

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Estrategias psicopedagógicas y bioinformáticas dirigidas al control
de la Roya en Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto Tecnológico presentado por:

Ana Laura Ramírez Portillo, Andrea Paola Abboud Muñoz, Gabriela Jiménez Ceballos,
Ircy Paola Estrada Martínez, y Valeska Magdaly Xot Ajcuc para optar al grado
académico de Licenciadas en Psicopedagogía; y Julio Antonio Ayala López para optar al
grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias de la Computación y
Tecnologías de la Información.

Guatemala,

2016

Estrategias psicopedagógicas y bioinformáticas dirigidas al control
de la Roya en Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Estrategias psicopedagógicas y bioinformáticas dirigidas al control
de la Roya en Guatemala

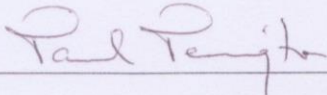
Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto Tecnológico presentado por:

Ana Laura Ramírez Portillo, Andrea Paola Abboud Muñoz, Gabriela Jiménez Ceballos,
Ircy Paola Estrada Martínez, y Valeska Magdaly Xot Ajcuc para optar al grado
académico de Licenciadas en Psicopedagogía; y Julio Antonio Ayala López para optar al
grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias de la Computación y
Tecnologías de la Información.

Guatemala,

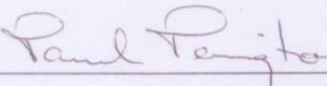
2016

Vo. Bo. :

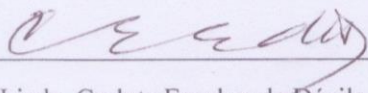
(f) 

Dra. Pamela Pennington
Asesora de Megaproyecto

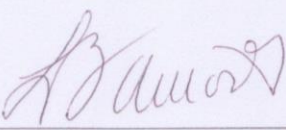
Tribunal Examinador:

(f) 

Dra. Pamela Pennington
Directora del Departamento de Bioquímica y Microbiología

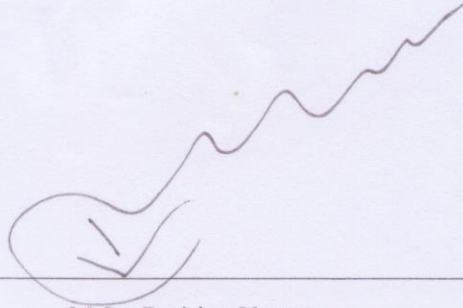
(f) 

Licda. Carlota Escobar de Dávila
Directora del Departamento de Psicopedagogía

(f) 

M.Sc. Douglas Barrios
Director del Departamento de Ingeniería en Ciencias de la
Computación y Tecnologías de la Información

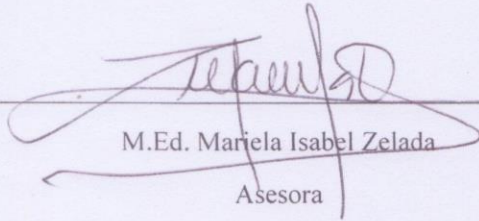
(f)

A handwritten signature in dark ink, consisting of a large, stylized initial 'R' followed by a series of connected, slightly irregular loops and a final upward stroke.

M.Sc. Rodrigo Vargas

Asesor

(f)

A handwritten signature in dark ink, featuring a large, stylized initial 'M' followed by several loops and a long horizontal stroke at the bottom.

M.Ed. Mariela Isabel Zelada

Asesora

Fecha de aprobación: Guatemala, 24 de noviembre de 2016

PREFACIO

La elaboración del presente Megaproyecto surgió del interés de profundizar sobre las causas y efectos que genera la Roya durante el proceso de producción del café desde el punto de vista psicopedagógico y bioinformático.

Durante el transcurso de nuestra formación mostramos especial interés en realizar investigaciones que permitiera el desarrollo de actividades psicopedagógicas y de bioinformática, a fin de disminuir la problemática que afecta a la sociedad guatemalteca.

En ese sentido, la justificación radica en precisar que la realización de actividades por parte de la población cafetalera en temas psicopedagógicos, así como de utilizar herramientas computacionales, les permitirá disminuir las causas que contribuyen a la propagación del hongo de la Roya en el café, mediante el desarrollo y aplicación de manuales, por una parte; y por la otra, la creación de fungicidas más efectivos contra el hongo de la Roya.

Así también al interés mostrado por la autoridades de la Universidad del Valle de Guatemala, de realizar Megaproyectos con la vinculación de estudiantes de más de una carrera, a fin de realizar estudios que permitieran detectar la problemática y proponer alternativas de solución a problemas sociales, desde el punto de vista de cada una de las carreras profesionales que cursamos, lo cual refleja el beneficio para todos, dado al intercambio de conocimientos que aportamos durante el desarrollo del Megaproyecto, el cual contempla objetivos prácticos y de beneficio a la población objeto de estudio.

Agradecemos a la Licenciada Mariela Zelada y la Doctora Pamela Pennington por sus asesorías y apoyo en la realización del presente Megaproyecto.

ÍNDICE

LISTADO DE CUADROS	viii
LISTADO DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. Objetivo general del Megaproyecto	2
B. Objetivos específicos.....	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Morfología del cafeto.....	4
B. Generalidades del café.....	8
C. El café en Guatemala.....	10
D. Utilización de fertilizantes	13
E. La Roya	18
F. Fungicidas.....	23
G. Control de la Roya en Guatemala	24
H. Uso de software para análisis y manipulación de información química y biológica.....	26
I. Enfoques de aprendizaje	29
J. Inteligencias Múltiples	30
V. MARCO METODOLÓGICO	36
A. Estrategias	36
B. Área psicopedagógica.....	37
C. Área bioinformática.....	41
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
A. Área psicopedagógica	44
B. Área bioinformática.....	54
VII. CONCLUSIONES	60
VIII. RECOMENDACIONES	61
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	63
X. ANEXOS.....	70
A. Secuencias de ADN de genes de proteínas secretadas por el hongo predichas por Talhinhos <i>et al.</i> (2014).....	70
B. Secuencias de aminoácidos para cuadros se lectura seleccionados	74
C. Relación entre sitio activo de MnSOD presente en <i>H. vastatrix</i> y ascaridol como ligando.....	76

D. Scripts utilizados	79
-----------------------------	----

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1: Exportación de café según destino.....	13
Cuadro 2: Épocas para aplicación de fertilizantes.....	17
Cuadro 3: Descripción de fungicidas utilizados en Guatemala según su tipo, nombre comercial, ingrediente activo y dosis por manzana.....	25
Cuadro 4: Genes de proteínas secretadas por el hongo de <i>H. vastatrix</i>	42
Cuadro 5: Genes encontrado en genoma parcial de <i>H. vastatrix</i> por medio del alineamiento de secuencias de ADN.....	54
Cuadro 6: Cuadros de lectura de mayor longitud para cada gen encontrado en genoma parcial de <i>H. vastatrix</i>	54
Cuadro 7: Indicadores de modelado por homología de MnSOD presente en <i>H. vastatrix</i>	55
Cuadro 8: Diez configuraciones con modos de ligado con mayor afinidad, resultado de acoplamiento entre MnSOD y ascaridol.....	56
Cuadro 9: Secuencia de ADN para gen Hv00303.....	70
Cuadro 10: Secuencia de ADN para gen Hv00357.....	71
Cuadro 11: Secuencia de ADN para gen Hv01043.....	71
Cuadro 12: Secuencia de ADN para gen Hv04304.....	72
Cuadro 13: Secuencia de ADN para gen Hv01506.....	72
Cuadro 14: Secuencia de ADN para gen Hv04456.....	73
Cuadro 15: Secuencia de ADN para gen Hv00297.....	73
Cuadro 16: Secuencia de ADN para gen Hv01268.....	74
Cuadro 17: Secuencia de aminoácidos para gen Hv01268 en cuadro de lectura 3, dirección 5'3'	74
Cuadro 18: Secuencia de aminoácidos para gen Hv00297 en cuadro de lectura 2, dirección 5'3'	74
Cuadro 19: Secuencia de aminoácidos para gen Hv00303 en cuadro de lectura 3, dirección 5'3'	75
Cuadro 20: Secuencia de aminoácidos para gen Hv00357 en cuadro de lectura 2, dirección 5'3'	75
Cuadro 21: Secuencia de aminoácidos para gen Hv00156 en cuadro de lectura 2, dirección 5'3'	75

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: La planta de café.....	4
Figura 2: La hoja del café.....	6
Figura 3: El fruto del café.....	6
Figura 4: Exportación de café según destino cosecha 2014-2015.....	10
Figura 5: Fertilización del café.....	14
Figura 6: Almacigo de doble postura con buen desarrollo de los dos ejes.....	15
Figura 7: Fertilizantes foliares.....	15
Figura 8: Fertilización del suelo de cafetales.....	16
Figura 9: Cómo ocurre el proceso epidémico de la Roya.	20
Figura 10: Programa de manejo integrado de cultivos: el caso de la Roya.....	21
Figura 11: Variedades híbridas de café derivadas del híbrido de Timor (HdT) utilizadas actualmente en Guatemala, CIFIC 832/1 (Catimores), CIFIC 832/2 (Sarchimores) y CIFIC 1343 (Colombia).....	26
Figura 12: Validación general por expertos actividad el Mapa Artístico.....	44
Figura 13: Validación general por expertos actividad el Mural Artístico del Café.....	45
Figura 14: Validación general por expertos actividad Globos Históricos.....	46
Figura 15: Validación general por expertos actividad Cafeto Pelotas.....	47
Figura 16: Validación general por expertos actividad Adivina Adivinanza.....	48
Figura 17: Validación general por expertos actividad Lotería de los Elementos.....	49
Figura 18: Validación general por expertos actividad Aprendiendo a Identificar.....	50
Figura 19: Validación general por expertos actividad La Roya en el Aire.....	51
Figura 20: Validación general por expertos actividad Se ha Perdido el Mensaje.....	52
Figura 21: Validación general por expertos actividad Todos a Equiparse.....	53
Figura 22: Captura de pantalla de modelo tridimensional de MnSOD presente en <i>H. vastatrix</i>	55

Figura 23: Gráfica de densidad para valores de referencia de QMEAN en acoplamiento de MnSOD con ascaridol.....	56
Figura 24: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 37 elemento 1.....	76
Figura 25: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 37 elemento 0.....	76
Figura 26: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 18 elemento 15.....	77
Figura 27: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 18 elemento 14.....	77
Figura 28: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 18 elemento 13.....	77
Figura 29: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 10 elemento 7.....	78
Figura 30: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 10 elemento 6.....	78
Figura 31: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 12 elemento 5.....	78
Figura 32: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 4 elemento 8.....	79
Figura 33: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 0 elemento 4.....	79
Figura 34: Script en Python para separar cóntigos en genoma parcial del hongo de la roya.....	79
Figura 35: Script en Java para separar alinear secuencias de ADN utilizando Jaligner.....	80

RESUMEN

La Universidad Valle de Guatemala desarrolla como modalidad de graduación megaproyectos, los cuales se desarrollan durante tres ciclos consecutivos con el objetivo de preparar a los participantes para poder desarrollar el tema y generar ideas innovadoras sobre la problemática.

El objetivo principal del Megaproyecto es dar diversas soluciones y propuestas a una problemática trascendental para el desarrollo del país a través del trabajo de campo incorporando especialidades multidisciplinarias.

En efecto, el Megaproyecto desarrollado, *Estrategias psicopedagógicas y bioinformáticas dirigidas al control de la Roya en Guatemala* fue propuesto y realizado por un equipo de cinco estudiantes de la licenciatura en Psicopedagogía y un estudiante de Ingeniería en computación; tras la preparación recibida durante tres ciclos.

Los daños de la Roya del café por el hongo *Hemileia vastatrix* daña el área foliar en el envés de las hojas del café, presentando un color oscuro que constituye la enfermedad prematura de las hojas. Esta enfermedad causa daños a la productividad del café arrastrando pérdidas a caficultores.

El Megaproyecto 1 fue realizado en el segundo ciclo del año 2015 con el objetivo de introducir el tema a través de clases, foros y conferencias dirigidas por expertos en áreas biológicas y de café.

El Megaproyecto 2 fue realizado en el primer ciclo del año 2016 con la finalidad de elegir y estudiar el contexto a trabajar e involucrarse para conocer las características, visión, misión y necesidades. Partiendo de esa información se tomó la decisión del tema y sus objetivos.

El Megaproyecto 3 está siendo realizado en el segundo ciclo del año 2016 con la finalidad de la ejecución del proyecto y así cumplir los objetivos propuestos.

A través de la introducción y la preparación para consolidar el tema, el área de psicopedagogía desarrolló un Manual de Actividades que consta de diez actividades que fueron expuestas a tres expertos: dos en área educativa y uno en área temática, a través de una lista de validación con veinte aspectos divididos en cuatro áreas (objetivo, contenido, aspectos generales y evaluación). Toda actividad que es parte del manual consolidado obtuvo una ponderación superior del 60%, los mejores resultados y menos cambios en estructura.

El área de bioinformática a través presenta un estudio de proteínas diana presentes en el hongo de la Roya del café (*Hemileia vastatrix*). Haciendo uso de distintas herramientas computacionales, tanto instaladas en una máquina local como en servidores web, se llevó a cabo el proceso de alineamiento de secuencias de ADN dentro del genoma parcial del hongo, la traducción de secuencias de ADN a cadenas de aminoácidos, el modelado de una proteína por medio del método de homología, y la evaluación de un posible ligando sobre una proteína.

I. INTRODUCCIÓN

La Universidad del Valle de Guatemala, como parte del p nsu m de estudios desarrolla como modalidad de graduación los Megaproyectos, lo cual tiene como objetivo que el estudiante, a través de la aplicación de los conocimientos adquiridos durante su formación profesional, pueda desarrollar el tema y generar ideas innovadoras sobre la problemática, mediante la realización de una investigación que contempla: una fase indagatoria mediante la cual se recaba información relacionada con el tema, a través de clases, foros y conferencias. Posteriormente se desarrolla la segunda fase, la cual consiste en el análisis y validación de información; así como la validación de actividades por tres expertos en el tema central. En la última fase se desarrollan y presentan las propuestas que contribuyen a dar solución de la problemática detectada.

Para esto, el Megaproyecto se desarrolló con base en las *Estrategias psicopedagógicas y bioinformáticas dirigidas al control de la Roya en Guatemala* el cual fue propuesto por un equipo de cinco estudiantes de la licenciatura en psicopedagogía y un estudiante de ingeniería en computación; tras la preparación recibida durante tres ciclos.

En ese sentido, el presente documento contiene en su primera parte lo correspondiente al Marco teórico que incluye lo relacionado con el contexto del café, como lo son su origen e historia en Guatemala; la Roya y sus efectos como causa principal de la producción y pérdida del café; el uso de un software para el análisis de información Química y Biológica del café; finalizando con los enfoques psicopedagógicos.

Seguido contiene un Marco metodológico durante el cual se desarrollaron las estrategias para la validación de la información y el análisis de resultado, finalizando con las conclusiones y recomendaciones.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general del Megaproyecto

Desarrollar estrategias multidisciplinarias dirigidas al control de la Roya del café con potencial de aplicación en una comunidad cafetalera en Guatemala

B. Objetivos específicos

1. Diseñar actividades educativas destinadas a prevenir la incidencia de Roya en una comunidad cafetalera de Fraijanes.
2. Elaborar un manual con actividades educativas seleccionadas, validadas por expertos en el área temática y educativa.
3. Identificar, por medio de bioinformática, una proteína del genoma parcial de *Hemileia Vastatrix* (agente causante de la Roya) como posible blanco para diseño de fungicidas.

III. JUSTIFICACIÓN

Un país que cuenta con aspectos naturales como suelo, altura y variedad climática, se puede pronosticar que cuenta con las condiciones adecuadas para el cultivo del café. Guatemala es un país beneficiado y productivo a nivel de cantidad como de calidad del grano del café, esto le ha permitido tener grande oportunidad en el mercado mundial.

Al ser el café uno de los principales productos de producción; es un fenómeno del cual dependen aproximadamente 1.9 millones de personas de manera directa. INFOCAFE (2011) especificó que Guatemala representa un porcentaje de exportación de café de 2.87% a nivel mundial, colocando al país en el puesto número 10 de exportación y en el puesto número 5 de los países con mayor producción de café a nivel latinoamericano. Guatemala es un país que se encuentra constantemente en búsqueda de vías de desarrollo y actividades económicas para ejecutar y explotar por lo que la calidad y la cantidad del café que produzcan genera beneficios a nivel personal, nacional y mundial

Los daños de la Roya del café producidos por el hongo *Hemileia vastatrix*, han sido desarrollos por ciertos factores como los cambios bruscos del clima y temperatura, la acumulación de humedad, el tiempo de la planta, el poco uso o la falta de fertilización, la sombra y la época de la cosecha. Estos daños según Anacafé han incrementado en los últimos años, generando pérdidas económicas de aproximadamente un 40% en la cosecha del 2011 al 2013.

La producción de café en Guatemala se ha caracteriza no por la cantidad de granos exportados sino por la calidad; sin embargo, la Roya ha afectado en producción y en economía, esto ha impulsado a las empresas a crear proyectos de soluciones en donde ciertos aspectos a tomar es el recorte de personal para poder elevar aspectos económicos. La comisión pastoral de movilidad humana de la conferencia Episcopal de Guatemala (PMH-CEG) con el apoyo de UNICEF (2013) desarrollaron un estudio en donde se concluyó que la pérdida de empleos causada por la falta de producción de café asciende a 115,000 desempleados.

El área de estudio de problemas de carácter químico y biológico por medio de herramientas computacionales es poco explorada en Guatemala, a pesar de ser un cada vez más utilizadas y necesarias a nivel mundial. Este trabajo busca, además, por medio de la documentación de los procesos realizados, dar una guía a otras personas del área computacional o bioquímica, para replicar éstos procesos, o utilizar ciertas bases para realizar procesos similares. Con esto se pretende familiarizar más a los especialistas de estas áreas para futuras investigaciones utilizando herramientas computacionales.

En efecto, el Megaproyecto se basa en la elaboración de estrategias psicopedagógicas y bioinformáticas con la finalidad de promover y generar información, prevención y control al respecto con la problemática generada por la Roya.

IV. MARCO TEÓRICO

Se refiere a los conceptos, leyes y categorías relacionadas con el estudio, los cuales se describen a continuación:

El origen de la planta del café proviene de Etiopía, según Goyri (1995) fue exportado a Arabia, Lejano Oriente y Europa. En 1740 se distribuyó en Puerto Rico y El Salvador por lo que diez años más tarde se distribuyó en Guatemala, las primeras plantas se sembraron en Bolivia, Panamá y Ecuador en 1784. Desde Guatemala y Cuba se exportaron plantas a Costa Rica en 1796 a 1798.

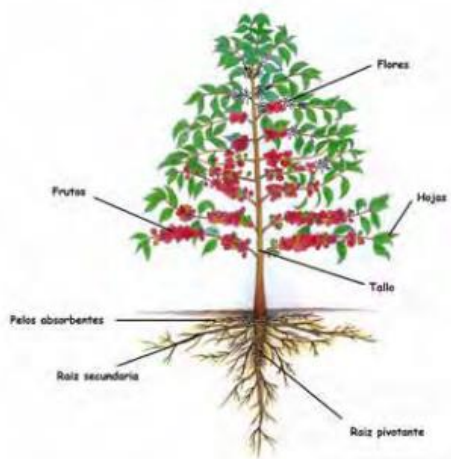
A. Morfología del cafeto

Según Anacafé (1998) el café es una planta vascular que produce un fruto, producido por arbustos de hoja perenne, tal fruto es tostado con el objetivo de realizar una bebida estimulante aromática.

1. Caracteres botánicos del café. El árbol del café pertenece del reino Plantae, familia Rubiáceas del género Coffea. Con más de 100 especies propias del género Coffea.

El grupo de rubiáceas, generaliza unos 500 géneros y más de 6.000 especies. Siendo la mayoría de ellos árboles arbustos y tropicales. Todas son leñosas desde arbustos de 5 a 10 metros de altura. La forma de sus hojas es elíptica, acabadas en punta por pares. Sus hojas son de diversos colores: verde lima, verde oscuro, bronce. (ICO, 2014; Waller, 2007). A continuación, se presenta la siguiente ilustración del árbol del café, y la morfología de la planta.

Figura 1: La planta de café.



(Guino, 2012)

2. Floración. La floración del café se presenta en yema flores de 1 a 3 ejes, en la cual es dividido entre 2 a 6 ramificaciones de forma corta, las ramificaciones coronan en una flor, lo cual se conforma un cáliz transformando yemas productivas o florales. La presentación de los botones va en crecimiento lento por unos meses para alcanzar el tamaño de 5 a 8 mm. Cuando finalizan su crecimiento para comenzar la etapa de reposo hasta llegar al estado de botón maduro. (Anacafé, 2006).

3. Raíz. La función de la raíz permite el anclaje y exploración de la planta, hacia el suelo, para absorber el agua y nutrientes minerales. Además, permite almacenar las reservas en forma de almidón y azúcares solubles. Para que la raíz se desarrolle y obtenga alimentos derivados dentro del proceso de la fotosíntesis, necesita de la hoja, es decir depende de la hoja para alimentarse de hormonas y así poder crecer.

La forma radicular contiene una raíz principal, conocida como pivotante, con una profundidad de 50 cm en el suelo, también están las raíces axilares o de sostén; raíces laterales y raíces absorbentes o raicillas, ellas se encargan de absorber agua y nutrientes, encontrados a 30 cm del suelo. (Anacafé, 2006).

4. Tallo. En el tallo se encuentran las yemas, ellas contienen los meristemos que dan origen en el cafeto. El crecimiento del tallo puede darse de forma vertical y horizontal debido a ser leñoso y erecto, la planta del café contiene únicamente un solo eje, en la cual se encuentra una zona de crecimiento de forma activa que permite alargar el tallo, formando nudos y entrenudos. (Anacafé 2006).

De acuerdo a Anacafé (1998) el crecimiento del tallo puede darse de forma vertical y horizontal, desarrollando a partir de la yema o cabeza de serie, para seguir ramificándose. Así mismo el crecimiento horizontal se presenta entre las bandolas, en la axila de cada par de hojas, de las cuales existen diversas yemas latentes, reconocidas como; yemas seriadas.

5. Hoja. Las hojas permiten ser el vehículo para absorber el anhídrido carbónico atmosférico, así mismo absorben la energía solar, expulsando la pérdida de agua en forma de vapor a través de las estomas. (Anacafé, 2006).

Las hojas se observan en ramas laterales o plagiotrópicas ubicadas en un mismo plano y en posición opuesta. Las hojas tienen un peciolulo corto, ubicado en la parte superior y convexo en la inferior. Su textura es fina, fuerte y ondulada, puede variar de forma elíptica a lanceolada. El color de la hoja es verde brillante y verde claro mate en el envés. El lado superior de la hoja contiene venas hundidas y prominentes en la cara inferior. En la siguiente imagen podemos observar y conocer la estructura de la hoja.

