2018). Pathogenesis-related

proteins and peptides as promising tools for engineering plants with multiple stress tolerance. *Microbiological Research*, 212–213(April), 29–37.

<https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.04.008>

Altúzar, A. (2008). Efecto del ácido salicílico y del jasmonato de metilo en la vía de transducción de señales a través de fosfolípidos en células en suspensión de *Capsicum chinense* Jacq. *Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.*, 1–74.

Alvarez, M. V., Ponce, A. G., & Moreira, M. del R. (2013). Antimicrobial efficiency of chitosan coating enriched with bioactive compounds to improve the safety of fresh cut broccoli. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 78–87.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.021>

Amat, C. B. (2014). Análisis y visualización de redes con Gephi. *Redes. Revista Hispana Para El Análisis de Redes Sociales*, 25(1), 201–209.

<http://revistes.uab.cat/redes/article/view/v25-n1-benito>

Aragón, I. (1995). *Análisis bibliométrico de la producción científica española en la inmunología. periodo 1980-1992.*

<http://biblioteca.ucm.es/tesis/19911996/X/3/X3023101.pdf>

Ardanuy, J. (2012). Breve introducción a la bibliometría. *Universitat de Barcelona*, 63.

<https://doi.org/10.1038/nmat3485>

Arora, N. K., Mehnaz, S., & Balestrini, R. (2016). Preface. In *Bioformulations: For Sustainable Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2779-3>

Backer, R., Naidoo, S., & van den Berg, N. (2019). The NONEXPRESSOR OF PATHOGENESIS-RELATED GENES 1 (NPR1) and related family: Mechanistic insights in plant disease resistance. *Frontiers in Plant Science*, 10(February), 1–21.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00102>

- Bari, R., & Jones, J. D. G. (2009). Role of plant hormones in plant defence responses. *Plant Molecular Biology*, 69(4), 473–488. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9435-0>
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks. BT - International AAAI Conference on Weblogs and Social. *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 361–362.
- Bektas, Y., & Eulgem, T. (2015). Synthetic plant defense elicitors. *Frontiers in Plant Science*, 5(JAN), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00804>
- Belter, C. W. (2015). Bibliometric indicators: Opportunities and limits. *Journal of the Medical Library Association*, 103(4), 219–221. <https://doi.org/10.3163/1536-5050.103.4.014>
- Benhamou, N. (1996). Elicitor-induced plant defence pathways. *Trends in Plant Science*, 1(7), 233–240. [https://doi.org/10.1016/1360-1385\(96\)86901-9](https://doi.org/10.1016/1360-1385(96)86901-9)
- Benhamou, N., & Thériault, G. (1992). Treatment with chitosan enhances resistance of tomato plants to the crown and root rot pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 41(1), 33–52. [https://doi.org/10.1016/0885-5765\(92\)90047-Y](https://doi.org/10.1016/0885-5765(92)90047-Y)
- Bojo, C., Fraga Medín, C., Hernández Villegas, S., & Primo Peña, E. (2009). [SciELO: A cooperative project for the dissemination of science]. *Revista Espanola de Sanidad Penitenciaria*, 11(2), 49–56. <https://doi.org/10.4321/S1575-06202009000200004>
- Borad, V., & Sriram, S. (2014). Pathogenesis-Related Proteins for the Plant Protection Pathogenesis-Related Proteins for the Plant Protection. *Asian Journal of*

*Experimental Sciences*, 22(June), 189–196.