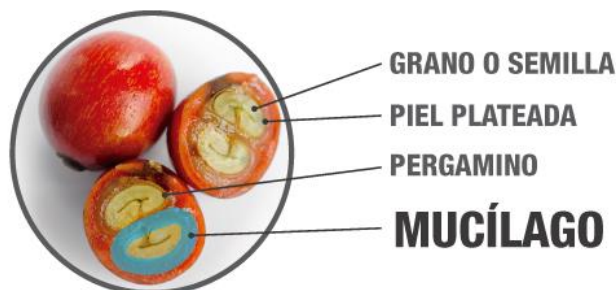
Figura 2: La hoja del café.



(Procafe, 2004)

6. **Fruto.** Según Anacafé (2006), el fruto consume nitrógeno (80 %), fósforo (85 %) y potasio (71 %). Al tercer y medio mes de la floración, en el fruto se forma un pergamino en el cual se define el tamaño que tendrá. Posteriormente inicia el grano y la formación de la semilla, de manera que el grano endurece, formando un mucilago, el cual es una sustancia orgánica de un tipo de textura gomosa, este va desarrollando su madurez fisiológica, caracterizado por el color de la cáscara, lo que permite realizar el corte. A continuación, se presenta el fruto del café y su estructura.

Figura 3: El fruto del café.



(One, 2014)

7. **Semilla y germinación.** La semilla se forma por el endospermo es decir el tejido nutricional formado en el saco embrionario de la planta, su consistencia es dura y de color verde. Alrededor de la semilla se localiza la película plateada, en el cual se produce un residuo de volumen alto para el proceso de separar el grano del pergamino. Es necesario una buena condición de humedad y temperatura para que el embrión logre desarrollar y alcanzar madurez de la semilla. (Anacafé, 2006).

8. **Composición del café.** Un grano de café contiene un 34 % de celulosa, 30 % de azúcar, 11 % de proteínas, 6 a 13 % de agua. También destacan componentes minerales, potasio, calcio, magnesio, fósforo, ácidos orgánicos, cafeína y trigonelina. (Vanaclocha y Folcara, 2003; Clarke y Macrae, 1988).

9. **Especies y variedades del café.** Los tipos y especies de café con mayor importancia y comercio son: *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (Robusta). A continuación, se explican brevemente algunas de las especies de café.

El café arábico: Se caracteriza por mantener su genética estable. El perfil de taza es de un aroma dulce, con sabores claros, ácidos semejantes a la manzana, uva y naranja. Se cultiva en Latinoamérica, África Central y Oriental, en la India e Indonesia. (Small, 2009; Waller 2007; Masefield, 1980).

El café canephora: Se caracteriza por ser un árbol grande y robusto, con una raíz poco profunda que logra alcanzar 10 metros de altura. Su fruta madura a los once meses, tiene estructura redonda, semilla alargada. Según (Waller, 2007). El 2% es la producción del café nacional, su perfil de taza corresponde a poco aroma, sabor a madera, sin acidez, contiene una cafeína en oro, promedio de 2.2% y en taza de 2 a 4%. En Guatemala el uso principal de esta planta es que puede ser utilizado como un patrón de Injerto Reyna.

Catuai: es originario de Brasil, sus hojas son de color verde tierno, es resistente al viento. Sus ramas van formando ángulos cerrados y entre nudos cortos. Por otra parte, el fruto no se desprende fácil de la rama. (Anacafé, 2002).

Caturra: originario de Brasil, su porte es bajo, sus bandolas de ramas forman un ángulo de 45 grados por el eje principal de forma gruesa y poco ramificado, sus entrenudos son cortos. Su vigor es de tipo vegetativo. Es una mutación de Bourbon en el que es susceptible a la Roya. (Anacafé, 2002).

Mundo Novo: originario de Brasil, su porte es alto, sus bandolas de ramas forman un ángulo de 45 grados el con eje principal, sus hojas son redondas y brillantes de color verde tierno. Su vigor es vegetativo con extensa producción, sin embargo, la maduración es un tanto tardía. (Anacafé, 2002).

Burbon: su porte es alto, con bandolas de ramas que forman un ángulo de 45 grados con el eje principal, y poco resistente al viento. Es un arbusto grande y vigoroso con posibilidad de crecimiento a una altura de mil metros sobre el nivel del mar. Sus brotes son de color verde, de tal forma que su maduración es precoz con riesgos de caída de los frutos. (Anacafé, 2002).

Pache: es originario de Mataquesuintla, Jalapa (Guatemala). Su porte es bajo, con bandolas de ramas que forman un ángulo de 60 grados con el eje principal, las hojas de color bronce café claro, frutos de color rojo y de tamaño grande, resistente al suelo y soporta bien suelos arcillosos. Sus hojas son caracterizadas por ser elípticas onduladas de consistencia asperea. (Anacafé, 2002).

Typica o Arábigo: es originaria de Etiopía, su porte es alto, con bandolas de ramas que forman un ángulo de 60 grados con el eje principal, sus hojas son de color bronce café claro, caracterizado por ser angostas y de poco brillo, es resistente al viento. (Anacafé, 2002).

B. Generalidades del café

1. **Historia del café.** En relación con el origen de la palabra café. Goyri (1995) menciona que el origen más probable proviene de los mahometanos, con el objetivo de disminuir el efecto psicológico de la prohibición religiosa de consumir bebidas alcohólicas. Los turcos pronunciaban dicho pronombre como Kahveh y al comercializarse en castellano cambió al nombre de: café. Otra versión refiere que la palabra proviene de la región de Kafa, localidad en donde se sembraba y cosechaba café.

Al respecto del origen de la planta se refiere que proviene de Etiopía, posteriormente según Goyri (1995) fue llevado a Arabia, luego a Lejano Oriente y después a Europa. Durante la época colonial los europeos introdujeron la planta en América, esto inició en las Antillas y posteriormente en todo el continente.

Alvarado & Rojas (2007) quienes indican que el origen del café se dio en las tierras altas de Etiopía y Sudán. Durante los años 575 y 890, los persas y árabes lo trasladaron a Arabia y Yemen. Por su parte, los nativos africanos lo extendieron a Mozambique y Madagascar. Posteriormente, los holandeses y portugueses lo trasladaron a Ceylán. Esto acaeció durante los años 1600 y 1700. De allí se extendió su distribución a Java y la India, así como a otros lugares en África y Asia.

Prosiguen dichos autores señalando que Von Hoorn, gobernador de Java, llevó algunas plantas a Holanda en el año 1708. Allí brindó una planta al rey de Francia Luis XIV. La cual fue sembrada en los invernaderos de París. En 1727 la planta fue llevada de Sumatra a Brasil. Después de esto se trasladó la planta a Perú y Paraguay. Durante 1825 se distribuyó la planta en Hawaii. Asimismo, en el invernadero de París se reprodujeron plantas con el fin de llevarlas a Guyana Francesa, África Ecuatorial, Haití y Santo Domingo.

Posterior a esto se extendió a Puerto Rico y a El Salvador lo cual ocurrió en 1740. Diez años más tarde la planta se distribuyó en Guatemala. En 1784 se sembraron las primeras plantas en Bolivia, Panamá y Ecuador. Desde Guatemala y Cuba se exportaron plantas a Costa Rica durante el periodo de 1796 a 1798. Sin embargo, cabe destacar que Wagner (2001) indica que la fecha exacta de introducción del café al país es desconocida.

2. **Dispersión del consumo y cultivo.** El café es, en volumen, el segundo producto más comercializado en el mundo entero después del petróleo. Esto explica, en sí, su trascendencia, tanto para los países productores como para los países consumidores.

Según International Coffee Organization (2013) el café empezó a ser cultivado por los holandeses en malabar, en la India. La llegada del café a Europa se inició por comerciantes Venecianos en 1615. El café fue considerado una bebida medicinal y era vendido sobre todo por los vendedores de limonada. En 1683 se

abrió el primer establecimiento de café en Europa en Venecia llamado “Caffé Florian de la Plaza San Marcos”, café que según International Coffee Organization (2013) aún permanece abierto.

Desde 1668 se efectuó la primera referencia del consumo de café en Norteamérica, pronto después de esa fecha se abrieron establecimientos específicos para el consumo de café en Nueva York, Filadelfia, Boston y en algunas otras ciudades. Fue en 1699 cuando llevaron los cultivos a lugares como Batavia, Java, ahora son conocidos como Indonesia. Años después las colonias holandesas se habían convertido en una de las fuentes principales de suministro de café en toda Europa.

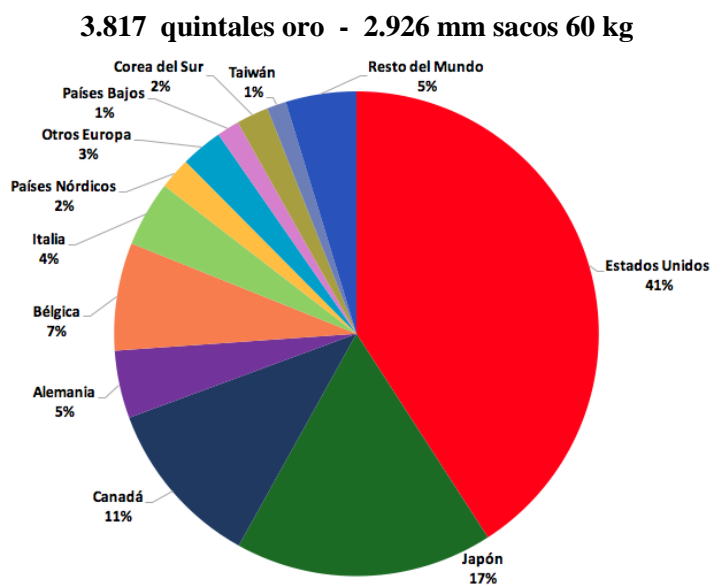
Actualmente Asia está ubicada como el segundo continente con mayor exportación a nivel mundial según las estadísticas del departamento de Comercialización de Anacafé (2014-2015).

Asimismo, International Coffee Organization (2013) indica que fue en el decenio de 1720 cuando el café empieza a ser cultivado en las Américas esto gracias a Gabriel Mathieu de Clieu quien era un oficial de la Marina Francesa que estaba en servicio, durante el año de 1720 realizó un viaje autorizado a Paris. Durante el viaje adquirió un cafeto que se llevó por mar, de vuelta. El cafeto fue instalado en una caja de cristal y dejado en cubiertas para que permaneciera en calor y sin afección por las aguas saladas. A su llegada, el cafeto fue replantado, protegido con un seto de espinas y cuidado por esclavos en Preebear. Gracias a los cuidados en 1726 realizaron la primera cosecha de café, según International Coffee Organization (2013) está registrado que en 1777 había entre 18 y 19 millones de cafeto en la Martinica.

Sin embargo, fueron los holandeses los que propagaron el cafeto en América Central y del Sur donde actualmente es el principal cultivo con fines comerciales del continente.

Según las estadísticas del Departamento de Comercialización de Anacafé (2014-2015) Estados Unidos y Canadá, países que forman parte de Norte América se encuentran como exponentes mayores en exportaciones de café, como lo muestra el siguiente gráfico.

Figura 4: Exportación de café según destino cosecha 2014-2015.



(Anacafé, 2015)

El café es uno de los productos primarios más valiosos. El cultivo, procesamiento, comercio, transporte y comercialización del café proporcionan empleo a millones de personas en el mundo, tiene una importancia crucial para la economía y la política de los países en desarrollo. Para varios países la exportación cafetalera representa hasta el 80% de ingresos en divisas, es un producto básico que se comercializa en los principales mercados de materias primas y de frutos.

C. El café en Guatemala

1. **Introducción del café a Guatemala.** La introducción del café en el país ocurrió durante el periodo colonial en la época de Carlos III. A partir de la Revolución Liberal de 1871 el café se ha situado en el primer lugar de las exportaciones. La primera degustación fue planteada en una obra de Paz y Salgado. En la misma relata cómo se celebró la exaltación de la catedral de La Antigua Guatemala a la categoría de arquidiócesis. En el año de 1773 las personas en Antigua Guatemala poseían varios cafetos sembrados en el jardín más por curiosidad y no por producción. (Wagner, 2001).

La misma autora refiere que en 1778 se proclamó un reglamento de comercio libre entre las Indias y España. Ante esto se declaró la distribución del café americano. Sin embargo, prohibía embarcar molinos de café para las Indias. Esta prohibición se levantó en 1792. A principios de 1800, ante el decaimiento de la exportación de añil Villaurrutia y Alejandro Ramírez sugirieron la exportación de cuarenta productos, entre ellos el café. En este mismo periodo Saravia introdujo otras especies de café. El cultivo del café se inició a mediados del siglo XVIII, en los jardines de la Compañía de Jesús en la Antigua Guatemala, algunas personas

tomaron semillas y las sembraron en diversas partes del país. En 1827 Haefkens notó que el cultivo de café era limitado y su precio era mayor que en Europa. Durante el siglo XIX el uso del café era medicinal más que recreativo, esto ante los efectos psicoestimulantes de la cafeína. Posterior a esto, diversos propietarios de fincas iniciaron la siembra y cultivo de café, además de la producción para el consumo.

En este mismo orden de ideas, Anacafé (1988) señala que a principios del siglo XX erupciones volcánicas afectaron las siembras y cultivos de café, lo cual representó una crisis en dicho campo. En 1915 el café guatemalteco fue galardonado con el primer premio en la exhibición de San Francisco. Hacia 1960 la industria cafetalera se unifica y se forma la Asociación Nacional de Caficultores en el país. A principios del presente siglo Guatemala afronta la mayor crisis cafetalera de su historia, ya que las exportaciones se redujeron en un 25% y el intercambio internacional en un 59%. A pesar de lo anterior, hacia el año 2005, el café guatemalteco comienza a exportarse a mercados exigentes, tales como el japonés. En la actualidad las problemáticas que afronta la población caficultora se relacionan con el cultivo de café y los cuidados del cafeto, ante posible infestación de plagas.

2. La caficultura al servicio del desarrollo rural. A lo largo de la historia, la producción de café en este país ha sido uno de las actividades productivas que han impulsado el desarrollo de sus habitantes. Durante los últimos cincuenta años se han desarrollado una serie de programas para mejorar el nivel de vida de la población de las áreas rurales, ya que además de dedicarse a la producción de café de calidad, los caficultores se han comprometido a promover bienestar a comunidades aledañas a las fincas productoras.

Por medio del programa de Acción Social de la Caficultura la Asociación Nacional de Café ha materializado dicho compromiso. Desde 1960 se promovían Centros Asistenciales de Salud en las fincas de café, en la actualidad su atención ha sido ampliada tomando en cuenta áreas como la educación y seguridad alimentaria, a través de Funcafé, entidad de Anacafé.

Guatemala es el mayor productor de café de Centroamérica según las estadísticas de Anacafé (2009-2010). En el país se cultiva básicamente café arábica la mayor parte del cual, cerca del 90%, es vendido al exterior como café de calidad. Según estimaciones de Anacafé, en la temporada del 2009 a 2010, el país produjo entre 3,7 millones y 3,8 millones de sacos de 60 kilos de café, contra la previsión de 4,1 millones de sacos.

En 1989 la Asociación Nacional de Café de Guatemala, Anacafé realizó la presentación de Guatemala Coffees, marca que enfatiza el concepto multicolor de la cultura guatemalteca. El hecho de contar con este sello fundamentó la división nacional por regiones productoras, facilitando y mejorando la comercialización del café. Los sacos han sido identificados como San Marcos, Huehuetenango, Antigua, Fraijanes, Atitlán, Oriente y Cobán, cada una de estas regiones es caracterizada por tener café con propio sabor, acidez y aroma.

Según Anacafé (2013), actualmente, los caficultores buscan regionalizar aún más el café para poder identificarlo como único, tal es el caso de cooperativas como las de Acatenango o Chimaltenango.

3. Variedades de café de Guatemala. Las características de fragancia, aroma, acidez, cuerpo, sabor y post sabor de los granos guatemaltecos, son diferencias en el café marcados por los microclimas que existen en las regiones cafetaleras. Se ha observado que el crecimiento es más rápido en zonas bajas, de 760 a 1.70 metros sobre el nivel del mar, esto hace que el café no posea mucha acidez y cuerpo. Éste se considera a nivel internacional como Prime o Extra Prime por ser un café suave y agradable según Anacafé (1998).

En las zonas intermedias, entre 1.70 a 1.200 metros sobre el nivel del mar, la calidad aumenta, este café es considerado como Semidura y Duro. En zonas más altas, a partir de los 1.300 metros sobre el nivel del mar, se cultiva el café Estrictamente Duro, (*SHB stricly hard bean*) este es bastante cotizado a nivel mundial por su peculiar acidez, cuerpo consistente, sabor definido y fuerte aroma.

El café guatemalteco continúa siendo recolectado a mano, esto para poder seleccionar el fruto adecuado. El procedimiento habitual según Anacafé (2013) es un primer beneficio húmedo, seguido del secado al sol y beneficio seco, en el que las maquinas convierte el grano pergamino en grano oro.

Los cafés de calidad cosechados en Guatemala son catalogados así por el suelo, clima, variedad, altura de cultivo, fechas de cosechas y la taza. Anacafé (2013) enlista a los lugares donde provienen las mejores cosechas de Guatemala; entre ellos están Antigua Guatemala, Rainforest Cobán, San Marcos Volcánico, Atilán Tradicional, Huehue Montañoso, Fraijanes Meseta y Nuevo Oriente los cuales también se encargan de exportarlo.

a. Exportación y consumo interior. Se pensaría que, al ser un país con una producción amplia de café, sus habitantes serían bebedores habituales del producto, sin embargo, esto no es así dado que se consumen tan solo unos 250 gramos de café per cápita. Históricamente, los mejores granos son exportados reservando para el mercado interior los de menor calidad. Datos brindados por Anacafé (2013) destacan que el valor del café se aproxima entre 14 o 15 dólares USA por 460 gramos; esto hace que no sólo propietarios de grandes fincas vendan en el mercado internacional sino también los pequeños caficultores.

En 1969 se fundó la Federación de Cooperativas Agrícolas de Productores de Café de Guatemala (FEDECOCAGUA) que según CONGCOOP (2015) es una organización cooperativa especializada en el sector agroindustrial, pecuario y comercial con la visión de convertir a sus afiliados en un sistema económicamente fuerte y socialmente responsables. Esta se construyó con 19 cooperativas y en la actualidad han sido reunidas 148. La FEDECOCAGUA exporta 80% de café de mejor calidad a Europa, 15% a Estados Unidos y 5% a Japón.

A continuación, se presenta el siguiente cuadro que muestra la exportación de café según destino, volumen en quintales y kilos, así como su precio en US\$ anunciada por Anacafé (2016)

Cuadro 1: Exportación de café según destino.

MERCADO MIEMBRO-OIC

PAIS DE DESTINO	QUINTAL ORO	SACO DE 60 KILOS	PRECIO TOTAL US\$	PRECIO PROMEDIO US\$ X qq ORO
ALEMANIA	22,556	17,293	3,313,498.63	146.90
BELGICA	8,867	6,798	1,500,571.66	169.23
COSTA RICA	2,655	2,035	199,845.00	75.27
EL SALVADOR	218	167	40,364.08	185.23
ESPAÑA	2,063	1,581	326,470.03	158.29
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	161,953	124,164	26,079,985.77	161.03
FINLANDIA	3,075	2,357	484,374.00	157.52
FRANCIA	1,665	1,276	283,685.63	170.38
GRECIA	1,650	1,265	270,600.00	164.00
ITALIA	15,498	11,882	2,259,124.67	145.77
MEXICO	113	86	11,773.13	104.65
NORUEGA	9,050	6,938	1,495,635.75	165.27
PAISES BAJOS	9,284	7,117	1,935,316.13	208.47
POLONIA	825	632	126,885.00	153.80
PORTUGAL	2,475	1,897	332,433.75	134.32
REINO UNIDO	2,902	2,225	459,219.75	158.26
RUMANIA	413	316	90,296.25	218.90
SUECIA	857	657	119,142.00	139.10
SUIZA	825	632	142,485.75	172.71
SUB TOTAL	246,941	189,321	39,471,706.96	159.84

(Anacafé, 2016)

D. Utilización de fertilizantes

Existen diversos nutrientes esenciales para el sano desarrollo de las plantas del cafeto. Estos pueden ser tomados del aire, agua o mediante el suelo. El carbono, hidrógeno y oxígeno son nutrimentos que la planta puede adquirir mediante el aire y el agua. Los nutrientes que puede tomar del suelo son diversos y se dividen en mayores y menores, dentro de los primeros se encuentran: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre; mientras que en los elementos menores se mencionan: hierro, zinc, boro, manganeso, cobre y molibdeno (Anacafé, s/f)

Relacionado con lo anterior, se encuentra la fertilización. La misma es descrita por Anacafé (s/f) como compuestos que poseen fuentes simples de nitrógeno y fórmulas NPK, esto con el objetivo de aumentar los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio. La fuente de nitrógeno más común es la urea. La misma posee un 46% de nitrógeno. Por su parte, Anacafé (2006) expresa que la práctica de aplicar los fertilizantes, los abonos orgánicos y/o enmiendas, basándose en un programa requiere conocimiento de los nutrientes presentes en el suelo y prácticas que dan con base en los mismos.

En caso se requiera la aplicación de calcio y magnesio a los cafetales, lo conveniente, añade la misma institución es aplicar cal dolomítica (carbonatos o hidróxidos de calcio y magnesio) a los suelos en cantidades pequeñas. Deficiencias en elementos menores como zinc y boro se corrigen mediante aspersiones foliares;

de sulfato de zinc para el zinc y de ortoborato de sodio tetrahidratado en el caso del boro, entre otros productos. Las deficiencias de hierro se suelen corregir, mediante aplicaciones de quelato de hierro o sulfato de hierro, esto depende de la concentración a aplicar: 6 a 12% en el caso del primero y 19 a 23% en el segundo.

Por otro lado, existen diversos métodos de aplicación del fertilizante, entre estos se describen el de banda y voleo. El primero describe la aplicación en banda dispersa alrededor del tronco, a la mitad de la distancia entre el tallo principal y su punto de goteo. En terrenos inclinados se sugiere aplicar el fertilizante en forma de *media luna* del lado superior. El segundo método, consta en la aplicación de manera dispersa “a partir del tronco principal al punto de goteo, sin efectuar la práctica de planteo y/o limpia de la hojarasca del suelo” (Anacafé, 2016, p. 82).

1. Tipos de mecanismos de fertilización. Anacafé (2006) indica que existen diversos mecanismos de fertilización y plantaciones establecidas, dentro de las cuales se encuentran:

a. Fertilización disuelta al suelo del almácigo o método Anacafé. Consiste en disolver el fertilizante y aplicarlo con aspersor de mochila al suelo, éste es muy efectivo, práctico y económico. Las fórmulas más adecuadas son 20-20-0, 16-20-0 o 18-46-0, disueltas en agua a una concentración del 3%, equivalente a 30 gramos por cada litro de agua. La solución se aplica al suelo, a razón de 50 centímetros cúbicos por bolsa o por mata, por aplicación. Este procedimiento se deberá hacer de 4 a 5 aplicaciones a partir de un mes después de la siembra. Este 3% en 50 ml de solución, equivale a 1.5 gramos de fertilizante por bolsa. Se disuelven 13.5 libras de fertilizante en un tonel de 50 galones de agua. Antes de aplicarlo deberá verificarse que el suelo esté húmedo y que las bocas de las bolsas estén abiertas y no dobladas hacia adentro. Se aplica sobre el suelo, con cuidado de no mojar las hojas de las plantas y evitar que las mismas se quemen. Ante esto se quita la boquilla de la lanza y se mantiene baja la presión de la bomba para no salpicar las hojas.

Figura 5: Fertilización del café.



(Procafé, 2016)

b. Fertilización granulada al suelo de almácigo. Los almácigos deben fertilizarse con una fórmula como 20-20-0, 16-20-0, 18-46-0, 10-50-0 granulada, al suelo; es decir, la finalidad de la misma es dar robustez a la planta y principalmente a la parte maderable. Esta fertilización granulada consiste en la aplicación de tres a cinco gramos de corcholata por bolsa por aplicación, en un círculo alrededor del tallo, separado de éste, se sugiere realizarlo en la orilla de la bolsa. El número de aplicaciones es de 4 a 5, una por mes, a partir de cuatro semanas después de la siembra.

Figura 6: Almácigo de doble postura con buen desarrollo de los dos ejes.



(Anacafé, s.f.)

c. Fertilización foliar en almácigos. Realizada con el fin de mejorar el vigor y desarrollo de las plantas por medio de fertilizantes foliares como complemento de la fertilización al suelo. Estos son los menos utilizados porque se lleva a cabo cuando el café está en el almácigo, y cuando éste está en plantaciones con una edad no mayor a los tres años. Se recomiendan fórmulas del tipo 20-20-20, 10-30-10 y otras similares que tengan elementos menores, principalmente zinc, boro, hierro, entre otras. Las dosis varían de una a dos libras por 50 galones de agua. En caso sea líquido de 0.5 a un litro en 50 galones de agua. Estos fertilizantes se aplican cada quince o treinta días, lo cual depende del aspecto de las plantas.

Figura 7: Fertilizantes foliares.



(Pinto, 2015)

d. Fertilización al suelo de la planta. Realizado en el momento en que se trasplantan los cafetos del almácigo al campo, se lleva a cabo una fertilización inicial con una fórmula 20-20-0, 18-46-0 o 10-50-0. La dosis es de 1 a 2 onzas por planta, al momento de la siembra. Ante esto el primer paso es realizar un análisis del suelo, con el fin de identificar las deficiencias presentes. En dicho caso se aplica el nutriente: zinc, boro, urea, etc. El fertilizante se aplica en un círculo alrededor del tallo en una distancia de diez a quince centímetros y se debe dispersar en la banda de fertilización.

Figura 8: Fertilización del suelo de cafetales.



(Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2011)

2. Beneficio del café en la aplicación de fertilizantes. Anacafé (1998) sugiere que el método de aplicación de los fertilizantes debe asegurar que los mismos tengan un contacto directo con el suelo y para ello, hay que limpiar las bandas de fertilización. El fertilizante se aplica en la banda dispersa alrededor del tronco, a la mitad de la distancia entre el fertilizante y el punto de goteo. Cuando los terrenos son inclinados se debe aplicar los fertilizantes en media luna, en el lado de arriba y para que no se exista un lavado es conveniente enterrarlo. La limpieza en la banda de fertilización es de suma importancia porque permite el contacto directo del fertilizante con el suelo y de esa manera, evita la competencia de las malezas. Asimismo, se han determinado tres épocas para la aplicación de los fertilizantes al café, dependiendo de la distribución de las lluvias. El siguiente cuadro a continuación detalla las mismas:

Cuadro 2: Épocas para aplicación de fertilizantes.

ÉPOCAS ADECUADAS PARA LA UTILIZACIÓN DE FERTILIZANTES	APLICACIÓN Y BENEFICIOS DE LOS FERTILIZANTES
Mayo a junio	Al inicio del invierno, se puede aplicar sólo nitrógeno o una fórmula NPK, según el resultado del análisis de suelos.
Agosto a septiembre	Se aplica una fórmula completa. Esta época no es apropiada para aplicaciones sólo de nitrógeno. En los casos en que sólo se puede hacer una aplicación de fertilizante al año, esta es la época de llevarla a cabo. El fertilizante aplicado durante este período, tiene como objetivo nutrir a la planta para su desarrollo y producción del siguiente año. Las floraciones, la mayor parte del crecimiento vegetativo y parte del crecimiento del fruto, ocurren durante el verano. La mayor absorción de nutrientes por el cafeto también se da durante este período, por lo que es oportuno la aplicación de fertilizantes en esta época.
Octubre a noviembre	Antes de finalizar las lluvias, es recomendable hacer una aplicación adicional únicamente de nitrógeno (urea o sulfato de amonio). En suelos deficientes de potasio es importante contemplar este elemento durante esta época.

(Anacafé, 1998)

Anacafé (1998) también señala que en algunas oportunidades es necesario acudir a los elementos secundarios de fertilización; para ello, se aplica cal como fertilizante, el cual es una fuente de calcio y magnesio y esto ayudará a subir el pH del suelo. Es ideal aplicarlo entre los meses de marzo o abril. Asimismo, si hay necesidad de azufre en los cafetales puede aplicarse con sólo cambiar la urea por sulfato de amonio, o con la aplicación de sulfato de calcio conocido como yeso agrícola.

Con relación a los micronutrientes, Anacafé (1998) menciona que los fertilizantes foliares son una fuente de micronutrientes y éstos son aconsejables aplicarlos en los meses de enero a abril, de esa manera, se evita hacerlo durante las floraciones, ya que lo ideal es llevarlo a cabo en la prefloración. Cuando los micronutrientes se van a aplicar en forma granulada al suelo, estos deben hacerse en el período de agosto a septiembre. Los nutrientes como magnesio, boro y zinc, se pueden aplicar a los suelos incorporados a la fórmula NPK.

Ligado a lo anterior, se explica que con la aplicación y eficiencia de los fertilizantes, el café obtiene muchos beneficios desde una alta producción adaptada a las condiciones agroclimáticas de la finca cafetalera, el control de plagas y enfermedades del suelo y del follaje, un control adecuado y oportuno de las malezas, una regulación de sombra, el manejo apropiado de tejido del fruto y por ende se obtendrá como resultado la buena producción y calidad del café.

E. La Roya

1. **Generalidades.** Es una enfermedad causada por el hongo *Hemileia vastatrix* e infecta a las plantaciones de café. Vale decir que los cafetales son el único hospedero conocido de este hongo perteneciente al filo Basidiomycota, orden Uredinales, familia Pucciniaceae. Por lo que es considerado un parásito obligado, no puede sobrevivir en el suelo o en material vegetal inerte; hasta la fecha no ha sido posible su cultivo en laboratorio. La Roya dejó entrever su gran importancia desde que se dieron a conocer las dos primeras epidemias documentadas.

En el año 1867, en la isla de Ceilán hoy en día Sri-Lanka, el daño fue tan grave que quienes cultivaban el café al no conocer la enfermedad ni su control, decidieron arrancar los cafetales y sembrar té. Posterior a este hecho, investigaciones efectuadas en África, Asia e India permitieron observar que sí se podía controlar la enfermedad.

Con la llegada de la Roya a Brasil iniciando los años setenta, se estimó que en cultivos donde las plantas no habían sido tratadas los porcentajes de infección llegaron hasta un 80%, mientras que las plantas tratadas con fungicidas protectantes presentaban porcentajes iguales o inferiores a un 5%.

La enfermedad, apareció en Centroamérica aproximadamente en 1976, y en Colombia llegó en los años 80's afectando los cultivos de las áreas bajas de 600 a 1000 metros sobre el nivel del mar. Esto dejó en quiebra a productores y bancos y conllevó a miles de desempleos (Anacafé, 2015). Sin embargo, los orígenes de la Roya en Guatemala, se remontan a 1980 y desde ese momento a la actualidad el hongo se ha diseminado en todo el país, en especial en regiones de 800 a 1000 metros sobre el nivel del mar. La importancia de la enfermedad de la Roya se traduce en que la baja de las producciones de café por causa del hongo, ha suscitado pérdidas considerables en la economía local campesina; pero también en la entrada de divisas al país.

2. Definición. La Roya del café es ocasionada por un hongo perteneciente al filo Basidiomycota, perteneciente al orden Pucciniales, familia Pucciniaceae, especie *Hemileia vastatrix* (Berk. & Broome 1869). Actualmente, dicha enfermedad, está en todo el mundo donde se cultiva café y es considerado el principal problema patológico en el cultivo de café principalmente de la especie *Coffea arabica*. En la literatura, se menciona que la Roya del café fue encontrada inicialmente en 1869 en Ceilán, ahora Sri Lanka, pero de acuerdo a hipótesis y la relación que existe entre los centros de origen de plantas y parásitos, es muy probable que surgió antes y que su origen esté relacionado al centro de origen del café o sea en África Central y África Oriental. Edin Francisco Orozco Miranda, 2014.

En América, se descubre por primera vez en 1970 en cafetales en Bahía, Brasil. Se supone que uredinosporas del hongo fueron transportadas por los vientos alisios o por introducción accidental desde África del Oeste. Para ese entonces, las variedades cultivadas en América eran susceptibles a *Hemileia vastatrix*.

Las medidas de erradicación de la enfermedad adoptadas en aquella época en Brasil, fueron infructuosas, algo similar ocurrió en otros países de América Tropical. Para Centro América, la Roya del café se cita por primera vez en Nicaragua sobre la costa del Pacífico en 1976, posteriormente en El Salvador en 1979, Guatemala y Honduras en 1980, en la región de Chiapas, México 1981, Colombia y Costa Rica en 1983. En Centroamérica y México, también se establecieron acciones preventivas y de erradicación. Sin embargo, los resultados fueron análogos a lo ocurrido en Brasil, es decir no satisfactorios. Para el año 2014, se completaron 34 años del apareamiento de la Roya del café en Guatemala.

3. Desarrollo del hongo causante de la enfermedad de la Roya. En Guatemala, desde que la Roya del café fue encontrada en el país en 1980, se efectuó poca investigación relacionada con el manejo de dicha enfermedad y la biología del patógeno (30 años). A partir de ese año, el hongo que ocasiona la Roya del café se diseminó en todo el país y no hubo mayores consecuencias. Entonces, la percepción de algunos técnicos y agricultores sobre la Roya fue de “convivencia o que no era problema”.

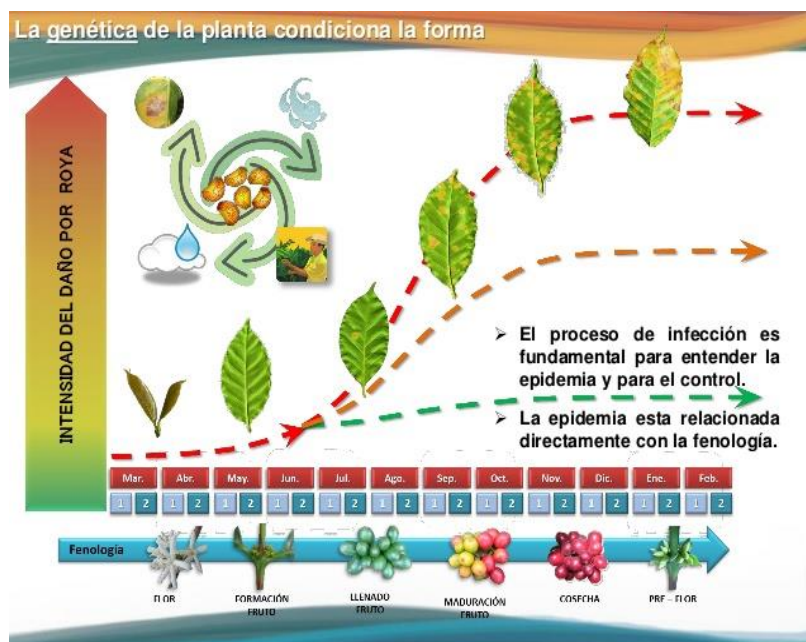
Lo ocurrido en Guatemala en el 2010-2012 con la Roya del café, como un fenómeno epidémico, ha sido la acumulación de varios acontecimientos de años atrás, en donde no se prestó la debida atención. Uno de ellos ya mencionado fue la Tormenta Agatha, en 2010. Se marca un año con clima “anormal”,

principalmente en la precipitación, temperatura y horas luz. Esto es parte del denominado Cambio Climático, algo que se escucha en el ámbito nacional e internacional, pero cuyo impacto en los cultivos nunca ha sido evaluado. De acuerdo a registros, en algunas localidades productoras de café, se ha duplicado la precipitación en relación con otros años.

Se cuantifican menos horas de radiación solar, hubo variación en la temperatura, la humedad relativa fue alta y prolongada (90 % durante mucho tiempo), entre otros factores no cuantificados. Por ello, el cambio climático debe ser estudiado y relacionado con las enfermedades del café.

Y para ejemplificar este apartado (VI.1.3) se presenta a continuación una ilustración donde se visualiza el proceso de afectación del hongo de la Roya.

Figura 9: Cómo ocurre el proceso epidémico de la Roya.



(Calderón *et al.*, 2013)

4. Medidas de control de prevención y manejo de la Roya. Este apartado merece una atención primordial ya que sobre las especies varietales que a continuación se describen recae la enfermedad de la Roya del café; por ello, es importante hacer una breve descripción de las principales especies cultivadas en Guatemala.

Cuando las condiciones climáticas son las propicias para la emergencia del hongo *Hemileia vastatrix* (la Roya); entonces, entre la planta del café y el hongo se establece una especie de simbiosis y el agricultor, bajo un tratamiento agroecológico integral, debe aprender a que ambos (planta y hongo) puedan convivir en un nivel que no afecte la producción (este sería el arte del agricultor-productor de café).

En lograr esta comprensión del caficultor ha sido el tema central de la presente investigación (por eso los objetivos específicos están planteados para ir en busca que el productor de café alcance niveles psicoanalíticos que le permitan un mejor trato de erradicación (ecológica) del hongo *Hemileia vastatrix* (la temible Roya del cafeto).

Figura 10: Programa de manejo integrado de cultivos: el caso de la Roya.



(Agroexpertos. Tomado de información proporcionada por el MAGA.)

La ilustración anterior, muestra los niveles de umbral/es en que los cultivares de cafeto deben permanecer para convivir con la Roya, sin que esta afecte o impacte sustancialmente las producciones de café y por tanto (sin afectar) la economía del productor cafetalero. Esto, es: el caficultor no debe permitir que el nivel de daño de la Roya ascienda arriba de la línea horizontal coloreada en azul = UDE que significa Umbral de daño Económico. Por otro lado, la línea coloreada de verde = UA significa el Umbral de Acción; que es en la franja donde el productor cafetalero debe mantener el daño para que este no afecte económicamente los dividendos de la venta de su producción. En mantenerse en esa franja (entre la línea de color verde tornasol y la línea de color azul; en eso consiste el arte de cultivar plantaciones de café (cafetales).

5. Acciones para la prevención de la incidencia de Roya en Guatemala. Anacafé (1998) hace mención que como base fundamental para la prevención de la incidencia de diversas epidemias que atacan el cafeto existen principios que fundamentan los métodos de control de enfermedades en las plantas, los cuales son importantes mencionar.

Evasión: evitar las enfermedades mediante el establecimiento del cultivo en lugares propensos a la proliferación de las epidemias.

Erradicación: eliminación del patógeno de una parte de la planta, de grupo de plantas, de un campo, de una región. Eliminando por completo la cosecha y volviendo a sembrar. Tener un control de fechas propensas a diversos hongos que enfermen a la planta

Exclusión: evitar la introducción del inóculo o el establecimiento de un patógeno en un área libre. Los principios de evasión y exclusión se aplican mediante métodos culturales o regulatorios, esto conlleva la densidad de la siembra, el control de sombra, el control del proceso de producción, la humedad.

Protección: establecer una barrera o impedimento de índole diversa entre el hospedante y el patógeno que interfiera en la actividad de éste último, este se puede llevar a cabo a través de la aplicación de fungicidas preventivos.

Anacafé (2013e) señala que la Roya es una enfermedad temible, sin embargo existen medidas de control ante la misma. Dentro de las cuales se establece la utilización de fungicidas, en el país se han autorizado: Caldo Bordelés, Hidróxido de Cobre, Óxido de Cobre, Oxicloruro de Cobre, Timorex Gold, Vigilante, Opus, Alto, Caporal, Atlas, Silvacur, Duett, Amistar y Opera. Haciendo mención de la importancia de uso de estos Almengor, *et al.* (2013) afirma nuevamente que la implementación de fungicidas para el control de la plaga de Roya es efectiva lo cual fue determinado mediante un estudio longitudinal, realizado en diferentes regiones cafetaleras en todo el país, pero dentro del resultado de dicha investigación determinaron que el incremento en costos en el proceso de la producción aumentaba considerablemente. Igualmente se hizo la investigación de la de plantación de especies resistentes a la Roya, tales como: Catimor y Sarchimor que llevarán a erradicar por completo la posibilidad del ataque de una nueva epidemia. (Anzueto, 2013).

Jiménez (2015) hace énfasis que debe tomarse desde un inicio el control constante de la cosecha del café lo que permitirá detectar desde una fase inicial la invasión del hongo de la Roya lo cual permitirá el manejo adecuado de dicha enfermedad y la aplicación de los fungicidas que permitirá evitar la pérdida completa de la cosecha.

Anacafé (1998) explica lo primero que se debe proteger es el follaje durante el llenado de granos. Las hojas tienen como función la captación lumínica, con la cual se puede realizar la fotosíntesis, el transporte de la alimentación de la planta lo que permite un desarrollo armónico del fruto, accediendo alcanzar una excelente cosecha y por la misma condición, la planta quedará preparada para la próxima cosecha. De la misma forma menciona que hay diversas formas de un manejo agrónomo que permite preservar a la planta de café entre los que se encuentra el control cultural dentro de las cuales aparecen: densidad de siembra, distanciamiento entre cada cafeto, manejo de tejido, manejo de sombra, coberturas vivas y otras que aseguren el desarrollo vigoroso del cultivo y que permita a la planta competir favorablemente con las diferentes enfermedades, malezas que ataquen la plantación.

Igualmente se pueden utilizar el control biológico: el control por insectos, otros hongos que no afectan a la plantación del café, pero si a virus y bacterias que atacan el crecimiento de óptimo de la plantación de café.

Ahondando en el tema los métodos de control de enfermedades es de suma importancia abordar el tema de los fungicidas que permite la prevención y el control de la enfermedad de la Roya, debido a que los fungicidas son químicos que no se pueden aplicar en grandes cantidades ya que afectaría la planta y el suelo de la plantación.

F. Fungicidas

Se define el fungicida como una sustancia elaborada con base químicos que al combinarse se utilizan para eliminar los hongos que pueden desarrollarse en las plantas, enfermedades que pueden dañar el desarrollo de un cultivo. Permitiendo así disminuir los daños ocasionados, aumentando el incremento de productividad, favoreciendo la protección de las hojas las cuales son necesarias para la fotosíntesis (Tamhane y Moiramani 1986)

Según Anacafé (2006), el uso de los fungicidas dentro de una siembra es denominada control químico, el cual es indispensable para tener un buen conocimiento sobre los diferentes aspectos de estos productos con el fin de hacer un manejo más adecuado y eficiente de ellos. Dentro de las investigaciones elaboradas han realizado una clasificación de fungicidas.

1. Tipos de fungicidas

a. Fungicida de contacto. Realizan la función de preventivos; profilácticos: estos son productos que previenen a la planta de nuevas infecciones, deben ser aplicados estrictamente en forma defensora para tener mejores resultados. Impiden la germinación de las esporas al ponerse en contacto con ellas. Es decir que estos productos forma una fina capa protectora sobre la superficie de follaje, impidiendo que las esporas que lleguen germinen y penetren causando nuevas infecciones. (Anacafé 2006)

b. Fungicida sistémico. Los fungicidas sistémicos curativos: son productos que eliminan o curan infecciones ya establecidas en el interior de los tejidos de la planta, eliminando las infecciones ya establecidas, pero que no eliminan los daños o lesiones ya visibles en el interior de la misma. Se aplican al suelo o al follaje, son absorbidos por la planta y traslocados a través del sistema vascular, eliminando las infecciones ya establecidas en el interior de la misma, protegiendo así los nuevos brotes. (Anacafé 2006)

Tomando en cuenta que la investigación tiene como fin profundizar en los fungicidas aplicables para el control o eliminación del hongo de la Roya; es de suma importancia abordar cuales son los fungicidas adaptables y sus cantidades exactas que deben utilizarse, con el objetivo de no dañar a la planta ni al suelo debido que se provocaría un daño irreversible el cual no permitiría la siembra de nuevo cafeto o algún otro cultivo.

2. Fungicidas específicos para el tratamiento de la Roya

Anacafé (1999) para la prevención y control del hongo *Hemileia vastatrix* desde el punto desde control químico, presenta dos formas de controles químicos

a. Los productos cúpricos o de contacto. Gil y Bautista (como Bertand y Rapidel 1999) concluyeron que se lograba un buen control de la Roya con tres aspersiones bimestrales (junio-agosto-octubre) de un producto basado en oxiclورو de cobre, conteniendo 50% de cobre metálico a una dosis de 3.5 kg/ha. Los mismos autores demostraron que la persistencia del producto sobre la hoja después de la aplicación era de 45 días, explicando así la eficiencia del programa de aspersión bimestral.

Bertrand y Rapidel (1999), al estudiar las concentraciones de empleo de los productos cúpricos en el agua, establecieron que las concentraciones de 0.35% para óxidos e hidrógenos y 0.5% para oxiclورuros eran iguales de eficientes. El mismo autor cita que en Honduras (1985) determinaron que con cuatro aspersiones mensuales de oxiclورو de cobre con dosis de 3.0% kg/ha para óxidos e hidróxido era eficientes de 3 y 4 aspersiones de oxiclورو de cobre (3.5 kg/ha), iniciando con la época de lluvias, con intervalos de uno a dos meses entre cada aspersión era suficiente para obtener un buen control. (Bertrand y Rapidel 1999).

b. Los sistémicos. Estos fungicidas corresponden a los curativos, pero su alto costo hace que se convierta en un producto inaccesible para los pequeños y medianos productores.