- Bordons, M., & Ángeles Zulueta, M. . (1999). Evaluación de la actividad científica a través de indicadores bibliométricos. *Revista Española de Cardiología*, 52(10), 790–800. [https://doi.org/10.1016/s0300-8932\(99\)75008-6](https://doi.org/10.1016/s0300-8932(99)75008-6)
- Breen, S., Williams, S. J., Outram, M., Kobe, B., & Solomon, P. S. (2017). Emerging Insights into the Functions of Pathogenesis-Related Protein 1. *Trends in Plant Science*, 22(10), 871–879. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.06.013>
- Burke, R. J., & Ng, E. (2006). The changing nature of work and organizations: Implications for human resource management. *Human Resource Management Review*, 16(2), 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2006.03.006>
- Burnham, J. F. (2006). Scopus database: A review. *Biomedical Digital Libraries*, 3, 1–9. <https://doi.org/10.1186/1742-5581-3-1>
- Cabezas R., A. E. (2013). Diseño de un Plan de Comunicación Estratégico para el Posicionamiento a Nivel Nacional del Proyecto Yachay de la SENESCYT. *Universidad Central Del Ecuador*, 1–158. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1362/1/T-UCE-0009-65.pdf>
- Canese, K., & Weis, S. (2013). PubMed: The bibliographic database. *The NCBI Handbook*, 13–24. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK153385/>
- Chandrashekar, N., Ali, S., & Grover, A. (2018). Exploring expression patterns of PR-1, PR-2, PR-3, and PR-12 like genes in *Arabidopsis thaliana* upon *Alternaria brassicae* inoculation. *3 Biotech*, 8(5), 0. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1259-2>
- Chaturvedi, R., & Shah, J. (2007). Salicylic acid in plant disease resistance. *Salicylic Acid: A Plant Hormone, Figure 1*, 335–370. [https://doi.org/10.1007/1-4020-5184-0\\_12](https://doi.org/10.1007/1-4020-5184-0_12)

- Chen, Z., Zheng, Z., Huang, J., Lai, Z., & Fan, B. (2009). Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 4(6), 493–496.  
<https://doi.org/10.4161/psb.4.6.8392>
- Choudhary, D. K., & Johri, B. N. (2009). Interactions of *Bacillus* spp. and plants - With special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiological Research*, 164(5), 493–513. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2008.08.007>
- Choudhary, D. K., Prakash, A., & Johri, B. N. (2007). Induced systemic resistance (ISR) in plants: Mechanism of action. *Indian Journal of Microbiology*, 47(4), 289–297.  
<https://doi.org/10.1007/s12088-007-0054-2>
- Conrath, U. (2006). Systemic acquired resistance. *Plant Signaling and Behavior*, 1(4), 179–184. <https://doi.org/10.4161/psb.1.4.3221>
- Datta, S., & Subbaratnam, M. (1999). *P Athogenesis -R Elated P Roteins*.
- De Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Vargas-Quesada, B., Corera-Álvarez, E., Muñoz-Fernández, F. J., González-Molina, A., & Herrero-Solana, V. (2007). Coverage analysis of Scopus: A journal metric approach. *Scientometrics*, 73(1), 53–78. <https://doi.org/10.1007/s11192-007-1681-4>
- Debackere, K., Verbeek, A., Luwel, M., & Zimmermann, E. (2002). Measuring progress and evolution in science and technology - II: The multiple uses of technometric indicators. *International Journal of Management Reviews*, 4(3), 213–231.  
<https://doi.org/10.1111/1468-2370.00085>
- Dempsey, D. A., Vlot, A. C., Wildermuth, M. C., & Klessig, D. F. (2011). Salicylic Acid Biosynthesis and Metabolism. *The Arabidopsis Book*, 9, e0156.  
<https://doi.org/10.1199/tab.0156>
- Dodds, P. N., & Rathjen, J. P. (2010). Plant immunity: Towards an integrated view of

- plant- pathogen interactions. *Nature Reviews Genetics*, 11(8), 539–548.  
<https://doi.org/10.1038/nrg2812>
- Dong, X. (2004). NPR1, all things considered. *Current Opinion in Plant Biology*, 7(5), 547–552. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.07.005>
- Durner, J., Shah, J., & Klessig, D. F. (1997). Salicylic acid and disease resistance in plants. *Trends in Plant Science*, 2(7), 266–274. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)86349-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)86349-2)
- Ebel, J., & Cosio, E. G. (1994). Elicitors of Plant Defense Responses. *International Review of Cytology*, 148(C), 1–36. [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(08\)62404-3](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(08)62404-3)
- Ebrahim, S., Usha, K., & Singh, B. (2011). Pathogenesis-related (PR)-proteins: Chitinase and  $\beta$ -1,3-glucanase in defense mechanism against malformation in mango (*Mangifera indica* L.). *Scientia Horticulturae*, 130(4), 847–852.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.09.014>
- Ellegaard, O. (2019). The application of bibliometric analysis : disciplinary and user aspects University of Southern Denmark The application of bibliometric analysis : disciplinary and user aspects. *Scientometrics*, 1(May 2018), 181–202.  
<https://doi.org/10.1007/s11192-018-2765-z>
- Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production : How great is the impact ? *Scientometrics*, 105(3), 1809–1831.  
<https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>
- Enyedi, A. J., Yalpani, N., Silverman, P., & Raskin, I. (1992). Signal molecules in systemic plant resistance to pathogens and pests. *Cell*, 70(6), 879–886.  
[https://doi.org/10.1016/0092-8674\(92\)90239-9](https://doi.org/10.1016/0092-8674(92)90239-9)
- Fajardo, J. L. C. (2016). Revistas Científicas Ecuatorianas De Arquitectura En Bases De

Datos Internacionales. *Tsantsa. Revista de Investigaciones Artísticas*, 4(4).