Bertran y Rapidel (1999) mencionan que los productos sistémicos más estudiados son los triazoles. Se comprobó la eficiencia de diferentes materiales activos como el triadimefon en aplicación foliar, a una dosis de 250 g de ingrediente activo por hectárea. Bertran y Rapidel (1999) recomienda el propiconazole en aplicación foliar, con una dosis de 178.5g de ingrediente activo por hectárea, el triadimenol en la aplicación al suelo a una dosis de 0.15 a 0.25 g de ingrediente activo por planta, el hexaconazole en aplicación foliar a una dosis de 25 a 50g de ingrediente activo por hectárea.

G. Control de la Roya en Guatemala

En Guatemala, desde 2011 se observó incrementos de Roya en las regiones cafetaleras, por lo que se empezaron a realizar inspecciones del café, llevar un récord de los ciclos de producción, corregir deficiencias nutricionales y planificar aplicación de fungicidas. (Anacafé, 21013). Las épocas de control de Roya en Guatemala dependen de la región del país, variando entre la segunda quincena de abril y la segunda quincena de agosto en tres aplicaciones que se realizan en intervalos de tres quincenas. En la actualidad se aplican tres tipos de fungicidas en Guatemala certificados por el Centro de Investigaciones en Café de Anacafé (Cedicafé), quienes además dan un listado de recomendaciones previo a aplicar cualquier fungicida, entre los que se incluye la verificación del pH del agua, procedimiento de mezcla, entre otros.

Cuadro 3: Descripción de fungicidas utilizados en Guatemala según su tipo, nombre comercial, ingrediente activo y dosis por manzana.

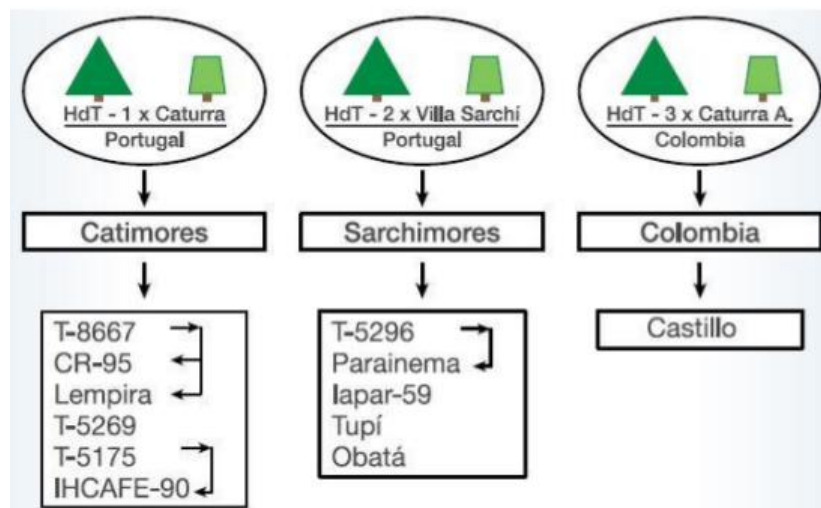
Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis por manzana
Caldo Bordelés	sulfato de cobre + hidróxido de calcio	4 - 5 libras
Hidróxido de cobre	Cobre	4 libras
Óxido de cobre	Cobre	4 libras
Oxicloruro de cobre	Cobre	5 libras
Timorex Gold	<i>Melaleuca alternifolia</i>	1000 cc
Vigilante	azufre + cobre	1000 cc
FUNGICIDAS SISTÉMICOS CON UN INGREDIENTE ACTIVO		
Opus 12.5 SC	Epoxiconazole	350 cc
Alto 10 SL	Cyproconazole	280 cc
Caporal 25 DC	Triadimenol	350 - 500 cc
Atlas 25 EW	Tebuconazole	400 - 560 cc
FUNGICIDAS SISTÉMICOS EN MEZCLAS DE DOS INGREDIENTES ACTIVOS		
Silvacur Combi 30 EC	tebuconazole + triadimenol	350 - 500 cc
Duett 25 SC	epoxiconazole + carbendazim	350 cc
Amistar Xtra 28 SC	azoxystrobin + cyproconazole	350 - 400 cc
Opera	epoxiconazole + pyraclostrobin	700 cc

(Anacafé, 2013)

Sin embargo, el brote de Roya no puede ser controlado únicamente con fungicidas a base de cobre (caso que ocurre para la mayoría de los fungicidas de contacto actualmente utilizados), por lo que no se puede recomendar el uso de los fungicidas actuales garantizando el buen desarrollo de la planta. Además, dada la variabilidad del hongo, estas soluciones se convierten en las planteadas a corto plazo. (USAID, 2013)

Una de las alternativas a los fungicidas que existen en la actualidad para el control de Roya consiste en la utilización de variedades resistentes genéticamente a la Roya, utilizándose los genes del híbrido de Timor, un híbrido natural entre la variedad típica de *C. arabica* y robusta de *C. canephora*. De los cruzamientos existen tres grupos bajamente susceptibles a la Roya (Caturra, Villa Sarchí y Caturra amarillo), de los cuales los primeros dos fueron desarrollados en el CIFC (Centro Internacional de las Royas del Cafeto), y el Caturra Amarillo desarrollado en Colombia a partir de las variedades Castillo (Anzueto, 2013). Sin embargo, la resistencia es menos duradera con el tiempo, por lo que sugieren considerar nuevas fuentes de resistencia a la Roya.

Figura 11: Variedades híbridas de café derivadas del híbrido de Timor (HdT) utilizadas actualmente en Guatemala, CIFIC 832/1 (Catimores), CIFIC 832/2 (Sarchimores) y CIFIC 1343 (Colombia).



(Anacafé, 2013)

H. Uso de software para análisis y manipulación de información química y biológica

En la actualidad es necesario el uso de herramientas que agilicen el proceso de manipulación de información, así como la simulación de procesos en distintas ciencias, especialmente en física, química y biología. Estos procesos se realizan por medio de software dedicado y optimizado específicamente para estas tareas, que van desde el análisis estadístico, hasta la generación de modelos matemáticos para la predicción de patrones. La biología computacional es el campo que se dedica al desarrollo de herramientas que ayudan a estudiar los sistemas biológicos. En este campo se incluyen, entre otros, el análisis genómico y proteico. Una de sus principales metas es lograr simular procesos biológicos por medio de modelos computacionales. Un elemento clave de este campo son las bases de datos biológicas, que permiten el fácil acceso, así como el mantenimiento de información consolidada de este tipo para las personas que se dedican al análisis de la información. De forma análoga, la química computacional se dedica al estudio y modelado de procesos químicos. Una de sus finalidades es el modelado de procesos y estructuras químicas por medio de simulaciones. En este campo se realizan simulaciones para el diseño de fármacos, así como el modelado de proteínas y el estudio de la interacción entre distintos compuestos químicos (Young, 2004).

Cada vez se genera más información que necesita ser analizada para obtener mejores modelos, siendo este uno de los retos en estas áreas, el cual necesita ser abordado desde el punto de vista computacional. Una de las soluciones que se proponen es la paralelización de tareas, que se refiere al proceso en que se realizan cálculos de manera simultánea, dividiendo un problema en varios subproblemas independientes (Van der Pas, 2010).

1. **Alineamiento de secuencias de ADN y aminoácidos.** En bioinformática, el alineamiento es una forma de comparar secuencias de ADN, ARN o proteínas con el fin de identificar relaciones funcionales, estructurales o evolutivas de acuerdo a la similitud que exista entre las dos secuencias comparadas (Mount, 2004). En un alineamiento, cada elemento de las secuencias a evaluar es representado por una letra, ya sea que se trate de residuos aminoácidos o de nucleótidos para proteínas, ADN o ARN respectivamente. Usualmente se representan las secuencias en forma de matriz, donde cada fila representa una secuencia a comparar, y para cada par de elementos de la traza (es decir, del conjunto de secuencias a evaluar) puede existir una coincidencia o una brecha. Cuando un elemento coincide exactamente con su contraparte, es una coincidencia; si es necesario hacer una inserción o una supresión de espacios en una secuencia para que esta coincida, se trata de una brecha (Al-Karadaghi, 2015). Para determinar la calidad de un alineamiento, se realiza una función de punteos sobre las secuencias, que depende del número de coincidencias que contribuyen positivamente en la función, y de brechas que penalizan el valor del punteo en la función. La función de punteo y la forma en que se calcula varía según el tipo de alineamiento y el algoritmo utilizado.

Además, existen alineamientos locales y globales, que se utilizan en diferentes situaciones. En un alineamiento global, se alinean todos los elementos entre las secuencias, de manera que se introducen brechas según sea necesario para hacer que las secuencias tengan la misma longitud y se maximice la similitud entre ellas (Altschul, 2011). Un problema surge cuando se intenta encontrar el puntaje máximo del alineamiento a prueba y error, ya que se aumenta exponencialmente según la longitud y cantidad de secuencias a evaluar. Una solución a este problema es propuesta por el algoritmo de Needleman-Wunsch para alineamientos globales, el cual aplica programación dinámica para resolver el problema recursivamente, dividiendo a la vez el problema en subproblemas. (Needleman, Wunsch, 1970). Un alineamiento local busca coincidir una secuencia de referencia con un fragmento de otra secuencia. Esto permite que se encuentren óptimos locales, como se utiliza en el algoritmo de Smith-Waterman, el cual propone alineamientos locales de segmentos de longitudes arbitrarias, sin la necesidad de que exista penalización en los segmentos que no sean alineados. Pareciera ser que en un alineamiento local aumente considerablemente la complejidad debido a la búsqueda de posiciones de inicio y final de los fragmentos, sin embargo el cálculo solo aumenta en un factor. (Smith y Waterman, 1981)

2. **Predicción estructural de proteínas.** Las proteínas son cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos, las cuales varían en forma dependiendo de la distribución de los aminoácidos que la forman. La estructura de una proteína puede ser representada en su forma primaria, secundaria, terciaria o cuaternaria. La estructura primaria es la representación lineal de su cadena de aminoácidos. La estructura secundaria consiste en hélices alfa y láminas beta, que son enlaces de hidrógeno entre los grupos amino y carboxilo presentes en regiones vecinas a las moléculas dentro de la proteína, que causan los patrones de plegado de la misma. La estructura terciaria es la descripción de la cadena pegándose sobre sí misma en su forma tridimensional, incluyendo las regiones donde se muestra la estructura secundaria. Esta estructura es

fija debido a la interacción entre los grupos R de los aminoácidos, que pueden ser interacciones iónicas enlaces de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals o puentes de sulfuro. La estructura cuaternaria es la unión de más de una proteína como un todo representado de forma más compleja (Hartl, Hayer-Hartl, 2009).

La predicción estructural de una proteína en su forma tridimensional es la técnica en la cual, por distintos métodos, se busca llegar a dicha estructura. La predicción se realiza por medio de algoritmos, que se basan en tres factores clave para realizar el modelado: resolver la función de energía de la proteína, búsqueda conformacional y selección del modelo (Lee *et al.*, 2009). Uno de los métodos utilizados en la predicción estructural asistida por computadora es el *ab-initio*, el cual se basa en la resolución de la ecuación mecano-cuántica propuesta por Schrödinger para resolver variables en procesos fisicoquímicos existentes a en la cadena. Otro método existente muy utilizado es el modelado por homología, en el cual se propone una estructura proteica basándose en información histórica almacenada en bases de datos, utilizando proteínas homólogas (que comparten un mismo ancestro) de las cuales se conoce la estructura. Existe además un método de enhebrado (*threading*), en el cual se utilizan proteínas que tienen los mismos pliegues en proteínas con estructuras conocidas, pero no existen proteínas homólogas con una estructura conocida (Zhang, 2003).

El método de predicción de estructuras por homología es el más utilizado en la actualidad, ya que se realiza una sustitución, adición o sustracción de aminoácidos a la estructura conocida de la proteína homóloga, variando únicamente en las interacciones existentes entre los aminoácidos. La calidad de este tipo de modelado depende mucho de la cantidad de proteínas de las cuales se conoce la estructura y el nivel de homología que tienen. Usualmente existen cuatro pasos en el modelado por homología: Primero, se buscan uno o más estructuras en la base de datos que sean homólogas basándose en la cadena a predecir. Luego, se alinea cada una de las proteínas homólogas con la cadena de aminoácidos. Después, se construye el esqueleto de la proteína, incluyendo y diferenciando las regiones similares y distintas con la proteína homóloga. Finalmente, se colocan las cadenas laterales (Chung y Subbia, 1996).

3. Acoplamiento molecular. El acoplamiento o docking en biología molecular, es un método que busca predecir el modo de enlace de un ligando respecto a una proteína de la cual se conoce la estructura tridimensional. Este método utiliza funciones de puntaje que evalúa qué tan bueno es el enlace entre un ligando y una proteína. Una de las metas del acoplamiento molecular es predecir el modo de enlace no solo estructuralmente, sino que también energéticamente entre las dos moléculas. Este método tiene muchas aplicaciones en descubrimiento de fármacos, incluyendo estudios de actividad de proteínas, búsqueda de potenciales dianas, y sirve de asistencia en estudios de cristalografía de rayos X al encontrar sustratos e inhibidores. (Morris & Lim-Wilby, 2008). El método además permite realizar un análisis a un nivel atómico, lo cual permite identificar el comportamiento de las moléculas en el sitio activo de la proteína, así como reconocer algunos procesos bioquímicos que puedan darse por dicha interacción.

El proceso de acoplamiento usualmente es iterativo, primero se selecciona el ligando y la proteína a la que se intentará acoplar, luego se preparan ambas y se realiza el acoplamiento. El acoplamiento, según su

función de puntaje, puede ser empírico, basado en campos de fuerza o basado en conocimiento. Una función de puntaje empírica se basa en prueba y error, el basado en campos de fuerza según las interacciones entre las moléculas y el basado en conocimiento requiere de información obtenida previamente con moléculas similares. Al mismo tiempo, según su método de búsqueda, un acoplamiento puede ser sistemático o estocástico. Un método de búsqueda sistemático muestrea el espacio de búsqueda por intervalos predefinidos y es determinístico, mientras que un método de búsqueda estocástico realiza cambios al azar a las variables de estado hasta que se encuentra una que satisface un criterio (Meng *et al.*, 2011). Las variables de estado definen la unión entre el ligando y la proteína. Estas consisten de la posición en cualquiera de los tres ejes, la orientación en ángulos y, la conformación del ligando en el caso que ligando sea flexible. Un acoplamiento que utiliza un ligando rígido es más rápido que cuando se utiliza uno flexible, debido a que el número de conformaciones a evaluar es mucho menor.

Así también, en lo que respecta al área psicopedagógica del proyecto, fue realizado bajo enfoques de aprendizaje que se describen a continuación.

I. Enfoques de aprendizaje

Para efecto del presente estudio se abordaron las actividades bajo dos enfoques; el conexionista y el socio-constructivista que permiten el desarrollo de actividades para facilitar que los caficultores amplíen su conocimiento acerca de “La Roya”. En ese sentido y dado a que los problemas que afectan la producción de café son atendidos a través de las experiencias se puede mencionar que según Graesser y Goodman (1985) el método conexionista ha derivado un enfoque nuevo a las ciencias cognitivas; este enfoque está basado en las redes neuronales y mantiene relaciones con aspectos aparentemente ajenos a la didáctica. Se ha traducido en nuevos conocimientos y prácticas realizadas.

En la década de los noventa, varios investigadores iniciaron la aplicación de redes neuronales a la psicología cognitiva este nuevo concepto se nombró enfoque conexionista. McLelland y Rumelhart (1989) mencionan que este enfoque está basado en el cálculo mediante redes neuronales de determinada propiedad que tienen su contrapartida psicológica. La red neuronal está compuesta por un conjunto conectado de neuronas artificiales las cuales no existen físicamente. Según Smolensky (1988) los modelos conexionistas se inspiran en la forma de trabajar en paralelo que tienen las neuronas del cerebro humano. Según Obdulio Bernal (2009), se basa en que el aprendizaje y el conocimiento adquirido de diversas opiniones, es un proceso de conexión dado por nodos o fuentes de información. Se considera que la información puede adquirirse en fuentes ajenas a la humanidad, tal y como los son: experiencias naturales, fuentes de información virtual o física y otros. Este enfoque considera la interconexión de conceptos y definiciones una capacidad en la cual se aprovechan las características individuales de cada individuo.

El conjunto de características pedagógicas y cognitivas aportan a identificar los enfoques de aprendizaje, éstos son observados a través de experiencias que conllevan nuevos conocimientos que permitirán el desarrollo de la inteligencia. Para el efecto Howard Gardner (1987) explicó que la inteligencia supone la

habilidad de resolver problemas o crear puntos de necesidad en cualquier comunidad o cultura. Es una colección de potencialidades biopsicológicas que mejoran con la edad. En sí las inteligencias agrupan habilidades y talentos de un individuo, afirma que cada individuo posee todas las distintas inteligencias, aunque en un mayor o menor desarrollo. Ante la búsqueda de individualización del aprendizaje e interrelación de los contenidos se ha tomado en consideración el modelo de inteligencias múltiples descrito por Howard Gardner, con el objetivo de integrar cinco dimensiones educativas.

J. Inteligencias Múltiples

La teoría de las Inteligencias Múltiples fue ideada por el psicólogo estadounidense Howard Gardner como contrapeso al paradigma de una inteligencia única. Gardner propuso que la vida humana requiere del desarrollo de varios tipos de inteligencia.

1. Antecedentes de la teoría de Inteligencias Múltiples. Al inicio de los años XX, Alfred Binet y Théodore Simon, psicólogos franceses, descubrieron cómo averiguar la inteligencia de los niños que presentaban alguna dificultad de aprendizaje. Gardner (2006) menciona que los psicólogos fueron los primeros en crear una prueba de inteligencia con el fin de determinar el éxito o el fracaso de los estudiantes y para posicionarlos en un nivel educativo apropiado para ellos y para informar a los padres si sus hijos necesitarían una educación especializada, pues, el que todos los niños estudiaran era una ley que todos debían cumplir. Binet y Simon desencadenaron una serie de críticas que influyó en la curiosidad de varios psicólogos quienes investigaron varias teorías de la inteligencia que todavía están reflejadas en la cultura y en la educación.

Según Gardner (1993) Charles Spearman, psicólogo inglés, propuso la existencia del factor general y predominante de la inteligencia, el factor g, pues, él consideraba que este factor era medible en todas las partes de una prueba de inteligencia. Gardner (2006) menciona que Spearman creía que la inteligencia que el factor general o factor g, no tenía cambios significativos con la edad o las experiencias y que la inteligencia era algo único en cada persona.

Las pruebas de inteligencia realizadas por Binet y Simon también influyeron al psicólogo alemán, Wilhelm Stern quien en 1912 inventó la forma de representar en un número la inteligencia de una persona. Según Gardner (1999) la medida de Cociente Intelectual, o CI es la edad mental dividido por la edad cronológica con el resultado multiplicado por 100.

Gardner (1999) menciona que la prueba de inteligencia fue utilizada por las Fuerzas Armadas para examinar a las reclutas durante la Primera Guerra Mundial. Incluye que en los años 1920 a 1923 empezaron a evaluar a la gente en una manera más agrupada con papel y lápiz en lugar de hacerlo de manera independiente y de forma oral, aun así, el CI seguía siendo utilizado para mostrar resultados numéricos.

A finales de los años treinta, Louis Thurstone, psicometrista americano, sugirió una teoría de la inteligencia que fue considerada más complicada que el saber general o g. Según Guzmán y Castro (2005)

mencionan que Thurstone propuso “la existencia de siete tipos de inteligencia: espacial, numérica, fluidez verbal, comprensión verbal, velocidad perceptiva, razonamiento abstracto y memoria asociativa.

En esta misma línea Smith (2001) comenta que en los años sesenta, Guilford desarrolló otro modelo de la inteligencia, la cual está separada en ciento veinte componentes. Estas pruebas formaron una idea general de la inteligencia.

En los años ochenta, Robert Sternberg propuso que la inteligencia era tríadica. Smith (2001) considera que la teoría de Sternberg incluía aspectos y mecanismos culturales de la inteligencia. Smith propone tres subteorías que forman la inteligencia humana; contextual, experiencial y la componencial. Estas investigaciones cognitivas elaboradas por Sternberg llegaron a cambiar la percepción obtenida en donde la inteligencia humana era algo singular e independiente. Fue en esta época que el Dr. Howard Gardner inicio el desarrollo de su propia teoría de la inteligencia similar, pero con características que lo diferenciaban al resto.

En contraste con la mayoría de las teorías mencionadas, la teoría desarrollada por Gardner sobre inteligencias múltiples es pluralista. Gardner (2006) reconoce que las personas tienen varias capacidades de pensar, son diferentes y aprenden de diversas maneras. La teoría sostiene que cada persona es única y diferente. Gardner en su libro *Frames of Mind* (2013) identificó las inteligencias basadas en sus investigaciones empíricas a través de las ciencias del cerebro, la antropología, psicología y otras disciplinas.

Como señala Fonseca Moran (2007, P. 78)

«El concepto de inteligencia o capacidades reconoce la diversidad, la existencia de distintas formas de ser que son de igual status. Ser una persona “inteligente” puede significar tener una gran capacidad memorística, tener un amplio conocimiento, pero también puede referirse a la capacidad de conseguir convencer a los demás, saber estar, expresar de forma adecuada sus ideas ya sea con las palabras o con cualquier otro medio de índole artístico, controlar su ira, o saber localizar lo que se quiere, es decir, significa saber solucionar distintos problemas en distintos ámbitos. Además, la información integral de los alumnos ha de entenderse también como la formación de lo emocional y no sólo como formación de lo cognitivo».

Gardner (2006) explica que una inteligencia se basa en la habilidad de resolver problemas o crear algo basado en una necesidad independientemente del contexto, lo considera como una colección de potencialidades biopsicológicas que van desarrollando y mejorando con la edad. Él considera que el termino inteligencia describe mejor la competencia cognitiva de la persona, esta agrupa los talentos, habilidades y capacidades mentales de un individuo. Arnold y Fonseca (2004) afirman que toda persona tiene cada una de las inteligencias desarrolladas por Gardner, aunque una persona podría mostrar mayor talento en una que en otra. También que varía en la combinación de inteligencias y la capacidad para ejecutarlas.

Aun así, la teoría de las Inteligencias Múltiples no duda en la existencia del factor general de la inteligencia g. Gardner (1993) considera la importancia de la herencia y las experiencias ya que las

inteligencias múltiples y las funciones diferentes de un individuo están vinculadas a ciertas partes del cerebro. Es por esto que la teoría de Inteligencias Múltiples llega a ser muy atraída por personas inmersas en ambientes educativos y administrativos ya que existe la seguridad de poder aplicarla.

2. **Criterios para identificar las Inteligencias Múltiples según Gardner.** Al identificar las inteligencias de una manera diferente Gardner inició investigación a través de varias fuentes y consideró ocho criterios para identificar las inteligencias y considerarlas parte de su teoría.