<https://1findr.1science.com/api/resolver/?id=f90664d8068570d8e54a8f1e75447175d6c0a226>

Ferreira, R. B., Monteiro, S., Freitas, R., Santos, C. N., Chen, Z., Batista, L. M., Duarte, J., Borges, A., & Teixeira, A. R. (2007). The role of plant defence proteins in fungal pathogenesis. *Molecular Plant Pathology*, 8(5), 677–700.

<https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00419.x>

Forget, G. (1991). Pesticides and the third world. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 32(1), 11–31. <https://doi.org/10.1080/15287399109531462>

Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T. A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoef, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., & Poincelot, R. (2003). Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3), 99–118.

[https://doi.org/10.1300/J064v22n03\\_10](https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10)

Fravel, D., Olivain, C., & Alabouvette, C. (2003). *Fusarium oxysporum* and its biocontrol. *New Phytologist*, 157(3), 493–502. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00700.x>

Gaffney, T., Friedrich, L., Vernooij, B., Negrotto, D., Nye, G., Uknes, S., Ward, E., Kessmann, H., & Ryals, J. (1993). Requirement of salicylic acid for the induction of systemic acquired resistance. *Science*, 261(5122), 754–756.

<https://doi.org/10.1126/science.261.5122.754>

Gaitán-Angulo, M., Cubillos Díaz, J., Vilorio, A., Lis-Gutiérrez, J. P., & Rodríguez-Garnica, P. A. (2018). Bibliometric analysis of social innovation and complexity (databases scopus and dialnet 2007–2017). In *Lecture Notes in Computer Science*

(including subseries *Lecture Notes in Artificial Intelligence* and *Lecture Notes in Bioinformatics*): Vol. 10943 LNCS. Springer International Publishing.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-93803-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93803-5_3)

Gao, C., Sun, M., Geng, Y., Wu, R., & Chen, W. (2016). A bibliometric analysis based review on wind power price. *Applied Energy*, 182(301), 602–612.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.144>

Gao, Q. M., Zhu, S., Kachroo, P., & Kachroo, A. (2015). Signal regulators of systemic acquired resistance. *Frontiers in Plant Science*, 6(APR), 1–12.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00228>

Garcia-Gomez, A., Bernal, M. P., & Roig, A. (2002). Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. *Bioresource Technology*, 83(2), 81–

87. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00211-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00211-5)

Gavel, Y., & Iselid, L. (2008). Web of Science and Scopus: A journal title overlap study. *Online Information Review*, 32(1), 8–21.

<https://doi.org/10.1108/14684520810865958>

Gisbert, J. P., & Panés, J. (2009). Publicación científica, indicadores bibliométricos e índice h de Hirsch. *Gastroenterología y Hepatología*, 32(3), 140–149.

<https://doi.org/10.1016/j.gastrohep.2008.09.024>

Golshani, F., Fakheri, B. A., Behshad, E., & Vashvaei, R. M. (2015). PRs proteins and their Mechanism in Plants. *Biological Forum*, 7(1), 477–495.

Gorjanović, S. (2009). A Review : Biological and Technological Functions of Barley Seed Pathogenesis- Related Proteins ( PRs ). *Journal of the Institute of Brewing*, 115(4), 134–160.

Grandjean, M. (2015). GEPHI: Introduction to network analysis and visualization.



Retrieved January, 22, 2016.