El primer criterio según Gardner (1993) fue un estudio de las regiones cerebrales dañadas. El segundo criterio fue la existencia de sabios y niños prodigios. El tercero, la existencia de funciones cerebrales que desempeñan funciones esenciales. El cuarto, tener un grupo de acciones que indican el dominio de las habilidades. El quinto, la probabilidad a través de la evolución. El sexto, una susceptibilidad de la codificación de un sistema de símbolos. El séptimo, las tareas psicológicas que indican que una inteligencia es manifestada de las habilidades. Gardner (1993) después de considerar estos criterios identificó siete inteligencias, añadiendo más tarde una más a la lista.

3. **Tipos de Inteligencias Múltiples.** Hay ocho inteligencias que el Dr. Howard Gardner ha reconocido en los seres humanos, las cuales se describen brevemente.

a. **La inteligencia lingüística.** Según Gardner (1993) la inteligencia lingüística es una de las inteligencias libre de los objetos, quiere decir que no está relacionada con el mundo físico. Según Lazear (1991) y Morchio (2004) en este tipo de inteligencia se utilizan ambos hemisferios cerebrales, pero se ubica especialmente en el córtex temporal del hemisferio izquierdo que es llamado área de Broca.

Asimismo, Morchio (2004) considera que esta es la inteligencia más reconocida en la enseñanza y el aprendizaje, implica desde leer, escribir, escuchar y hablar. La inteligencia lingüística incluye la habilidad en el uso de la sintaxis, la fonética, la semántica y usos pragmáticos del lenguaje. Según Lazear (1991) las personas que muestran preferencia a este tipo de inteligencia muestran habilidad para explicar, enseñar, recordar, convencer y bromear.

Según Armstrong (2003) el disfrutar tiempos de lectura, contar cuentos, ver películas, escribir un diario, crear obras, escribir poemas, aprender lenguas extranjeras o investigar son algunas características de las personas con esta inteligencia como dominancia. Gardner (1999) identifica a los abogados, autores, poetas, maestros, cómicos y oradores con mayores habilidades lingüísticas.

b. **La inteligencia musical.** Gardner (1993) también considera la inteligencia musical como libre de los objetos. Según Lazear (1991) esta se ubica neurológicamente en el hemisferio derecho, en el lóbulo frontal derecho y el lóbulo temporal.

Guzmán y Castro (2005) mencionan que este tipo de inteligencia incluye la capacidad para percibir las formas musicales. Es la capacidad para la composición, la interpretación, la transformación y la valoración de

la música y sonido. Según los mismos autores se muestra una sensibilidad al ritmo, cadencia, tono y timbre, a los sonidos de la naturaleza y medio ambiente.

De acuerdo con Armstrong (2003) el pasar tiempo cantando, escuchando música, tocando los instrumentos, asistiendo a conciertos, creando música, creando ritmos o letras, tarareando son características de las personas que manifiestan una mayor inteligencia musical.

c. La inteligencia lógica-matemática. La inteligencia lógica-matemática es una de las inteligencias más evaluadas dentro de las pruebas de inteligencia. Morchio (2004) considera que corresponde con el modo de pensamiento del hemisferio lógico y con lo que nuestra cultura ha considerado siempre como la única inteligencia.

Lazear (1991) menciona que la habilidad para solucionar problemas lógicos, producir, leer y comprender símbolos es característica de la dominancia lógico-matemático. Para Gardner (1999) implica la capacidad de usar los números correctamente, analizar problemas lógicos y realizar investigaciones científicas. Este tipo de inteligencia según el mismo autor es la que corresponde a los matemáticos, científicos, ingenieros y lógicos.

d. La inteligencia espacial. Armstrong (2000) indica que la inteligencia espacial abarca desde la capacidad de formar, imaginar dibujos de dos y tres dimensiones hasta el comprender, manipular y modificar el espacio amplio y limitado. Armstrong (2003) menciona que para las personas que muestran más habilidad en la inteligencia emocional les es fácil recordar fotografías, observar características de objetos, estas personas disfrutan pasar el tiempo realizando dibujos, pinturas, construyendo modelos, leyendo mapas, laberintos e ilusiones ópticas.

Garden (1999) considera que este tipo de inteligencia corresponde a arquitectos, doctores cirujanos, artistas (pintores, gráficos y escultores) pilotos y profesiones afines.

e. La inteligencia corporal-kinestésica. La inteligencia corporal-kinestésica descrita por Gardner (1999) es base de la capacidad de usar el cuerpo total o parcial para aprender, expresar, resolver problemas, construir productos o realizar actividades. Morchio (2004) menciona que son aquellas personas que aprenden destrezas físicas sin dificultad, se mantienen en constante movimiento, gustan del baile y de deportes. Según Armstrong (2003) estas personas piensan cuando se mueven y aprenden mejor cuando están en movimiento.

Gardner (1999) considera que este tipo de inteligencia es mayormente desarrollada en atletas, bailarines, artesanos, inventores, actores, mecánicos y varias profesiones técnicas.

El mismo autor menciona que existe una conexión entre las inteligencias relacionadas al mundo de los objetos que son la corporal-kinestésica, la espacial y la lógica matemática.

f. La inteligencia interpersonal. Esta según Armstrong (2003) y Gardner (1993) abarca la capacidad de atención en cosas importantes para otras personas tomando en cuenta sus intereses, motivaciones, perspectivas, historias personales, intenciones y enfocándose en las decisiones, sentimientos y acciones de otros.

Continúa Armstrong (2003) mencionando que las personas con este tipo de inteligencia muestran agrado a la conversación, a aprender en parejas o grupos y realizar actividades con más personas. Guzmán y Castro (2005) consideran que son buenos mediadores de conflictos por su facilidad en comunicación y lenguaje corporal y verbal. Son individuos que tienen muchas amistades, sienten cariño por otros, saben cómo motivar a otros y se inclinan al voluntariado.

g. La inteligencia intrapersonal. Gardner (1993) la define como la capacidad de conocerse a uno mismo; entenderse, explicar los sentimientos, discriminar sentimientos como medios para lograr la satisfacción y el éxito personal.

Mora (2007) menciona que esta inteligencia está ubicada en los lóbulos frontales e incluye la capacidad de verse a sí mismo según la percepción de otros.

Gardner (2006) considera a las personas con este tipo de inteligencia como dominancia, individuos que pueden describirse a sí mismos utilizando la descripción o criterios de otras personas. Guzmán y Castro (2005) mencionan que, por lo general, son personas que muestran mayor agrado a realizar actividades independientemente, pensar en su futuro, reflexionar, establecer y lograr sus metas y consideran que tienen buen uso de todos los procesos de autoconfianza, auto compresión, autoestima y automotivación.

Gardner (2006) y Lazear (1991) mencionan que, así como otras inteligencias se conectan entre sí, esta tiene relación con la inteligencia lingüística, debido a su carácter personal e interno, pero al reflexionar necesitará de cada una de las inteligencias mencionadas.

Guzmán y Castro (2005) indican que este tipo de inteligencias se observa en teólogos, maestros y psicólogos.

h. La inteligencia naturalista. La inteligencia Naturalista es agregada años después al listado propuesto por Gardner. Esta se caracteriza según Armstrong (2000) por desarrollar una sensibilidad a las formas naturales y las características geológicas de la tierra tomando en cuenta las plantas, animales y las formaciones de las nubes. Morchio (2004) menciona es la capacidad de distinguir y clasificar detalles y elementos del medio urbano y rural.

Según Armstrong (2003) las personas con este tipo de inteligencia desarrollada son las que disfrutan actividades al aire libre, tiempos para disfrutar la naturaleza, observar detalles del exterior, personas, animales, plantas y objetos. Gardner (1999) menciona que los profesionales que desarrollan más este tipo de

inteligencia son los científicos naturales o sociales, poetas, artistas entre otros profesionales que se enfocan en detalles y utilizan la habilidad de percepción.

Las inteligencias múltiples se van desarrollando a través de las experiencias que involucren los sentidos durante la vida de una persona, sin embargo, existen estrategias generales que permitirán el desarrollo y mejoramiento de los 8 tipos de inteligencia descritos por Gardner.

4. Estrategias de aprendizaje relacionadas con la teoría de las Inteligencias Múltiples. Lazear (1991) menciona y explica tres estrategias del aprendizaje que se encuentran relacionadas en la teoría de las Inteligencias Múltiples. La primera es la observación, la cual considera como una estrategia de aprendizaje inestimable, menciona que ocurre repetitivamente y con base en la imitación durante largo tiempo. La segunda es la estrategia fuera del contexto, la cual explica como toda experiencia que el individuo adquiere fuera del ambiente que comúnmente frecuenta y con base en eso adquiere información y la pone en práctica en un contexto nuevo. La tercera es la estrategia meta cognitiva según Lazear que le permite al individuo la regulación de su propio aprendizaje.

V. MARCO METODOLÓGICO

El presente apartado aborda temáticas relacionadas con la estructura y metodología a seguir para el desarrollo del proyecto. Leguia (2016) describe que el marco metodológico analiza los pasos que se deben seguir con el fin de obtener una óptima resolución de un problema o ejecución de un proyecto. En el mismo se abordan las estrategias que se implementarán con el fin de alcanzar los objetivos planteados, así como la descripción de los recursos y otros elementos básicos para la ejecución e implementación del proyecto. Para el efecto y con fines del presente estudio, a continuación, se presentan.

A. Estrategias

Hussein (2009) al igual que Del Campo (2008) señalan que las estrategias se conforman por diversos elementos, tales como: objetivos o metas y recursos, entre otros.

Para el desarrollo y preparación del Megaproyecto se realizaron varias entrevistas directas con especialistas de diferentes áreas que apoyaron a sustentar la propuesta y a clarificar dudas, algunas de ellas fueron dirigidas por:

MSc. Barrios Gonzales, especialista en ciencias de la computación; quien a través de una charla realizada el 18 de abril de 2016, integró términos computacionales desarrollados a través del juego y la partición, informó sobre tecnología en computación en pro a la educación y resolvió dudas.

MSc. Dallies de Masaya, bióloga y especialista en biología tropical, experta divulgación y transmisión de temas relacionados con café. Tuvo dos aportaciones valiosas en el proceso del proyecto. La primera fue un foro realizado en marzo 2016 con la finalidad de orientar en tema de turismo en Guatemala, mencionando las aportaciones, beneficios, deficiencias y proyectos realizados sobre el tema. Su segunda aportación fue a través de una entrevista directa que gracias a su experiencia en temas de café aclaró dudas, habló sobre la importancia del turismo para Guatemala y algunas deficiencias que tiene que ha provocado el poco interés a nivel nacional e internacional.

Lcda. Girón Sowa, realizó como trabajo de graduación el Megaproyecto “La Roya” parte 1 desarrollando estrategias múltiples dirigidas al control de la Roya del café en una comunidad cafetalera. Elaboró dos manuales sobre la introducción a los hongos y a la Roya de los cafés dirigidos a estudiantes de 1ro a 3ro y de 4to a 6to primaria. Su aporte fue por medio de una charla informativa en el mes de marzo 2016 sobre el proceso del Megaproyecto 1 sobre la Roya, en donde también expuso algunas limitantes e ideas que no se lograron realizar. También por medio de una entrevista directa realizada el 9 de abril de 2016 en la cual se mostró dispuesta para apoyar en el proceso, aclaración de dudas y consejos como mantener el acercamiento con las personas y el lugar donde trabajaron.

Licda. Gonzales Rodríguez, licenciada en Psicología, directora área educativa Museo del Niño Guatemala. A través de una entrevista directa y una visita con recorrido al museo del niño la licenciada informó sobre la historia del museo, los retos, los proyectos aplicados y proyectos a futuro con los que cuentan. Así mismo al conocer la temática de interés realizó el recorrido a la exhibición del proceso de café dirigida a niños en donde sugirió algunos aspectos que desean mejorar y que nosotras podamos incluir dentro del proyecto como la elaboración de material práctico, accesible, movable y resistente.

Sr. Monroy, trabajador de la Municipalidad de Fraijanes. A través de una visita a la municipalidad brindó la información sobre el municipio como: historia, área geográfica, zona territorial, población, fincas y el trabajo relacionado con café que se desarrolla en este municipio.

Sr. Blanco, trabajador de la Municipalidad de Fraijanes. A través de una entrevista directa brindó información de la historia del municipio de Fraijanes, mencionando desde la época de inicio, ubicación, población, cultura, tradiciones, religión y otros aspectos.

M.A. Polanía Silva, licenciado en Administración de Empresas. En el mes de mayo asesoró al grupo de Megaproyecto indicando la importancia del coste de la actividad. Mencionó que cada actividad debe tener un objetivo directo e indirecto y que estos deben de contar con un costo dividido, se mostró dispuesto a asesorar en un futuro si fuese necesario.

MBA. Lemus Estrada. Durante un foro informativo y de discusión comentó la experiencia que ha desarrollado durante la formación de su propia fundación. Mencionó estrategias que ha utilizado para el crecimiento de ella y cómo lo podíamos relacionar con la propuesta de café. También se enfocó en una visión en pro a todos los guatemaltecos, pues, su fundación ahora ya no va dirigido a personas con posibilidades económicas mayores sino también al grupo social de bajo recursos y posibilidades.

Ing. Jiménez García. El ingeniero a través de una charla realizada en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala abordó temas relacionados en el café como: áreas cultivadas, incidencia económica, etapas de desarrollo del cafeto en Guatemala, prácticas agronómicas del café y la promoción del café. Se enfatizó la resolución de dudas y la introducción de términos necesarios durante todo el proyecto.

Sr. Ajpop, ex administrador de la finca las nubes, departamento de Suchitepéquez, municipio San Francisco Zapotitlán. El mes de septiembre de 2016 se realizó una visita a la finca las nubes, una finca turística con producción de café. El Sr dio un recorrido por las instalaciones brindando información de la producción del café, sus limitantes, los beneficios, la comunidad trabajadora y sus familiares quienes viven dentro de la finca y les brindan vivienda, alimento y educación.

B. Área psicopedagógica

Para el desarrollo y ejecución del Manual de Actividades, se utilizaron los enfoques; conexionista y socioconstructivista. La primera, según Bernal (2009), se basa en que el aprendizaje y el conocimiento se construyen con base en la integración de opiniones diversas, en otras palabras, describe el conocimiento

como un proceso de conexión dado por nodos o fuentes de información. Se considera que la información puede construirse fundamentado en fuentes humanas y ajenas a la humanidad, tal y como los son: experiencias naturales, fuentes de información virtual o física y otros. Este enfoque considera la interconexión de conceptos y definiciones, la cual es una capacidad donde se aprovechan las características individuales de cada individuo; tal y como sucede con el desarrollo de las inteligencias múltiples. Adicional a esto, se tomó en consideración el enfoque socioconstructivista, propuesto por Vygotsky (como se citó en Daniels, 2003) quien describe la enseñanza como un fenómeno social que integra distintas posibilidades del individuo, las cuales pueden ser mejoradas mediante el acompañamiento de otros en su proceso de aprendizaje. Escrito de otra manera, el modelo socioconstructivista se basa en la construcción integrada del conocimiento, mediante la participación activa de sujetos.

1. **Recursos.** Los recursos necesarios para llevar a cabo la formación se basan en espacios abiertos, manuales de capacitación y capacitador. A continuación, se detallan las características de cada uno de los recursos:

a. **Espacio abierto.** Para fines del presente Megaproyecto el espacio abierto se define como el recinto de un lugar educativo en donde se desarrollan las sesiones que buscan el desarrollo del aprendizaje (Sal, 2014). El espacio debe cumplir con ciertos aspectos físicos y pedagógicos, los cuales se describen a continuación: a) La organización espacial es primordial, por lo que se debe disponer de muebles para crear espacios para el movimiento y las actividades de aprendizaje, b) La dotación se vincula con seleccionar, reunir y hacer los materiales y el equipo, c) Otro aspecto es la disposición de materiales, el cual es el proceso de decidir la manera en que se colocan las dotaciones en el ambiente, combinarlas y exhibirlas, d) Por otro lado, debe considerarse el clima socio emocional. El mismo se integra por el ambiente físico y emocional, relaciones interpersonales y contenidos.

Manual de actividades: Conformado por diez actividades dividido en módulos destinados a desarrollar los aprendizajes relacionados con el cafeto, la Roya, fertilizantes, fungicidas, etc. en los participantes. Cada actividad será validada por tres expertos, quienes revisarán los siguientes criterios, utilizando una valoración de diseño representada dentro de una escala de calificación: a) objetivo de la actividad, b) contenido de la actividad y c) metodología y/o aspectos generales de la actividad d) Evaluación de la actividad e) Ponderación de validación de la actividad (ver Anexo). El manual posee instrucciones específicas de la utilización del programa y los aprendizajes abordados. Un manual es descrito como un documento que contiene información en forma ordenada y sistemática (Kraus como se citó en Hernández, *et al.* 2012). Las temáticas que se abordarán en las actividades son las siguientes:

1. El cafeto
2. Historia del cafeto en el mundo y en Guatemala
3. Utilización de fertilizantes
4. La Roya

5. Utilización de fungicidas y otros métodos preventivos

Las actividades cuentan con un diseño estructurado.

1) **Introducción.** El capítulo presenta la descripción general del manual y fundamentos teóricos del mismo, además de las referencias en las que se fundamenta. Dichas temáticas se vinculan con el café, historia, la Roya, fertilizantes y fungicidas.

2) **Instrucciones para el capacitador.** se presentan las instrucciones detalladas para la utilización e implementación del manual, así como las reglas y lineamientos para llevar a cabo una ejecución estandarizada.

3) **Aprendizajes y actividades.** presenta el listado de actividades que abordarán y las actividades propuestas. Se detallan dentro del programa para el desarrollo de las habilidades y aprendizajes básicos que permiten a los participantes desarrollar los conocimientos relacionados con las temáticas previamente descritas. Las actividades se diagraman de la siguiente manera:

- **Nombre de la actividad:** Describirá el nombre dado a la actividad en el cual se engloba la esencia de la misma.
- **Aprendizajes y fundamentación teórica:** Mostrará información teórica que le puede ser útil al facilitador para ejecutar la actividad.
- **Objetivos de la actividad:** describirá las metas y fines que se buscan alcanzar durante la ejecución de la actividad. Dichos objetivos se clasifican como:
 - General
- **Inteligencias estimuladas:** describirá el tipo de inteligencia estimulada.
- **Materiales y recursos:** describirá los implementos básicos y necesarios para ejecutar la actividad. Algunos de los mismos constarán de material reciclado.
- **Material adicional:** en este se presentarán diversos recursos audiovisuales. Así como otros virtuales. Algunos de los mismos se presentarán en el capítulo de Anexos. Además, contendrá propuestas de evaluaciones e instrumentos con los que se buscará corroborar los aprendizajes alcanzados por los participantes.
- **Procedimiento para la ejecución de la actividad:** estipulará la serie de pasos a seguir para llevar a cabo las actividades.
- **Resultados esperados:** estipulará los aprendizajes esperados durante la ejecución de la actividad.
- **Anotación de resultados obtenidos:** espacio en blanco en el cual el facilitador podrá utilizar para anotar observaciones durante la ejecución o los resultados de un determinado grupo. El formato del mismo se mostrará dentro del capítulo de Anexos.

- Herramientas de evaluación: presentará los instrumentos mediante el cual evaluará el facilitador. El mismo se encontrará con una serie de preguntas dentro del capítulo de Anexos, el cual será de base para el facilitador al iniciar una puesta en común.

4) Anexos. contendrá información adicional, así como material referido dentro del presente trabajo, ejemplos del material que integrará el mismo: hojas de trabajo, rúbricas de evaluación y calificación, gráficas e ilustraciones, etc.

5) Facilitador. Para fines del presente Megaproyecto el facilitador será una persona capacitada en el manejo de los manuales y la utilización de espacios pedagógicos. Tal y como lo describe Reinoso (2009), el facilitador provee facilidad para acceder a un logro, con lo que acelera los recursos en búsqueda de la adquisición de un fin. Para la presente investigación, dicho fin, se refiere a los objetivos planteados en cada manual y así proveer estrategias que permitan a los asistentes desarrollar los conocimientos ligados con el cafeto, la Roya y su manejo. Ante esto el facilitador deberá respetar los lineamientos planteados, con el fin de llevar a cabo una aplicación homogénea.

2. Validación del diseño didáctico. Para la validación de las actividades se realizó el diseño de dos escalas de calificación, la primera está enfocada a expertos en el área educativa, la cual mide los objetivos de las actividades haciendo énfasis en cuestionamientos tales como: 1. Se mencionan el área de la temática a trabajar, 2. Indica habilidades a estimular, 3. Incluye las inteligencias múltiples a desarrollar, 4. La exigencia se ajusta a las capacidades reales del participante. También, se valida el contenido de la actividad mencionando puntos como: 1. Desarrolla las competencias expuestas en los objetivos, 2. Están planificando y secuenciado adecuadamente los mismos, 3. Contiene información de la temática a trabajar, 4. Desarrolla las inteligencias múltiples expuestas en los objetivos, 4. La actividad es novedosa y llamativa y 6. Presenta una guía de respuestas correctas para el mediador de la actividad.

Por su parte, en el aspecto de metodología, la misma está enfocada en preguntas tales como: 1. si se adecua la actividad a los diferentes ritmos de aprendizaje, necesidades y dificultades del participante, 2. Sigue un orden lógico para lograr un aprendizaje significativo, 3. Se potencia el aprendizaje autónomo y la iniciativa del participante, 4. Las instrucciones son claras y precisas, 5. Se incluye recursos que se adaptan a las características del entorno y 6. Los materiales permiten el uso colectivo, son variados, atractivos, seguros y estimuladores y 7. El tiempo es adecuado para la actividad. Por último, la escala mide la parte evaluativa donde se consideran aspectos como: 1. Los criterios, indicadores e instrumentos de evaluación se establecen de manera explícita, 2. Se adapta a las diferentes destrezas y habilidades de cada estudiante y 3. Permite hacer un seguimiento del progreso de enseñanza y aprendizaje significativo.

De la misma manera, se elaboró otra valoración de diseño didáctico enfocado a expertos en el área del cafeto. Esta escala mide también cuatro rubros importantes que son los objetivos, contenido, aspectos generales y evaluación. La primera realiza preguntas tales como: 1. Menciona el área de la temática a trabajar

y 2. Indica habilidades a estimular. En el área del contenido se le cuestiona al experto: 1. La actividad desarrolla las competencias expuestas en los objetivos, 2. Están planificados y secuenciados adecuadamente, 3. Contiene información de la temática a trabajar, 4. La información sobre la temática es lógica y coherente, 5. La actividad contiene datos reales y relevantes, 6. El vocabulario se adapta a la población, 7. Existe conexión entre la temática y la actividad, 8. El tipo de información es adecuada a la actividad y 9. Presenta una guía de respuestas correctas para el mediador de la actividad. Dentro de la parte de aspectos generales se consideran las siguientes preguntas: 1. La actividad es novedosa y llamativa, 2. Se puede ejecutar dentro del contexto cafetalero, 3. El tiempo es adecuado para la actividad, 4. Las instrucciones son claras y precisas y 5. La actividad influye en la adquisición de nuevos conocimientos en temas relacionados al cafeto. De la misma manera que la validación para expertos en educación, también para los expertos del cafeto se considera la parte de evaluación donde se plantean preguntas tales como: 1. Evalúa aspectos específicos de la temática, 2. Los criterios, indicadores e instrumentos de evaluación se establecen de manera explícita, 3. Se adapta a las diferentes destrezas y habilidades de cada participante y 4. Permite hacer un seguimiento del progreso de enseñanza y aprendizaje de manera significativa.

Para ambas validaciones, los expertos evaluaron las escalas de calificación en donde se especifica si el producto cumple con las premisas mencionadas con anterioridad y el profesional marcó una ponderación de 5 indicando una puntuación alta y 1 como el más bajo de dicho puntaje. Posteriormente, se suman todos los ítems dando un puntaje máximo del 100%. La actividad fue válida y apta para ser incluidas en el módulo y al mismo tiempo en el Manual de Actividades si su ponderación fue mayor a 60%, tuvo comentarios positivos y la menor modificación.

C. Área bioinformática

1. Identificación de genes presentes en el genoma parcial de *Hemileia vastatrix* por medio del alineamiento con secuencias de genes de proteínas secretadas por el hongo.

a. Se obtuvo el genoma híbrido parcial del hongo anotado por Cristancho *et al.* (2014).

b. Se separaron todos los cóntigos del genoma parcial utilizando un script en Python que arma un archivo para cada cóntigo encontrado. Dicho script se puede observar en la Figura 34 en la sección C de Anexos.

c. Se seleccionaron las secuencias de ADN para los genes de proteínas secretadas por el hongo predichas por Talhinhos *et al.* (2014) (cf. Cuadro 4), las cuales se pueden ver a detalle en el Anexo A.

Cuadro 4: Genes de proteínas secretadas por
H. vastatrix.

Nombre	Gen	Función
Hv00303	RTP1	Proteína receptora y transportadora
Hv00357	RTP1	Proteína receptora y transportadora
Hv01043	RTP1	Proteína receptora y transportadora
Hv04304	RTP1	Proteína receptora y transportadora
Hv01506	HESP-178	Proteína secretada del hausterio
Hv04456	HESP-178	Proteína secretada del hausterio
Hv00297	MnSOD	Metabolismo de estrés oxidativo
Hv01268	MnSOD	Metabolismo de estrés oxidativo

(Talhinhas *et al.*, 2014)

d. Se alinearon los genes seleccionados con el genoma híbrido parcial de *H. vastatrix* generado por Cristancho *et al.* (2014) utilizando el programa computacional Jaligner v 1.0 (Moustafa, 2010), que contiene una implementación mejorada del algoritmo de Smith-Waterman en Java. Luego, se creó un script en el IDE Eclipse para alinear las secuencias, y dando como valor de retorno el porcentaje de identidad de la secuencia para cada cóntigo.

e. Se seleccionaron las secuencias con porcentaje de identidad mayor o igual al 80%, calculado por medio de la división de la cantidad de nucleótidos contenidos, entre el total de nucleótidos del gen. Además, se seleccionó el cóntigo del genoma parcial en el cual se encontraron las secuencias.

2. Traducción de secuencias de ADN de los genes seleccionados a secuencias de aminoácidos.

a. Se tradujeron las secuencias de ADN a cadenas de aminoácidos utilizando la herramienta de traducción de ExpASy (Swiss Institute of Bioinformatics, 2011) Dicha herramienta provee seis cuadros de lectura, tres en la direccionalidad 5' 3', y tres en la direccionalidad 3' 5'.

b. Se seleccionó la proteína a modelar tomando como criterio el cuadro de lectura de mayor longitud, desde un codón de inicio hasta un codón de parada.

3. Modelado por homología de estructura tridimensional de proteína seleccionada

a. Se seleccionaron las proteínas homólogas a la proteína seleccionada basándose en la función y relación evolutiva entre las especies en las que está presente dicha proteína.

b. Luego, se modeló la proteína por homología utilizando el servidor web de SwissModel, una herramienta especializada en modelado por homología (Arnold *et al.*, 2006; Benkert *et al.*, 2011; Biasini *et al.*, 2014). En este paso se verificó que las proteínas homólogas elegidas fueran parte de las propuestas por la herramienta.

c. Finalmente, se analizaron los resultados del modelado con la finalidad de evaluar la calidad del mismo, para el mejor candidato en términos de relación evolutiva con la proteína del hongo y de estimadores. Esta estructura se evaluó luego en el servidor QMEAN para la estimación de calidad del modelo (Benkert *et al.*, 2009; Swiss Institute of Bioinformatics, 2016), cuyo resultado se utilizaría después para el análisis de la proteína modelada.

4. Acoplamiento de molécula con la proteína generada. Se realizó un acoplamiento molecular de la proteína seleccionada con dos diferentes ligandos propuestos para la proteína, utilizando SwissDock, un servicio web que permite predecir las interacciones moleculares entre la proteína y el ligando. Este servicio se basa en el software EADock, cuyo algoritmo genera diferentes modos de enlace, los cuales son agrupados en clústers. La configuración utilizada fue la predeterminada, utilizando la modalidad más precisa para garantizar la máxima calidad posible de los resultados.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en el desarrollo de la metodología se obtuvieron los siguientes resultados según área.

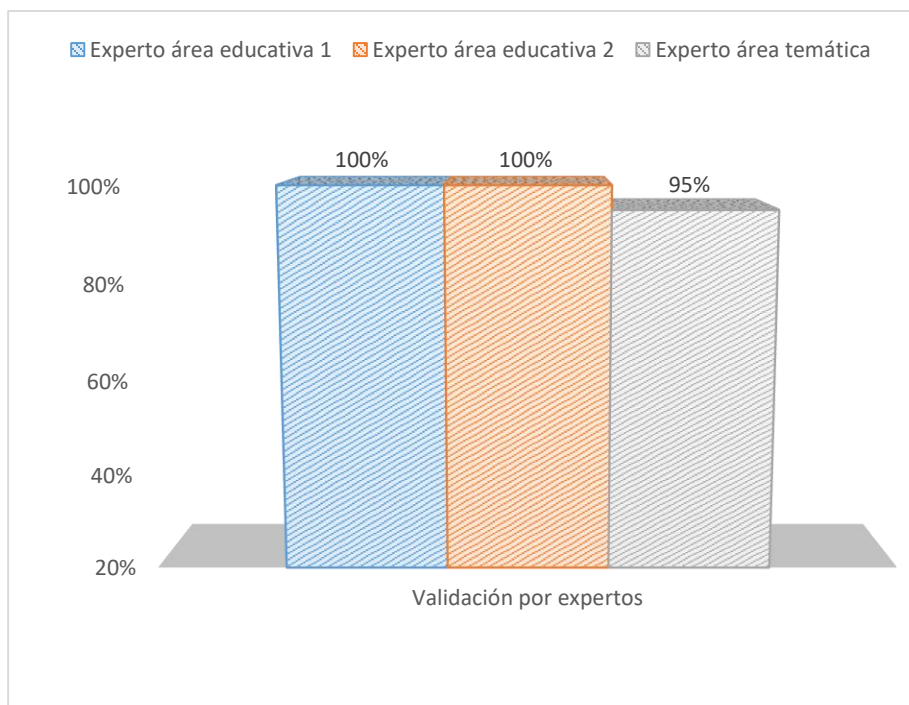
A. Área psicopedagógica

El manual de actividades propuesto fue tomado en consideración tomando como referencia la siguiente información.

1. El cafeto

Actividad 1: El Mapa Artístico

Figura 12: Validación general por expertos actividad el Mapa Artístico.

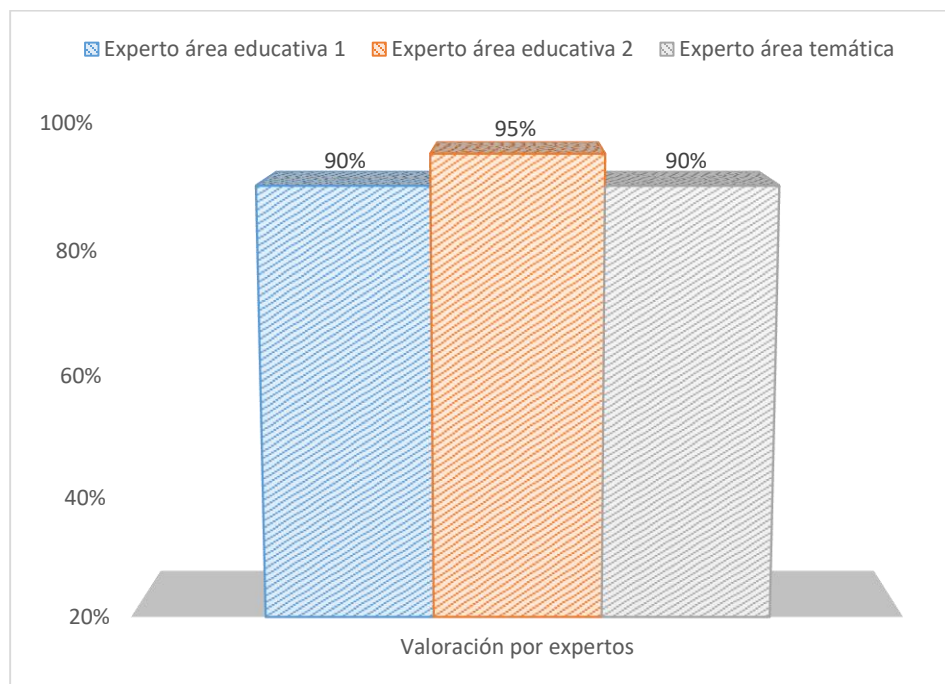


Fuente: Elaboración por Valeska Xot con base en los datos de la validación de expertos.

La gráfica indica que la actividad “El Mapa Artístico” dentro del área educativa por experto 1 y 2 obtuvo una ponderación de 100% comentarios por experto la actividad presenta una estructura ordenada en base a un objetivo único que permite un aprendizaje significativo del tema del café. El experto en el área temática considera la actividad atractiva y dinámica para dar a conocer la distribución del café en Guatemala, la calificación obtuvo el 95% lo cual indica que es una actividad para cualquier persona que desee aprender del cafeto. A partir de esto se considera adecuada para integrar en el módulo I: del manual general de actividades.

Actividad 2: El Mural Artístico del Café

Figura 13: Validación general por expertos actividad el Mural Artístico del Café.



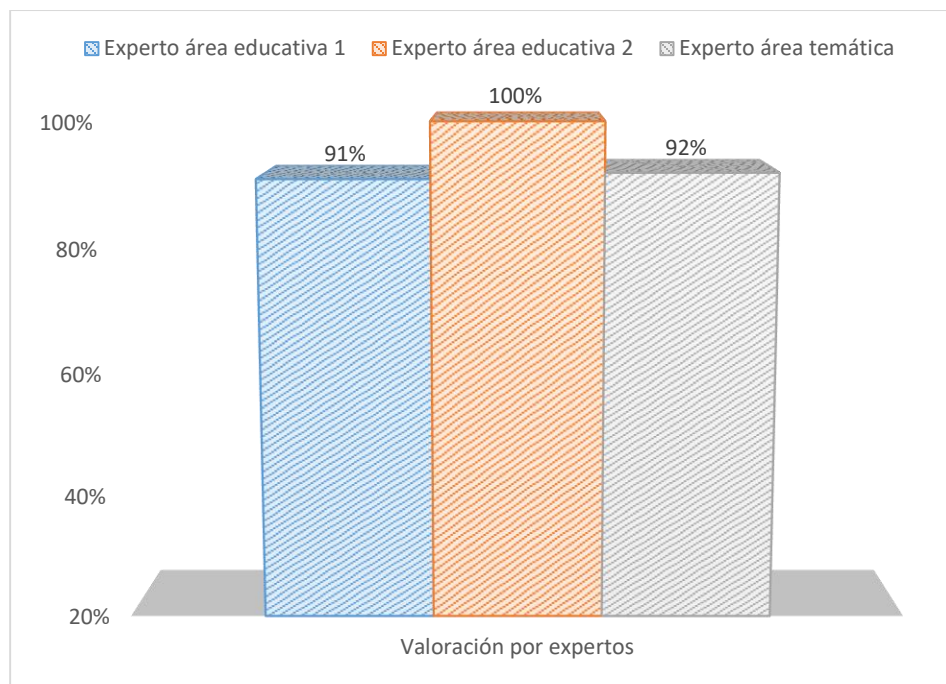
Fuente: Elaboración por Valeska Xot con base en los datos de la validación de expertos.

En la gráfica se puede observar que la actividad “El mural artístico del café” obtuvo una ponderación por expertos en el área educativa 1 y experto en el área temática el 90% los expertos indican que la actividad se adapta a la temática del café con datos e información reales del tema, además agregan que puede ser flexible y libre para los estudiantes ya que permite explorar la creatividad y el espacio libre para tomar decisiones al ejecutar el trabajo. Se considera adecuada para integrar en el módulo I: del manual general de actividades.

2. Historia del cafeto en el mundo y en Guatemala

Actividad 3: Globos Históricos

Figura 14: Validación general por expertos actividad Globos Históricos.

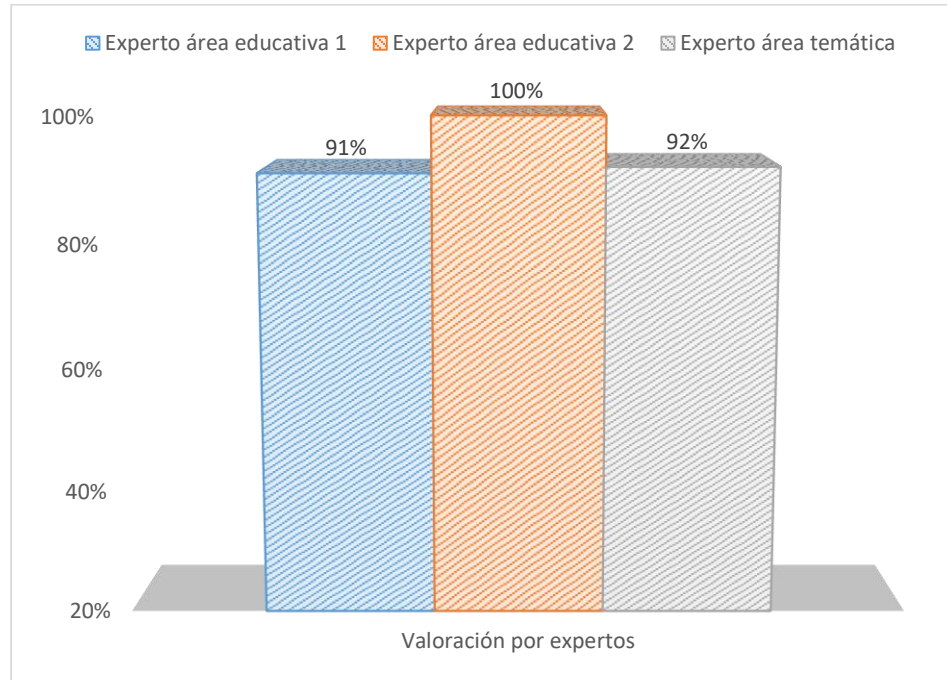


Fuente: Elaboración por Paola Estrada con base en los datos de la validación de expertos.

En la gráfica expuesta se puede observar que la actividad obtuvo en todas las áreas una ponderación mayor al 60% lo cual indica según el marco metodológico que la actividad es válida para ser incluida en el manual en el módulo II “Historia del Café en el Mundo y en Guatemala”.

Actividad 4: Cafeto Pelotas

Figura 15: Validación general por expertos actividad Cafeto Pelotas.



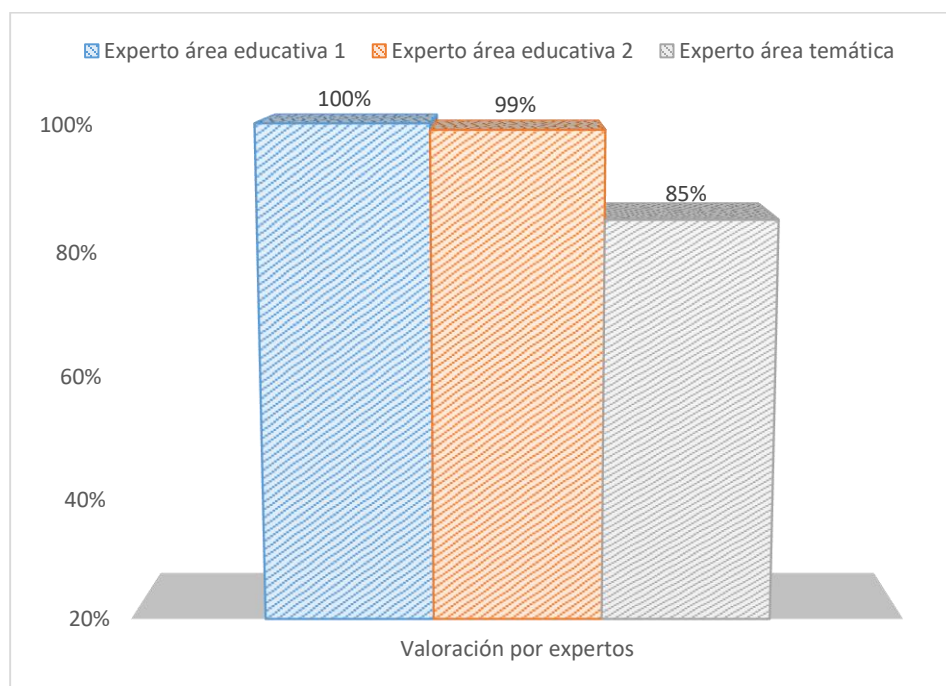
Fuente: Elaboración por Paola Estrada con base en los datos de la validación de expertos.

En la gráfica expuesta se puede observar que la actividad obtuvo en todas las áreas una ponderación mayor al 60% lo cual indica según el marco metodológico que la actividad es válida para ser incluida en el manual en el módulo II “Historia del Café en el Mundo y en Guatemala”.

3. Utilización de fertilizantes

Actividad 5: Adivina Adivinanza

Figura 16: Validación general por expertos actividad Adivina Adivinanza.

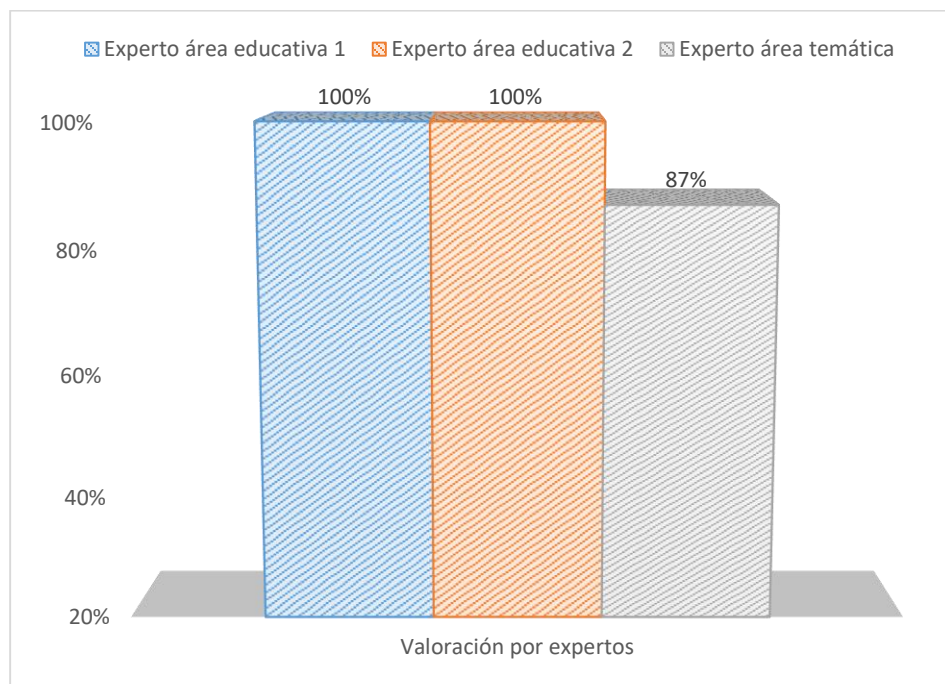


Fuente: Elaboración por Andrea Abboud con base en los datos de la validación de expertos.

En la gráfica anterior se visualiza la actividad “Adivina, adivinanza” los expertos en el área educativa y psicológica, el primer profesional le ha dado un puntaje del 100% y se considera que la actividad cumple los objetivos donde se indican las inteligencias múltiples que se pretenden desarrollar en los participantes y el área de la temática abordada. Asimismo, cumple con el contenido de la actividad y la metodología detallada de cómo se llevará a cabo la actividad y en el aspecto de evaluación es aconsejable modificar el nombre de la actividad relacionándolo con la temática a trabajar; mientras que el otro experto, le dio una ponderación del 99% haciendo énfasis que dentro del área del contenido, la guía de respuestas es adecuada; sin embargo, se podría mejorar la calidad del material con el fin de fomentar un mayor involucramiento de los participantes. Por su parte, el experto en el área temática del cafeto le ha dado un puntaje de 85% donde señala que la información es adecuada en la temática a trabajar, los datos son reales y relevantes, la información es lógica y coherente, la actividad es novedosa y llamativa y que se puede ejecutar dentro del contexto cafetalero. Sin embargo, es importante resumir las fichas de adivinanza, de tal manera, que se les proporcione a los participantes la información necesaria para su mejor aprendizaje.

Actividad 6: Lotería de los Elementos

Figura 17: Validación general por expertos actividad Lotería de los Elementos.



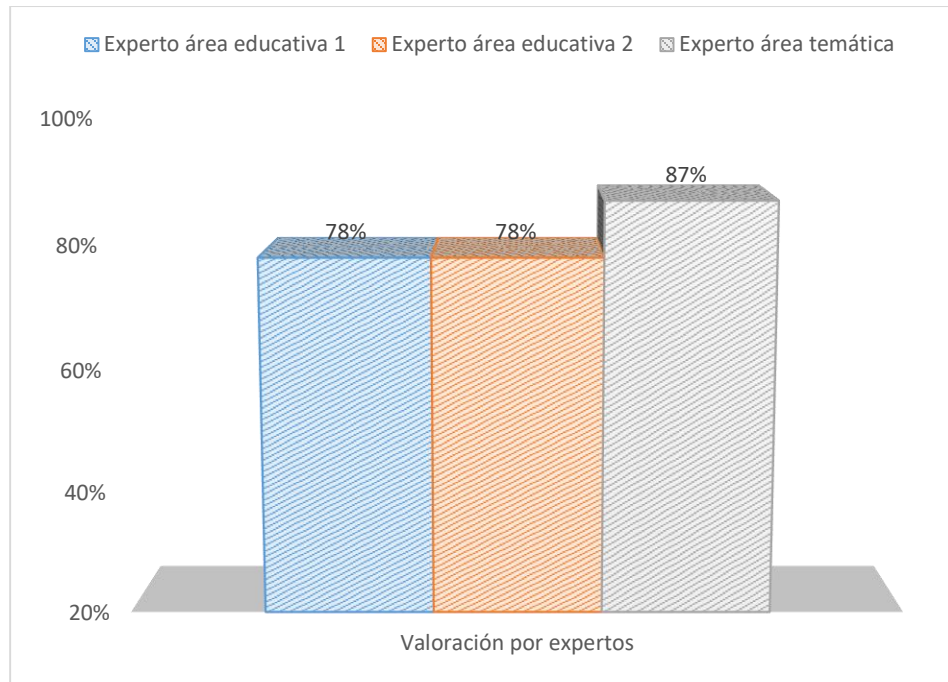
Fuente: Elaboración por Andrea Abboud con base en los datos de la validación de expertos.