- Guédon, J.-C. (2019). Plataformas (como Redalyc), revistas, libros y artículos digitales. ¿Cómo abrir el campo de cuestiones científicas sin quedar atrapado por una lógica comercial? *Palabra Clave (La Plata)*, 8(2), e064.  
<https://doi.org/10.24215/18539912e064>
- Gusenbauer, M. (2019). Google Scholar to overshadow them all ? Comparing the sizes of 12 academic search engines and bibliographic databases. In *Scientometrics* (Vol. 118, Issue 1). Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/s11192-018-2958-5>
- Guz, A. N. (2006). On the evolution of the scientific information environment. *International Applied Mechanics*, 42(11), 1203–1222.  
<https://doi.org/10.1007/s10778-006-0192-y>
- Guz, A. N., & Rushchitsky, J. J. (2009). Scopus: A system for the evaluation of scientific journals. *International Applied Mechanics*, 45(4), 351–362.  
<https://doi.org/10.1007/s10778-009-0189-4>
- Hadwiger, L. A. (2013). Plant science review: Multiple effects of chitosan on plant systems: Solid science or hype. *Plant Science*, 208, 42–49.  
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.03.007>
- Han, G. Z. (2007). Origin and evolution of the plant immune system. *New Phytologist*, 222(1), 70–83. <https://doi.org/10.1111/nph.15596>
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>
- Heil, M., Ibarra-Laclette, E., Adame-Álvarez, R. M., Martínez, O., Ramírez-Chávez, E.,

- Molina-Torres, J., & Herrera-Estrella, L. (2012). How plants sense wounds: Damaged-self recognition is based on plant-derived elicitors and induces octadecanoid signaling. *PLoS ONE*, 7(2).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030537>
- Herlihy, M. (2008). Rhizosphere. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 2002, 608.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6\\_182111](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_182111)
- Hidangmayum, A., Dwivedi, P., Katiyar, D., & Hemantaranjan, A. (2019). Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(2), 313–326. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0633-1>
- Hong, J. K., & Hwang, B. K. (2002). Temporal and subcellular localization of PR-1 proteins in tomato stem tissues infected by virulent and avirulent isolates of *Phytophthora capsici*. *Protoplasma*, 219(3–4), 131–139.  
<https://doi.org/10.1007/s007090200014>
- Hu, Y., Luo, Z., Chapman, C. A., Pimm, S. L., Turvey, S. T., Lawes, M. J., Peres, C. A., Lee, T. M., & Fan, P. (2019). Regional scientific research benefits threatened-species conservation. *National Science Review*, 6(6), 1076–1079.  
<https://doi.org/10.1093/nsr/nwz090>
- Huang, H., Liu, B., Liu, L., & Song, S. (2017). Jasmonate action in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 68(6), 1349–1359.  
<https://doi.org/10.1093/jxb/erw495>
- Idnurm, A., & Howlett, B. J. (2001). Pathogenicity genes of phytopathogenic fungi. *Molecular Plant Pathology*, 2(4), 241–255. <https://doi.org/10.1046/j.1464-6722.2001.00070.x>

- Jamiołkowska, A. (2020). Natural compounds as elicitors of plant resistance against diseases and new biocontrol strategies. *Agronomy*, 10(2).  
<https://doi.org/10.3390/agronomy10020173>
- Jia, X., Qin, H., Bose, S. K., Liu, T., He, J., Xie, S., Ye, M., & Yin, H. (2020). Proteomics analysis reveals the defense priming effect of chitosan oligosaccharides in Arabidopsis-Pst DC3000 interaction. *Plant Physiology and Biochemistry*, 149(August 2019), 301–312. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.01.037>
- Katiyar, D., Hemantaranjan, A., & Singh, B. (2015). Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(1). <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0139-6>
- Kitajima, S., & Sato, F. (1999). Plant pathogenesis-related proteins: Molecular mechanisms of gene expression and protein function. *Journal of Biochemistry*, 125(1), 1–8. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a022244>
- Klimenko, O., Castro Gutiérrez, E., Vargas, H., Chima Guerrero, M., & Zapata Sierra, P. (2017). Funciones ejecutivas en los adolescentes farmacodependientes de 12 a 16 años en diferentes fases del proceso de rehabilitación. *Katharsis*, 0(24), 3–22.  
<https://doi.org/10.25057/25005731.963>
- Laerte, A. (1998). *SciELO : uma metodologia para publicação eletrônica* \*. 109–121.
- Lárez Velásquez, C. (2008). Some potentialities of chitin and chitosan for uses related to agriculture in Latin America. *Revista Científica UDO Agrícola*, 8(1), 1–22.
- Larkin, R. P., & Fravel, D. R. (1998). Efficacy of various fungal and bacterial biocontrol organisms for control of fusarium wilt of tomato. *Plant Disease*, 82(9), 1022–1028.  
<https://doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.9.1022>
- Lefevre, H., Bauters, L., & Gheysen, G. (2020). Salicylic Acid Biosynthesis in Plants.