En la gráfica anterior se presentan los resultados con relación a la actividad “Lotería de los elementos” los expertos en el área educativa y psicológica, ambos expertos le han dado un puntaje del 100% haciendo la sugerencia de contemplar el diseño de un tablero o fichas adheribles para hacerlo de facilidad al contexto en el cual se ejecutará la actividad y enfatizando que la estructura de la actividad es excelente y que se procure incluir algún reforzador entre los participantes. Por otro lado, el experto en el área temática del cafeto le ha dado un puntaje de 87% en las distintas áreas de la escala de calificación de la validación de actividades donde señala en el área del contenido de la actividad que la información desarrolla las competencias expuestas en los objetivos, contiene información de la temática a trabajar, es lógica y coherente y contiene datos reales y relevantes; y a su vez, en el área de aspectos generales sobresale que la actividad es novedosa y llamativa, el tiempo empleado para la actividad es adecuado y puede ejecutarse dentro del contexto cafetalero. Sin embargo, es importante que el facilitador que brindará las instrucciones sea breve y puntual, de tal manera, que los participantes comprendan la dinámica de la actividad.

4. La Roya

Actividad 7: Aprendiendo a identificar

Figura 18: Validación general por expertos actividad Aprendiendo a Identificar.

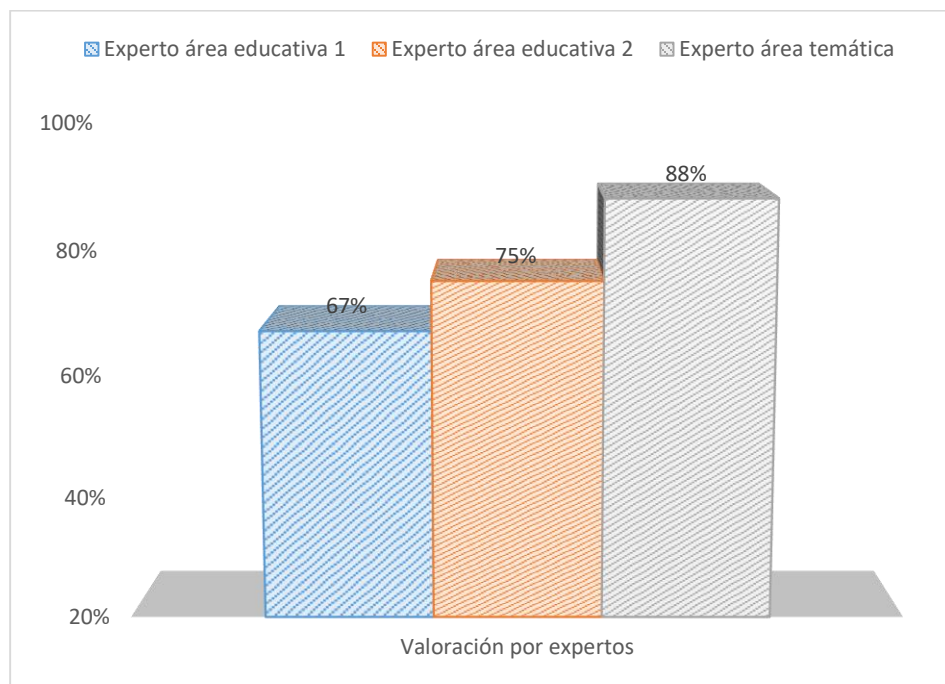


Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos en porcentaje de cada actividad ponderada por los tres expertos para el módulo de la Roya, se observa en la gráfica de arriba que las mismas fueron revisadas, validadas y aprobadas ya que se obtuvo un porcentaje arriba del 60%. Lo cual, nos indica que las referidas actividades son consideradas aptas para este tipo de investigación.

Actividad 8: La Roya en el Aire

Figura 19: Validación general por expertos actividad La Roya en el Aire.



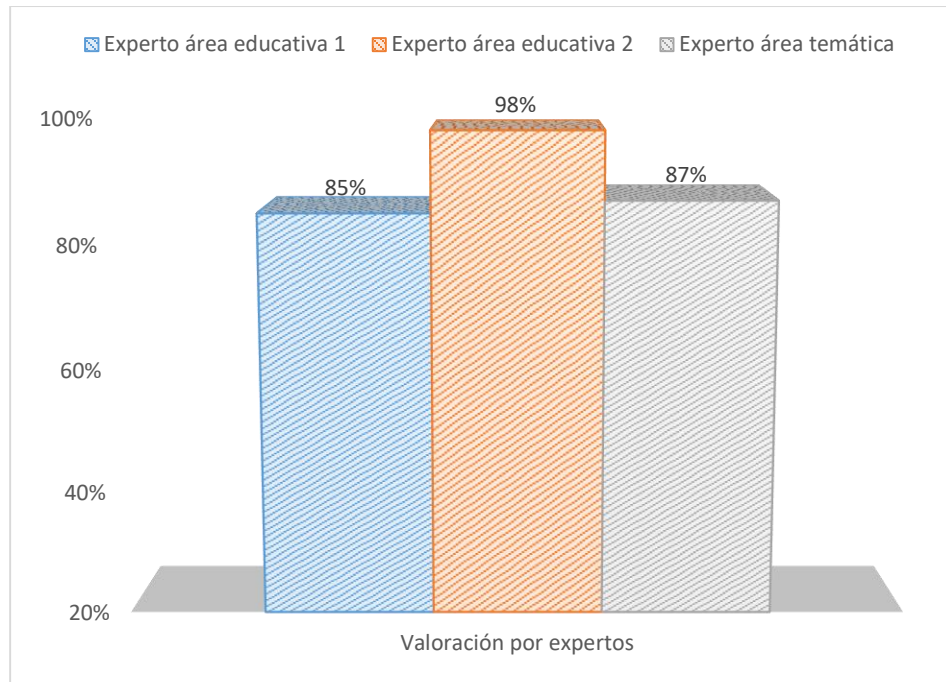
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se presentan los resultados con relación a la actividad “La Roya en el Aire”. Cabe mencionar que los dos expertos en el área educativa hicieron referencia que el contenido de las actividades desde el punto de vista pedagógico y psicológico, no se enfocaba en la información sino, en el material didáctico que se utilice por cada actividad. Indicando que el material didáctico es fundamental para los participantes, ya que por medio de los materiales nace el interés y se construye un aprendizaje, pero ante todo se pone en práctica el tema y se cumple con el contenido, tomando en cuenta que los materiales deben ser reales y de buena calidad y el experto temático da una ponderación de 88% debido al conocimiento del tema tanto en teoría como en la práctica.

5. Utilización de fungicidas y otros métodos preventivos

Actividad 9: Se ha Perdido el Mensaje

Figura 20: Validación general por expertos actividad Se ha Perdido el Mensaje.

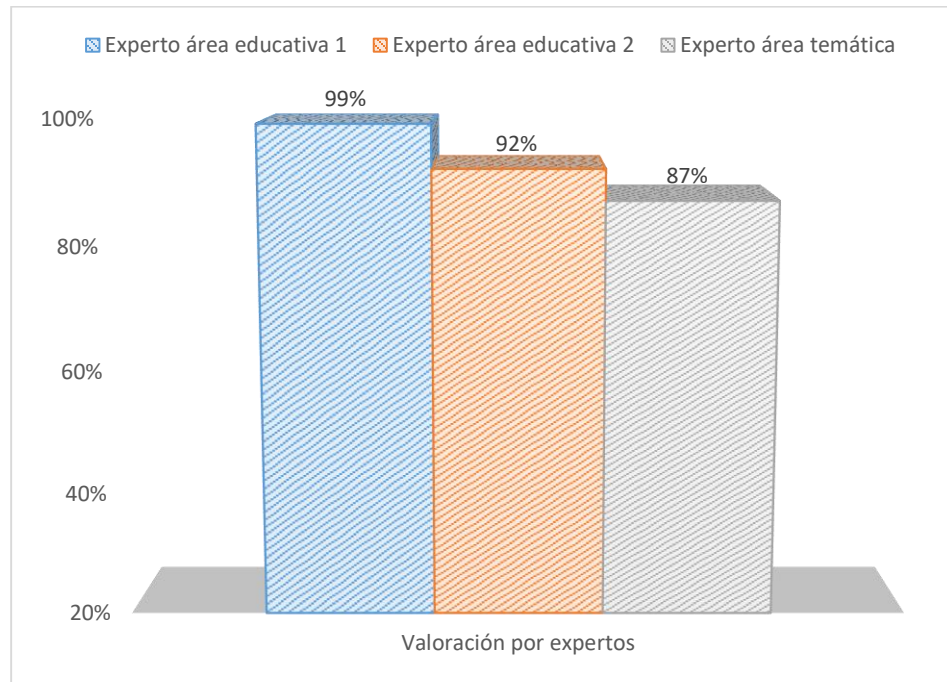


Fuente: Elaboración por Gabriela Jiménez con base en los datos de la validación de expertos.

En la gráfica se observa que la actividad obtuvo en las tres áreas de validación una ponderación mayor al 60% lo cual indica que es una actividad adecuada para ser incluido en el manual consolidado en el módulo cinco.

Actividad 10: Todos a Equiparse

Figura 21: Validación general por expertos actividad Todos a Equiparse.



Fuente: Elaboración por Gabriela Jiménez con base en los datos de la validación de expertos.

En la gráfica se observa que la actividad obtuvo en las tres áreas de validación una ponderación mayor al 60% lo cual indica que por su temática, ponderación y comentario es apta para ser incluida en el manual consolidado en el módulo cinco.

B. Área bioinformática

1. Identificación de genes de virulencia por medio del alineamiento del genoma parcial de *H. vastatrix* con secuencias de genes de proteínas secretadas por el hongo.

Cuadro 5: Genes encontrado en genoma parcial de *H. vastatrix* por medio del alineamiento de secuencias de ADN.

Nombre	Cóntigo	Identidad
Hv01268	Contig_116415	0.996
Hv00297	Contig_6238	0.997
Hv00303	Contig_20932	0.994
Hv00357	Contig_230428	0.997
Hv01506	Contig_24199	0.996

El cuadro muestra los resultados del alineamiento por medio de la implementación en Java de Jaligner. De los ocho genes seleccionados descritos por Talhinhos *et al.* (2014), se encontraron únicamente cinco dentro del genoma parcial de *H. vastatrix* ensamblado, tomando como criterio de elección un porcentaje de identidad igual o mayor al 80%. Los alineamientos con un porcentaje de identidad menor a este se excluyeron debido a la cantidad de datos generada.

2. Traducción de secuencias de ADN de los genes seleccionados a secuencias de aminoácidos.

Cuadro 6: Cuadros de lectura de mayor longitud para cada gen encontrado en genoma parcial de *H. vastatrix*.

Nombre	Cuadro de lectura	Dirección	Cantidad de aminoácidos
Hv01268	3	5'3'	295
Hv00297	2	5'3'	193
Hv00303	3	5'3'	237
Hv00357	2	5'3'	223
Hv00156	3	5'3'	134

Se tradujeron las secuencias de los cinco genes encontrados en el alineamiento a sus respectivas cadenas de aminoácidos, lo cual dio seis resultados, ya que dio tres cuadros de lectura en las direcciones 3'5' y 5'3'. A partir de esto, se seleccionó el cuadro de lectura de mayor longitud entre los seis resultados para cada gen, tomando como criterio la cantidad de aminoácidos entre dos codones de parada. Los nombres de los cuadros de lectura de mayor longitud para cada gen aparecen en el Cuadro 4. En el Anexo B se encuentran las cadenas de aminoácidos para cada cuadro seleccionado.

3. Modelado por homología de estructura tridimensional de proteína seleccionada. La secuencia seleccionada para el modelado fue el cuadro de lectura 3 en dirección 5'3' del gen Hv001268, el cual codifica para la enzima superóxido dismutasa manganeso (MnSOD). Se realizó el modelado de la estructura tridimensional utilizando el servicio web de Swissdock, utilizando la misma proteína presente en *Aspergillus fumigatus* como plantilla, dando como resultado un archivo en formato PDB del cual se obtuvo una captura de pantalla, como se muestra en la Figura 22. Además, se obtuvieron los valores del análisis cualitativo del modelo de energía (QMEAN por sus siglas en inglés), QMEAN normalizado, la estimación global de la calidad del modelo (GMQE por sus siglas en inglés), y el porcentaje de cobertura del modelo sobre la proteína homóloga utilizada como plantilla. Estos resultados se pueden observar en el Cuadro 5. Además, se incluyen los resultados del análisis de calidad del servidor de QMEAN en la Figura 23.

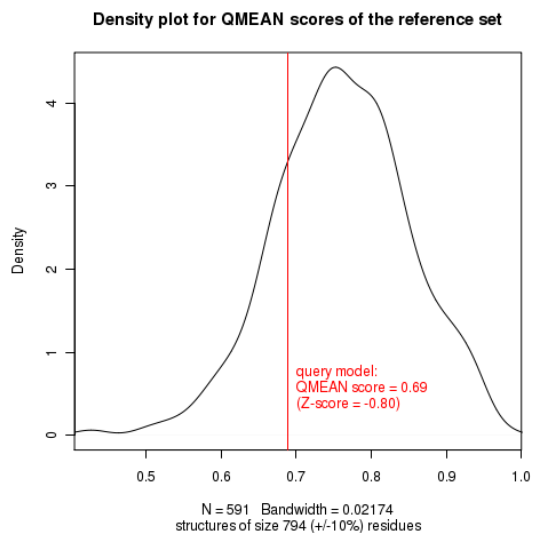
Cuadro 7: Indicadores de modelado por homología de MnSOD presente en *H. vastatrix*.

PDB Id	Organismo con	QMEAN				
	proteína homóloga	GMQE	QMEAN	normalizado	Cobertura	Identidad
	<i>Aspergillus</i>					
1kkc	<i>fumigatus</i>	0.59	-3.88	0.689	0.76	0.40

Figura 22: Captura de pantalla de modelo tridimensional de MnSOD presente en *H. vastatrix*.



Figura 23: Gráfica de densidad para valores de referencia de QMEAN en acoplamiento de MnSOD con ascaridol.



4. Acoplamiento de molécula con la proteína generada. Con la proteína modelada, se realizó un acoplamiento molecular utilizando SwissDock, por medio del archivo PDB generado en la sección anterior para MnSOD, y utilizando ascaridol como ligando el cual se obtuvo de la base de datos de ZINC (Irwin *et al.*, 2012). Se encontraron 256 conformaciones del ligando en la proteína, los 10 confórmeros con mayor afinidad se muestran en el cuadro 6. Además, se puede observar la relación entre el sitio activo de la proteína con el ligando en la sección C de Anexos.

Cuadro 8: Diez configuraciones con modos de ligado con mayor afinidad, resultado de acoplamiento entre MnSOD y ascaridol.

Cluster	Confórmero	Energía total relativa (kcal/mol)	ΔG aproximado (kcal/mol)
0	4	0.00	-5.76
4	8	0.46	-5.75
12	5	0.58	-5.60
10	6	0.58	-5.55
10	7	2.05	-5.47
18	13	2.23	-5.58
18	14	2.61	-5.57
18	15	2.63	-5.58
37	0	3.37	-5.35
37	1	3.41	-5.35

Con el objetivo de realizar un estudio bioinformático de proteínas diana presentes en la Roya del café, se procedió a detectar la presencia de 8 genes de proteínas secretadas por el hongo de la Roya descritos por Thalhinas *et al.* (2014) por medio del alineamiento de los mismos con el genoma parcial híbrido de *H. vastatrix* ensamblado por Cristancho *et al.* (2014). Se seleccionaron las secuencias alineadas en el genoma parcial con un porcentaje de identidad mayor al 80%, y se tradujeron a su cadena de aminoácidos, de las cuales se seleccionó la cadena con el segmento de mayor longitud entre dos codones de parada. Luego, se obtuvo una estructura atómica inicial para dicha cadena de aminoácidos por medio de modelado por homología en el servicio web SwissModel para, finalmente con el resultado obtenido, realizar un acoplamiento con un ligando propuesto por medio del servicio web SwissDock.

La primera fase del proyecto, que consistió en la identificación de genes presentes en el genoma del hongo, hizo uso de varias herramientas y dos lenguajes de programación. Primero, se utilizó Python para separar el genoma en sus cóntigos, ya que el ensamblado contenía todos los cóntigos dentro de un mismo archivo y el alineamiento se realiza en pares de secuencias. Esta separación del genoma parcial dio como resultado 396264 cóntigos, los cuales se alinearon luego con cada uno de los 8 genes de proteínas presentados del Cuadro 7 al Cuadro 14 del Anexo A de este documento. Para realizar este alineamiento se creó un script utilizando el lenguaje de programación Java, el cual evaluó cada uno de los genes con cada uno de los cóntigos del genoma, realizando en total 3170112 alineamientos. El alineamiento de cada uno de los genes con todo el genoma parcial, es decir con todos los cóntigos, el tiempo de ejecución osciló entre 2 y 2 horas y media, variando según el tamaño de la secuencia del gen. Los alineamientos se realizaron en una computadora con procesador Intel Core i3 de 2.40 GHz con 3 Gb de memoria RAM con sistema operativo Debian 8.0.

Se decidió utilizar aquellas secuencias con un porcentaje de identidad de por lo menos 80% dentro del genoma parcial ya que este indicador dice qué porcentaje de una secuencia (el gen) exactamente contenida dentro de otra (cóntigo del genoma). Esperando que se obtuvieran resultados alrededor de este valor, las cinco secuencias encontradas tuvieron un porcentaje de identidad mayor al 99% de acuerdo al algoritmo utilizado. Posterior a los resultados, se comparó manualmente cada una de las secuencias encontradas con los cóntigos donde se reportaron encontradas, y las cinco secuencias se encontraron completamente contenidas dentro de estos cóntigos (*i.e* con un 100% de identidad), sin embargo, la razón por la cual Jaligner no retornó 100% en ninguna puede deberse a las aproximaciones por los cálculos realizados por las matrices de punteos que utiliza el algoritmo, que incluyen variaciones de BLOSUM y de PAM, así como las matrices de DAYHOFF, EDNAFULL, GONNET, IDENTITY, y MATCH (Moustafa, 2010). Cada una de las secuencias encontradas fue luego traducida a su respectiva cadena de aminoácidos utilizando la herramienta de traducción de Expasy (Swiss Institute of Bioinformatics, 2011), la cual provee 6 cuadros de lectura abiertos para cada secuencia, 3 para la direccionalidad 5'3' y 3 para la direccionalidad 3'5', debido a que para cada una de las direccionalidades existen tres combinaciones para la interpretación de nucleótidos como aminoácidos. Se analizó manualmente cada uno de los cuadros de lectura generados para determinar cuál era el mejor de cada secuencia basándose en la cantidad máxima de aminoácidos entre dos codones de parada. Para las cinco secuencias se encontró el máximo en la direccionalidad 5'3', sugiriendo que todas las secuencias alineadas contaban con la misma

direccionalidad. Además, entre los cuadros de lectura seleccionados, se seleccionó el gen con mayor cantidad de aminoácidos, Hv01268, el cual es un gen de MnSOD del hongo. La razón por la cual se seleccionó el de mayor longitud fue porque esto maximizaría la probabilidad de poder encontrar una proteína en el fragmento, ya que no solo se buscaba el de mayor longitud, sino que también el que contuviera una cadena más larga a partir de la primera metionina.

Luego de tener ya una secuencia de aminoácidos, se realizó el modelado por homología utilizando el servicio web de SwissModel (Arnold *et al.*, 2006; Benkert *et al.*, 2011; Biasini *et al.*, 2014). Inicialmente, se buscaron proteínas homólogas a la seleccionada, sin obtener resultados positivos, ya que solo se encontró la misma proteína (MnSOD) en humanos.

Sin embargo, SwissModel permite realizar una búsqueda de plantillas dentro de la base de datos de RCSB, siendo solo necesaria la secuencia de la proteína a modelar, por lo cual se procedió de esta manera para verificar si existían otras estructuras reportadas previamente. Entre los resultados obtenidos del alineamiento, se reportaron 43 plantillas con las que se llegó a algún tipo de similitud con la secuencia sometida. De estas plantillas o estructuras homólogas, se seleccionó un modelo basándose en el organismo al que pertenece la estructura homóloga, el estimador QMEAN, y el estimador GMQE como se observa en el Cuadro 5. El organismo al cual pertenece la estructura homóloga es *A. fumigatus*, aunque ambos organismos que poseen el gen que codifica para la proteína sean hongos, estos pertenecen a diferentes filos (Ascomycota para *A. fumigatus*, y Basidiomycota para *H. vastatrix*), sin embargo, este fue el organismo más cercano con una proteína reportada de MnSOD (Flückiger *et al.*, 2002). El GMQE obtenido para este modelo fue de 0.59 (este valor va de 0 a 1, donde 1 es mejor) y es un estimador de SwissModel para decir de qué tan buena calidad es el modelado, por lo que se podría decir que el modelo se encuentra en un rango aceptable de calidad según este valor. El valor de QMEAN obtenido fue de -3.88, lo cual sugiere que este resultado no es confiable, sin embargo este valor necesita ser normalizado para tener un significado, el cual se obtuvo sometiendo la proteína generada al servidor de QMEAN para la estimación de calidad del modelo. Los resultados de este análisis muestran que el valor de QMEAN está en un rango aceptable (0.689), comparado con otras estructuras de referencia de la base de datos de PISA que utiliza el programa para comparar (Benkert *et al.*, 2011) como se observa en la Figura 23.