- Frontiers in Plant Science*, 11(April), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00338>
- M. G. Hahn. (1996). Microbial elicitors and their receptors in plants. *Annual Review of Phytopathology*, 34(30), 387–412.
- Machado Jr., C., de Souza, M. T. S., Parisotto, I. R. dos S., & Palmisano, A. (2016). The laws of bibliometrics in different scientific databases/As leis da bibliometria em diferentes bases de dados científicos. *Revista de Ciências Da Administração*, 8(44), 111.
- Malamy, J., & Klessig, D. F. (1992). Salicylic acid and plant disease resistance. *The Plant Journal*, 2(5), 643–654. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.1992.tb00133.x>
- Malerba, M., & Cerana, R. (2016). Chitosan effects on plant systems. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(7), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijms17070996>
- Mandal, S., Mallick, N., & Mitra, A. (2009). Salicylic acid-induced resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(7), 642–649. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.03.001>
- Martín, I., Pestana, A., & Pulgarín, A. (2007). Lei de lotka aplicada à produção científica da área de ciência da informação. *Brazilian Journal of Information Science*, 2(1), 16–32.
- Mateo, F. (2015). Producción científica en español en humanidades y ciencias sociales. Algunas propuestas desde Dialnet. *El Profesional de La Información*, 24(5), 509. <https://doi.org/10.3145/epi.2015.sep.01>
- McFadden, H. G., Chapple, R., De Feyter, R., & Dennis, E. (2001). Expression of pathogenesis-related genes in cotton stems in response to infection by *Verticillium dahliae*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 58, 119–131. <https://doi.org/10.1006/pmpp.2001.0320>

- McGovern, R. J. (2015). Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Protection*, 73, 78–92.  
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.021>
- Mendoza, S., & Paravic, T. (2006). *Disponible en:*  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65821103>.
- Michán, L. (2011). Bibliometric analysis of systematics production in Latin America. *Acta Biologica Colombiana*, 16(2), 33–46.
- Motschall, E., & Falck-Ytter, Y. (2005). Searching the Medline literature database through PubMed: A short guide. *Onkologie*, 28(10), 517–522.  
<https://doi.org/10.1159/000087186>
- Murphy, R. C., & Stevens, S. E. (1992). Cloning and Expression of the cryIVD Gene of *Bacillus thuringiensis* subsp . israelensis in the Cyanobacterium *Agmenellum quadruplicatum* PR-6 and Its Resulting Larvicidal Activity. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(5), 1650–1655.
- Neelamma, G., & Gavisiddappa, A. (2016). Application of Bradfords law in the field of botany literature from 2005 to 2014: A citation analysis. *International Journal of Library and Information Science*, 8(5), 36–47. <https://doi.org/10.5897/ijlis2016.0661>
- Newman, M. A., Sundelin, T., Nielsen, J. T., & Erbs, G. (2013). MAMP (microbe-associated molecular pattern) triggered immunity in plants. *Frontiers in Plant Science*, 4(MAY), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00139>
- Niderman, T., Bruyère, T., Gees, R., Stintzi, A., Legrand, M., Fritig, B., Mosinger, E., Ag, S. A., & Witterswill, C. H. (1995). Pathogenesis-Related PR-1 Proteins Are Antifungal. *Plant Physiology*, 108, 17–27.
- Nürnbergger, T., & Kemmerling, B. (2009). Pathogen-Associated Molecular Patterns

- (PAMP) and PAMP-Triggered Immunity. In *Annual Plant Reviews online* (Vol. 34).  
<https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0362>
- Odjakova, M., & Hadjiivanova, C. (2001). Review the complexity of pathogen defense in plants. *Signal Transduction*, 27(November 2000), 101–109.
- OECD (2011). OECD Science, Technology and Innovation Scoreboard. Recuperado en marzo del 2021 de: <https://www.oecd.org/sti/scoreboard.htm>
- Okubo, Y. (1997). *Bibliometric Indicators and Analysis of Research Systems METHODS AND EXAMPLES*. <https://doi.org/10.1787/208277770603>
- Packer, A. L. (2009). *The SciELO Open Access: a gold way from the south | Abel L Packer - Academia.edu*. 111–126.  
[http://www.academia.edu/2505151/The\\_SciELO\\_Open\\_Access\\_a\\_gold\\_way\\_from\\_the\\_south](http://www.academia.edu/2505151/The_SciELO_Open_Access_a_gold_way_from_the_south)
- Palmatier, R. W., Houston, M. B., & Hulland, J. (2018). Review articles: purpose, process, and structure. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 46(1), 1–5.  
<https://doi.org/10.1007/s11747-017-0563-4>
- Park, C., Korea, S., & Ahn, I. (2004). Molecular characterization of a pathogenesis-related protein 8 gene encoding a class III chitinase in rice. *Molecules and Cells*, 17(May 2014), 144–150.
- Patel, H., & Krishnamurthy, R. (2013). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry Elicitors in Plant Tissue Culture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(2), 60–65.
- Patra, S. K., Bhattacharya, P., & Verma, N. (2006). Bibliometric Study of Literature on Bibliometrics. *DESIDOC Bulletin of Information Technology*, 26(1), 27–32.

<https://doi.org/10.14429/dbit.26.1.3672>

- Peralta González, M. J., Maylín, I., Guzmán, F., Orlando, I., & Chaviano li, G. (2015). *Criterios, clasificaciones y tendencias de los indicadores bibliométricos en la evaluación de la ciencia* *Criteria, classifications and tendencies of bibliometric indicators in the evaluation of the science*. 26(3), 290–309. <http://scielo.sld.cu>
- Pérez-Llantada, C. (2012). *Scientific discourse and the rhetoric of globalization*. London:Continuum.
- Ponomariov, B., & Boardman, C. (2016). What is co-authorship? *Scientometrics*, 109(3), 1939–1963. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2127-7>
- Pulgarín, A. (2012). Dependence of Lotka ' s law parameters on the scientific area. *Malaysian Journal of Library & Information Science*, 17(1), 41–50.
- Punja, Z. K. and S. K. R. (1996). *PlantDisease80n09\_999.PDF*.
- Ramirez-Estrada, K., Vidal-Limon, H., Hidalgo, D., Moyano, E., Golenioswki, M., Cusidó, R. M., & Palazon, J. (2016). Elicitation, an effective strategy for the biotechnological production of bioactive high-added value compounds in plant cell factories. *Molecules*, 21(2). <https://doi.org/10.3390/molecules21020182>
- Ray, K. (2012). English of science or scientific English? *Nature Publishing Group*, 13(4), 290. <https://doi.org/10.1038/embor.2012.28>
- Raza, A., Charagh, S., Zahid, Z., Mubarik, M. S., Javed, R., Siddiqui, M. H., & Hasanuzzaman, M. (2020). Jasmonic acid: a key frontier in conferring abiotic stress tolerance in plants. *Plant Cell Reports*. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02614-z>
- Reymond, P., & Farmer, E. E. (1998). Jasmonate and salicylate as global signals for defense gene expression. *Current Opinion in Plant Biology*, 1(5), 404–411.

[https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(98\)80264-1](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(98)80264-1)

- Riggio-Olivares, G. (2017). Indicadores bibliométricos de la actividad científica de la República Dominicana. In *(Tesis doctoral) Programa Oficial de Doctorado en Documentación. Universidad Carlos III de Madrid, España*. <https://doi.org/DOI:10.13140/RG.2.2.14126.41287>
- Rodríguez, S. M. (2011). Ecología de poblaciones aplicada al manejo de fauna silvestre: cuatro conceptos (N,  $\lambda$ , MSY, Pe). In *Instituto Literario de Veracruz S. C.* (Issue January 2011).
- Romaní, F., Huamaní, C., & González-Alcaide, G. (2011). ESTUDIOS BIBLIOMÉTRICOS COMO LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN LAS CIENCIAS BIOMÉDICAS : UNA APROXIMACIÓN PARA EL PREGRADO. *CIMEL*, 16(1), 52–62.
- Ruan, J., Zhou, Y., Zhou, M., Yan, J., Khurshid, M., Weng, W., Cheng, J., & Zhang, K. (2019). Jasmonic acid signaling pathway in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(10). <https://doi.org/10.3390/ijms20102479>
- Sancho, R., & others. (1990). Indicadores bibliométricos utilizados en la evaluación de la ciencia y la tecnología. Revisión bibliográfica. *Revista Española de Documentación Científica*, 13(3–4), 3–4.
- Schenk, M. F., Cordewener, J. H. G., America, A. H. P., Pc, W., Westende, V., Smulders, M. J. M., & Gilissen, L. J. W. J. (2009). Characterization of PR-10 genes from eight *Betula* species and detection of Bet v 1 isoforms in birch pollen. *Plant Biology*, 10, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-9-24>



- Secretaría Nacional de Educación Superior Ciencia, Tecnología e Innovación  
(Senescyt). Sistema Nacional de Nivelación y Admisión. 2011. Recuperado en marzo del 2020 de: <https://siau.senescyt.gob.ec/>
- Sels, J., Mathys, J., De Coninck, B. M. A., Cammue, B. P. A., & De Bolle, M. F. C. (2008). Plant pathogenesis-related (PR) proteins: A focus on PR peptides. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46(11), 941–950.  
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.06.011>
- Sembay, M., Luiz Pinto, A., De Macedo, D. D. J., & Moreira-González, J. A. (2020). Aplicação da Lei de Bradford a pesquisas relacionadas a Open Government. *Anales de Documentación*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.6018/analesdoc.326771>
- Shekofteh, M., & Rahimi, F. (2016). Co-authorship patterns and networks in the scientific publications of Shahid Beheshti University of Medical Sciences. *Journal of Paramedical Sciences*, 8(1), 7–16. <https://doi.org/10.22037/jps.v8i1.12101>
- Shenton, A. K., & Hay-Gibson, N. V. (2009). Bradford's Law and its relevance to researchers. *Education for Information*, 27(4), 217–230. <https://doi.org/10.3233/EFI-2009-0882>
- Singh, A., Gairola, K., Upadhyay, V., & Kumar, J. (2018). Chitosan: An elicitor and antimicrobial Bio-resource in plant protection. *Agricultural Reviews*, 39(00), 163–168. <https://doi.org/10.18805/ag.r-1723>
- Skadsen, R. W., Sathish, P., & Kaeppler, H. F. (2000). Expression of thaumatin-like permatin PR-5 genes switches from the ovary wall to the aleurone in developing barley and oat seeds. *Plant Science*, 156, 11–22.
- Soleymani, F., Taheri, H., & Shafeinia, A. R. (2017). Relative expression of genes of menthol biosynthesis pathway in peppermint (*Mentha piperita* L.) after chitosan,

- gibberellic acid and methyl jasmonate treatments. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64(1), 59–66. <https://doi.org/10.1134/S1021443717010150>
- Spoel, S. H., & Dong, X. (2012). How do plants achieve immunity? Defence without specialized immune cells. *Nature Reviews Immunology*, 12(2), 89–100. <https://doi.org/10.1038/nri3141>
- Stuiver, M., & Custers, J. (2001). Disease Resistance in Plants. *New Phytologist*, 27(2), 85–97. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1928.tb06733.x>
- Sudisha, J., Sharathchandra, R. G., Amruthesh, K. N., Kumar, A., & Shetty, H. S. (2012). Pathogenesis related proteins in plant defense response. *Plant Defence: Biological Control, December 2014*, 379–403. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1933-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1933-0_17)
- Thompson, D. F., & Walker, C. K. (2015). A descriptive and historical review of bibliometrics with applications to medical sciences. *Pharmacotherapy*, 35(6), 551–559. <https://doi.org/10.1002/phar.1586>
- Tomás-górriz, V., & Tomás-casterá, V. (2018). *La Bibliometría en la evaluación de la actividad científica Bibliometrics in the evaluation of scientific activity*. 2(4), 145–163.
- Tornero, P., Gadea, J., Conejero, V., & Vera, P. (1997). Two PR-1 Genes from Tomato Are Differentially Regulated and Reveal a Novel Mode of Expression for a Pathogenesis-Related Gene During the Hypersensitive Response and Development. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 10(5), 624–634.
- Tripathi, D., Raikhy, G., & Kumar, D. (2019). Chemical elicitors of systemic acquired resistance—Salicylic acid and its functional analogs. *Current Plant Biology*, 17(March), 48–59. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.03.002>
- Turner, J., Ellis, C., & Devoto, A. (2002). The Jasmonate pathway. *Science*, 296(5573),

1649–1650. <https://doi.org/10.1126/science.1071547>

Urbizagástegui, R. (2002). A Lei de Lotka na bibliometria brasileira. *Ci. Inf., Brasília*, 31(2), 14–20.

Valérie, D., & Pierre, A. G. (2010). Bibliometric indicators: Quality measurements of scientific publication. *Radiology*, 255(2), 342–351.  
<https://doi.org/10.1148/radiol.09090626>

Van Leeuwen, T. N., & Moed, H. F. (2005). Characteristics of journal impact factors: The effects of uncitedness and citation distribution on the understanding of journal impact factors. *Scientometrics*, 63(2), 357–371. <https://doi.org/10.1007/s11192-005-0217-z>

Van Loon, L. C. (1997). Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins. *European Journal of Plant Pathology*, 103(9), 753–765.  
<https://doi.org/10.1023/A:1008638109140>

Van Loon, L. C., Rep, M., & Pieterse, C. M. J. (2006). Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. *Annual Review of Phytopathology*, 44, 135–162.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143425>

van Raan, A. (2009). Measurement : Interdisciplinary Research and Perspectives For Your Citations Only ? Hot Topics in Bibliometric Analysis. *Interdisciplinary Research and Perspectives*, 3(October 2014), 37–41.  
<https://doi.org/10.1207/s15366359mea0301>

Velasco, B., Eiros Bouza, J. M., Pinilla, J. M., & San Román, J. A. (2012). The use of bibliometric indicators in research performance assessment. *Aula Abierta*, 40(2), 75–84.  
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3920967&info=resumen&idioma=E>

NG

- Veluthakkal, R., & Ghosh, M. (2010). Pathogenesis-related genes and proteins in forest tree species. *Trees*, 993–1006. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0489-7>
- Vidhyasekaran, P. (2008). Disease Resistance and Susceptibility Genes in Signal Perception and Emission. *Fungal Pathogenesis in Plants and Crops*, 217–266. <https://doi.org/10.1201/9781420021035-6>
- Vieira, E. S., & Gomes, J. A. N. F. (2009). A comparison of Scopus and Web of science for a typical university. *Scientometrics*, 81(2), 587–600. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-2178-0>
- Vilasinee, S., Toanuna, C., McGovern, R. J., & Nalumpang, S. (2019). Expression of pathogenesis-related (PR) genes in tomato against Fusarium wilt by challenge inoculation with Streptomyces NSP3. *International Journal of Agricultural Technology*, 15(1), 157–170.
- Vinod, K., & Sabah, A. (2018). Plant defense against pathogens: The role of salicylic acid. *Research Journal of Biotechnology*, 13(12), 97–103.
- Walters, W. H. (2015). *Databases*. 11(4), 971–1006. <https://doi.org/10.1353/pla.2011.0042>
- Wang, J., Song, L., Gong, X., Xu, J., & Li, M. (2020). Functions of jasmonic acid in plant regulation and response to abiotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4). <https://doi.org/10.3390/ijms21041446>
- Wang, X., Hadrami, A. El, Adam, L. R., & Daayf, F. (2005). Genes encoding pathogenesis-related proteins PR-2 , PR-3 and PR-9 , are differentially regulated in potato leaves inoculated with isolates from US-1 and US-8 genotypes of *Phytophthora infestans* ( Mont .) de Bary. *Physiological and Molecular Plant*

*Pathology*, 67, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2005.09.009>

Yamaguchi, Y., & Huffaker, A. (2011). Endogenous peptide elicitors in higher plants.

*Current Opinion in Plant Biology*, 14(4), 351–357.

<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.05.001>

Yin, H., Du, Y., & Dong, Z. (2016). Chitin oligosaccharide and chitosan oligosaccharide:

Two similar but different plant elicitors. *Frontiers in Plant Science*, 7(APR2016),

2014–2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00522>

Zanette, L., Doyle, P., & Trémont, S. M. (2000). Food shortage in small fragments:

Evidence from an area-sensitive passerine. *Ecology*, 81(6), 1654–1666.

[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[1654:FSISFE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[1654:FSISFE]2.0.CO;2)

Zhang, Y., Yan, H., Wei, X., Zhang, J., Wang, H., & Liu, D. (2017). Expression analysis

and functional characterization of a pathogen-induced thaumatin-like gene in wheat conferring enhanced resistance to *Puccinia triticina*. *Journal of Plant Interactions*,

12(1), 332–339. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1367042>

Zhou, Y. B., Lü, L., & Li, M. (2012). Quantifying the influence of scientists and their

publications: Distinguishing between prestige and popularity. *New Journal of*

*Physics*, 14, 1–18. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/14/3/033033>