En el último paso, se realizó un acoplamiento molecular utilizando SwissDock, utilizando como ligando de prueba ascaridol, objeto de estudio de Lucía Nitsch. Dicha molécula es un aceite esencial del epazote (*Dysphania ambrosioides*), por lo que en el futuro podría evaluarse la factibilidad de esta planta como fungicida natural para la reducción de Roya (Nitsch, 2016). De este acoplamiento surgieron 256 configuraciones posibles del ligando con la proteína, lo cual indica la posición de la molécula (clúster en que se encuentra) y su orientación (confórmero). El Cuadro 6 muestra las primeras diez configuraciones con modos de ligado con mayor afinidad en términos de energía total y energía libre de Gibbs, en los cuales un valor menor significa mayor afinidad (Kuntz *et al.*, 1999; Grosdidier *et al.*, 2007). Sin embargo, la meta de un acoplamiento no debe ser buscar afinidad, sino encontrar el modo de enlace más apropiado. Para verificar esto, se graficó el resultado del acoplamiento utilizando el programa computacional USFC Chimera (Petersen, *et al.*, 2004), una

herramienta de visualización y análisis molecular, en la cual se filtró el resultado para mostrar únicamente el sitio activo y las configuraciones del ligando. Analizando visualmente todas las configuraciones, se observó que ninguna se enlazaba directamente sobre el sitio activo, y se incluye en la sección C de Anexos de este documento imágenes de esta interacción para las diez configuraciones mencionadas en el Cuadro 6. Por esta razón, se puede decir que el ligando propuesto no se logró acoplar en el sitio activo con la proteína modelada, aunque sí lo haya hecho en otros sitios de la proteína.

El análisis realizado para determinar la calidad de los resultados del modelado por homología y el acoplamiento molecular se basó en los criterios utilizados por SwissModel y SwissDock respectivamente, por lo que, en futuros estudios podría compararse los resultados obtenidos con otras herramientas de modelado y acoplamiento, así como la evaluación de diferentes secuencias y ligandos para poder obtener resultados más amplios.

Es necesario realizar este tipo de estudios previo a realizar pruebas de laboratorio, ya que dan una guía del tipo de resultados esperados, así como disminuye costos en experimentación. Este estudio sirve de guía para futuros análisis en el área que busquen explorar cada una de las áreas presentadas aquí con mayor detalle.

VII. CONCLUSIONES

Con base a los objetivos de módulo planteados se concluye:

- El café es uno de los productos con mayor demanda económica y de consumo a nivel mundial, por lo que el impacto del declive de la demanda en cuanto a producción, calidad y exportación causan daños individuales y grupales a nivel nacional y mundial. Tras la pérdida significativa se han desarrollado medidas preventivas y de control de la Roya.

- Para la divulgación y prevención de la Roya es necesario que la sociedad adopte medidas de prevención que se aborden a través del proceso de aprendizaje.

- El manual desarrollado por el área de psicopedagogía contiene diez actividades validadas por tres expertos, cada actividad obtuvo una ponderación superior, comentarios adecuados y menores cambios en estructura.

- El manual de actividades está preparado en estructura y metodología para ser desarrollado y validado con público meta.

- Se encontró que cinco de ocho secuencias predichas por Talhinas *et al.* (2014) se encuentran presentes en el genoma parcial del hongo de la Roya ensamblado por Cristancho *et al.* (2014) con un porcentaje de identidad mayor al 80%.

- Se modeló la estructura tridimensional para el peróxido dismutasa manganeso (MnSOD), una de las proteínas encontradas en el genoma parcial del hongo de la Roya, utilizando herramientas bioinformáticas de modelado por homología, utilizando como plantilla la misma proteína presente en *A. fumigatus*.

- Un acoplamiento molecular realizado con la herramienta web SwissDock determinó que el ascaridol no se acopla en el sitio activo de la proteína MnSOD presente en *H. vastatrix*.

VIII. RECOMENDACIONES

- Darle continuidad y seguimiento al desarrollo de material didáctico y pedagógico, que contribuya a concientizar a los estudiantes y a la población cafetalera, mediante la validación en campo con público meta que aporte al enriquecimiento de los temas relacionados con la información, divulgación y prevención de la Roya.
- Que en cada grado de nivel educativo correspondiente, incluya las actividades contenidas en el “Manual de Actividades Psicopedagógicas para el control de la Roya”, dentro de su planificación de actividades, adaptando el vocabulario al nivel educativo y de comprensión del grupo de estudiantes.
- Conforme a los resultados y evaluación del experto del área pedagógica se recomienda para futuros Megaproyectos, incluir actividades, materiales y técnicas que potencien el aprendizaje autónomo y la iniciativa del pequeño caficultor, tomando en cuenta los modelos de enseñanza aprendizaje de Howard Gardner.
- Incentivar programas o manuales de capacitación para el presente manual de actividades y de esa manera, lograr aumentar el número de facilitadores competentes para desarrollar el programa en las regiones cafetaleras.
- Utilizar diferentes herramientas de software en cada uno de los procesos realizados, con la finalidad de obtener diferentes perspectivas en cuanto a los resultados, así como la exploración de diferentes metodologías en este tipo de investigaciones.
- Validar información biológica utilizando secuencias de diferentes fuentes, ya que la degradación de estas puede hacer que baje su calidad.
- Realizar pruebas de proteínas modeladas con software de mecánica molecular, con el fin de realizar estudios de relajamiento molecular para observar la futura interacción con posibles ligandos.
- Realizar una elección de enzimas tomando en cuenta características de la molécula y su posible interacción con las proteínas previo a realizar un acoplamiento molecular.
- Realizar acoplamiento molecular con estructuras ya reportadas de proteínas homólogas, con la finalidad de observar las interacciones que pueden llegar a tener con los ligandos.
- Al realizar un modelado por homología, verificar la existencia de proteínas homólogas en las que el organismo esté lo más relacionado posible con el que se desea modelar para poder obtener una estructura de mayor calidad.

- Si se opta por realizar alineamientos de secuencias, modelado de proteínas, o acoplamiento molecular en un servidor web, verificar que este provea resultados que vayan acorde a las necesidades, además de tomar en cuenta el tiempo que puede tomar el servidor para desarrollar una tarea.
- Previo a las pruebas de laboratorio para el diseño de fármacos, realizar simulaciones por computadora ya que dan una vista previa de los resultados esperados, así como representan un ahorro de recursos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, Melvin. & Rojas, G. 1994. *El cultivo y beneficiado del café*. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia. 184 págs.

AMECAFÉ. 2012. *Taller de homologación de la estrategia de innovación*.
<http://amecafe.org.mx/downloads/Plagas%20y%20enfermedades%20del%20cafeto.pdf>.

Anacafé. 1988. *Manual de caficultura Guatemala*. Guatemala. 247 págs.

_____; 2006. *Guía técnica de caficultura*. Guatemala. 214 págs.

_____; 2011. *¿Qué es la roya del café?*
https://www.anacafe.org/glifos/index.php/12PRIN:Que_es_la_Roya [20 de junio de 2016]

_____; 2013. *Asociación Nacional del Café: Misión*.
https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=10CON:anacafe_mision [Consultado el 16 de Noviembre de 2016]

_____; 2013a. *Los cafés de Guatemala*.
https://www.anacafe.org/glifos/index.php/BuenCafe_CafesdeGuatemala [Consultado el 10 de mayo de 2016]

_____; 2013b. *La roya del café es una enfermedad temible pero puede controlarse*.
https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Recomendaciones_Control_Roya [Consultado el 1 de abril de 2016]

_____; 2013c. *Los cafés de Guatemala*.
https://www.anacafe.org/glifos/index.php/BuenCafe_CafesdeGuatemala [10 de mayo de 2016]

_____; 2015. *De la roya del café*. <http://scanprogram.org/wp-content/uploads/2012/08/BPA-3.-La-Roya-del-Caf%C3%A9-20150914.pdf> [20 de junio de 2016]

_____; 2015a. *Historia del café de Guatemala*.
http://www.anacafe.org/glifos/index.php/10CON:Historia_del_Cafe

_____; 2016. *Exportación Realizada de Café de Guatemala Cosecha 2015-2016*
http://www.anacafe.org/glifos/images/c/c9/ExpMar_2016.pdf [10 de mayo de 2016]

_____; 2016a. Departamento de Comercialización de Anacafé Recuperado de http://www.anacafe.org/glifos/index.php/02EYP:Registro_expodestinos [10 de mayo de 2016]

_____; 2016b. Establecimiento de cafetales. https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=CaficulturaOrganica_Cafetales [20 de junio de 2016]

Anzuetto Francisco. 2013. Variedades de café resistentes a la roya. Anacafé. *Revista el Cafetal Abril - Junio*. Guatemala. pp. 3-4

_____. 2013a. Variedades de café resistentes a la roya. *El Cafetal*. https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Variedades_resistentes_a_roya [Consultado el 06 de mayo de 2016]

_____. 2013b. Variedades de café resistentes a la roya. *El Cafetal*. https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Variedades_resistentes_a_roya [Consultado el 06 de mayo de 2016]

_____. 2013c. *Variedades de café resistentes a la roya*. *El Cafetal*. https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Variedades_resistentes_a_roya [Consultado el 06 de mayo de 2016]

_____. 2015. La roya del café en Guatemala. <http://www.entremundos.org/revista/economia/la-roya-del-cafe-en-guatemala/> [Consultado el 1 de abril de 2016]

Armstrong, T. 2000. *In their own way: Discovering and encouraging your child's multiple intelligences*. Nueva York: Penguin Putnam.

_____: 2003. *You're smarter than you think: A kid's guide to multiple intelligences*. Minneapolis, MN: Free Spirit Publishing.

Arneson, P.A. 2000. Coffee rust. The Plant Health Instructor. <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/CoffeeRust.aspx> [Consultado el 1 de abril de 2016]

Arnold, K., *et al.* 2006. The SWISS-MODEL workspace: a web-based environment for protein structure homology modelling. *Bioinformatics*. 22: 195-201

- Avelino J., *et al.* 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*. 7(2): 303-321
- Benkert, P., *et al.* 2009. QMEAN Server for Protein Model Quality Estimation. *Nucleic Acids Research*. 1(37): 510-514
- Benkert, P., *et al.* 2011. Toward the estimation of the absolute quality of individual protein structure models. *Bioinformatics*. 27: 343-350
- Bernal, Obdulio. 2009. *La escuela digital. Desafíos de la innovación educativa*. México: Fundación Telefónica. 186 págs.
- Betancur-Caro, M, Molina, D, & Cañizaies-Romaña, L. 2016. Entrenamiento Cognitivo de las Funciones Ejecutivas en la Edad Escolar. *Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales, Niñez Y Juventud*. 14, 1, pp. 359-368, Fuente Académica Premier, EBSCOhost, [5 agosto de 2016]
- Biasini, Marco *et al.* 2014. SWISS-MODEL: modelling protein tertiary and quaternary structure using evolutionary information. *Nucleic Acids Research* 42 (W1): W252-W25
- Campos-Almengor, O. F., *et al.* 2013. Análisis sobre eficiencia de fungicidas contra la Roya del cafeto. *Anacafé. Revista el Cafetal Enero*. Guatemala.
- Chung Su, Subbiah S. 1996. A structural explanation for the twilight zone of protein sequence homology. *Structure*, 4: 1123–1127
- CONGCOOP. 2015. Federación de Cooperativa Agrícolas de Guatemala. Recuperado de <http://www.congcoop.org.gt/nuestros-miembros/27-federacion-de-cooperativas-agricolas-de-guatemala-fedecoag.html>
- Cristancho, Marco, *et al.* 2014. Annotation of a hybrid partial genome of the coffee rust (*Hemileia vastatrix*) contributes to the gene repertoire catalog of the Pucciniales. *Frontiers in Plant Science*. 5: 494
- Del Campo, Jorge. 2008. *¿Qué es la estrategia y cuál es su relación con los proyectos?* <http://www.avanzaproyectos.com/blog/que-es-la-estrategia-y-cual-es-su-relacion-con-los-proyectos/> [13 de mayo de 2016]

- EDUCREA (1999) Capacitación, perfeccionamiento y actualización docente en todo Chile, estilos y metodologías de aprendizaje. Recuperado de <http://educrea.cl/estilos-y-metodologias-de-aprendizaje/>
- Estrada, G. d. 2012. *Epidemiología de la roya del café*. Universidad de San Carlos. Guatemala biblio. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2810.pdf. [20 de junio de 2016]
- Ferreira Stephen, Boley R. 1998. *Coffee Leaf Rust (Plant Disease Pathogen)*. http://www.extento.hawaii.edu/kbase/crop/type/h_vasta.htm [Consultado el 7 de abril de 2016]
- Flückiger, S., *et al.* 2002. Comparison of the crystal structures of the human manganese superoxide dismutase and the homologous *Aspergillus fumigatus* allergen at 2-Å resolution. *The Journal of Immunology*. 168(3): 1267-1272
- García E. 2013. *Variedades de café*. En: http://www.anacafe.org/glifos/index.php/Variedades_de_cafe [Consultado el 1 de octubre de 2016]
- Gobierno de la República de Guatemala. 2015. *Situado constitucional*. Guatemala. 2 págs.
- Gouveia M., *et al.* 2005. Genetic diversity in *Hemileia vastatrix* based on RAPD markers. *Mycologia*. 97(2): 396-404
- Irwin, John, *et al.* 2012. ZINC: A Free Tool to Discover Chemistry for Biology. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 52(7): 1757-1768
- Kushalappa, A.C. y A.B. Eskes. 1989. Advances in coffee rust research. *Annual Review of Phytopathology*. 27:503-531.
- Macías, Nestor. (2012). *Principales enfermedades del cultivo del café*. http://www.ihcafe.hn/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=24:tec-guia-enfermedades&id=1:area-tecnica&Itemid=143&start=20 [17 de abril de 2016]
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. 2014. *Teoría de las inteligencias múltiples en la enseñanza de español*. <http://www.mecd.gob.es/dctm/redele/Material-RedEle/Biblioteca/2014bv15/2014-BV-15-01AliciaMarieShannon.pdf?documentId=0901e72b818c6a9e>
- Ministerio de Educación Nacional. 2008. *Orientaciones pedagógicas para la educación artística y cultural*. Colombia. 93 páginas.

- Moustafa, Ahmed. 2010. *JAligner: Open source Java implementation of Smith-Waterman*.
<http://jaligner.sourceforge.net> [Consultado el 30 de junio de 2015]
- Muñoz, Geldi. (2013). *Fraijanes afronta crisis cafetalera por la roya*.
http://www.anacafe.org/glifos/index.php/13NOT:NAC_Fraijanes_afronta_crisis_cafe
- Nitsch, Lucía. Ayala, Julio. Octubre de 2016. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
 Email: lnitsch@uvg.edu.gt. Tel: (502) 5978-4317.
- Pérez, Julián. 2008. *Definición de Modelo Educativo*. <http://definicion.de/modelo-educativo/>
- Pergamino. *Fertilización de cafetales, clave para la productividad*.
http://www.federaciondecafeteros.org/pergamino-fnc/index.php/comments/fertilizacion_de_cafetales_clave_para_la_productividad [5 de Junio de 2016]
- Pettersen, E., *et al.* 2004. UCSF Chimera--a visualization system for exploratory research and analysis.
 Computational Chemistry. 25(13): 1605-1612
- Procafé. 2012. *Documento Técnico del Café*.
<http://www.procafe.com.sv/menu/publicafe/documento%20tecnico%20drench%20procafe.pdf> [5 de Junio de 2016]
- Procafé. 2014. *Morfología Del Cafeto*. El Salvador
[.http://www.procafe.com.sv/menu/Generalidades/AspectosBotanicos.htm](http://www.procafe.com.sv/menu/Generalidades/AspectosBotanicos.htm) [30 de junio de 2016]
- Real Academia de la Lengua Española. (2016). *Roya*. <http://dle.rae.es/?id=WkuAcCn> [20 de abril de 2016]
- Reinoso, Miguel (2009). *Outdoor training, una nueva herramienta de formación para las empresas*. España: Wanceulen Editorial Deportiva S. L. pp. 75 – 85.
- Reinoso, Miguel 2009. *Outdoor training, una nueva herramienta de formación para las empresas*. España: Wanceulen Editorial Deportiva S. L. pp. 75 – 85.
- Robles, Elsa. 2013. *Producción y exportación de Café Guatemalteco*.
<http://www.deguate.com/artman/publish/produccion-guatemala/produccion-y-exportacion-de-cafe-guatemalteco.shtml#.Vy6Beb4nZ5A> [8 de mayo de 2016]

- Sal, Jes. 2014. *El aula, aspectos físicos y pedagógicos*. <https://prezi.com/qlrmdp4cpmji/el-aula-aspectos-fisicos-y-pedagogicos/> [09 de mayo de 2016]
- Sandoval, Omar. 2013. *Fraijanes produce nuevo grano de café*.
<http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=13NOT:Fraijanes-nuevo-cafe> [25 junio de 2016]
- Segeplan. 2011. *Demografía*.
[http://sistemas.segeplan.gob.gt/sideplanw/SDPPGDM\\$PRINCIPAL.VISUALIZAR?pID=POBLACION_PDF_113](http://sistemas.segeplan.gob.gt/sideplanw/SDPPGDM$PRINCIPAL.VISUALIZAR?pID=POBLACION_PDF_113) [07 de mayo de 2016]
- Sergio Bernal, B. (2 de octubre de 2008). musica, aprendizaje y emociones,. *Revista estilos de aprendizaje*, 1(2), 64. Recuperado el 10 de agosto de 2016, de
<http://learningstyles.uvu.edu/index.php/jls/article/view/144/102>
- Shanon A. M. 2013. *VNiversidad D Salamaca*. Obtenido de La Silberman, Mel. y Hasburn, F. 2000. *Inteligencia interpersonal*. Barcelona: Paidós. 277 págs.
- Suazo, Sonia. 2006. *Inteligencias múltiples. Manual para el nivel elemental*. Puerto Rico.
- Swiss Institute of Bioinformatics. 2011. *ExPASy Translate Tool*. <http://web.expasy.org/translate/> [Consultado el 12 de agosto de 2015]
- _____. 2016. Biozentrum QMEAN Server for Model Quality Estimation.
<https://swissmodel.expasy.org/qmean/cgi/index.cgi?> [Consultado el 09 de noviembre de 2016]
- Talhinhas, Pedro, *et al.* 2014. Overview of the functional virulent genome of the coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix* with an emphasis on early stages of infection. *Frontiers in Plant Science*. 5: 88
- USAID (United States Agency for International Development). 2013. Enmienda al EG PERSUAP, Inclusión de Fungicidas Para el Control de la Roya del Café (*Hemileia vastatrix*).
http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00JJ16.pdf [Consultado el 7 de abril de 2016]
- Van der Pas, R. 2010. Basic Concepts in Parallelization.
http://www.compunity.org/training/tutorials/2%20Basic_Concepts_Parallelization.pdf [Consultado el 12 de abril de 2016]
- Vargas, P.L. 2012. *Estilos de aprendizaje según sexo*. Universidad católica de Perú.

Vásquez, Raúl. 2008. Programas de intervención: Pedagogía Terapéutica. España: Lulu.com. 282 págs.

Young, David. 2004. Computational Chemistry: A Practical Guide for Applying Techniques to Real World Problems. Estados Unidos: *Wiley-Interscience*. 3-5

Zhang Z. 2003. *An overview of protein structure prediction: from homology to ab initio*.

<http://biochem218.stanford.edu/Projects%202003/Zhang.pdf> [Consultado el 12 de abril de 2016]

X. ANEXOS

A. Secuencias de ADN de genes de proteínas secretadas por el hongo predichas por Talhinhos *et al.* (2014)

Cuadro 9: Secuencia de ADN para gen Hv00303.

Secuencia
TTTTATTGGGGACTCAACTAAGATCTGACTGAACCCATTCCACCCTTTCTGTCTATCCACATTT ACACACACACAAAACTTGTTTATAATGGTCTTCGTCAGCAGAAATCTTGGACTCAAACCTAGC TTTTCTCGCATTTTGTCTGATCTCTTATTCCACAGCTGAGGATCAGCAGGACTTGGGTTTAATT CAACGAAATCCTCAGCATAAAACGGCATTACAAAATGCCGAAGTAAAAACACTTATTATCT CTCCAACACGGAGGTTAAGGTTTCTGTGTACAAACTCCAGACCAGCTTGCCAAACGAGACG AGAACAACCTTGACTCTACGAAAATTCCTGAGCGTCTTTACAAAAACCTCACTAGATTGGACT TGACACCATCTGATTGTAATTCCAAGGATGTTTCACCAATGATCCTCCAAGGACCAACAAC AGTTTTGGGAAGACTGCAGACAAATCGAGTTTGCCCAATTTGTTTCCAATGGAAGTGCAGTGA TTGATCCTGGTTATGTTGTTTCCGTCTCTTATAATTCTTGCTTCATAGCATTTTATAATTTCAA CCCGATAAAGTAATATGGTACAATTGGGCTATGATGGGAACGCGAGCCCAAGCGCTTCGAAA GAAATGTGTTGGTAATCAAACCCCTAGCAGTGGTGGTATTTGCAACTTTTCCAATGGCAGAA AGTTATCAAATTACAAAACGTCTTCTTCGAAGTAGCTTTCAACAGAAAATGATGCTTCTAAGA TATCCAAAAGCTTAAGTTGATGTTTTATACCAGAGTGCCTCAACTCATTAATATAATGAAAAT GAACAGTACGATGCATTGTGAAAAATCAAACAAGTTCATTCTAATTCAAGTAGTCGTGACTCT AAATTTTGTGTTTGTCTTATTGGTATGAACATGATAGTCTTTGGGTAACCAAAAGTGATTCTATC AACTTGTTCKTTTTTTATGCTTACTTTATGCGATAATGGATAAAAAAATATGTTGATAGTAGCT AGCTTCCTAGTGGACCACAGAAAGAATATTGCTATGTTTATTGTAACATTTGTTTGTCTCTT GAGACCTAAGTATAACGAAGACCCCAAATTTCCAGGAGTGTACGATTAACGTGCTCAATCTT TTGGTGACTATAATAATGATGGACTTTATTACC

Cuadro 10: Secuencia de ADN para gen Hv00357.

 Secuencia

ACAGACCTGTTACTGGCGCCAATCACTTTCCTCCGTTTCACCATAAAAGACACCMCCTAATC
 CTAAGTTTAAACAACGTGTCACCACATTCACCTCCTGGATTCTAGTCACAAACTTGATTTTTTCATT
 CTAAATCCATCATTAAACAAATATGAAATTTACAATTGCTACTATCATTCTGTCCTTAGTCACAT
 TAGCTATTACAATGTTGATGCTCGTGCCAATAATGTAAAAGGGTTCGCCCTCAAGCCATCA
 ATAAGAATGATATTGTTCAAAGCGGCTACACGCCTTCTGGCTTGCCGTACGCAGTCGTTAAAG
 CAGGAAATCAATTCTCCAAAAGAGACGAAGAAAGCGAGAAATGTGATAAAGACGAAAAAAG
 CGAGAAATGCAAAAAAGTGAAGAGGTCCGACCTTGATCTCACTCCCGCTGATCCAACCTCGA
 CAGTCTGCTGGCCAGGTACATTTCAATCTCCTCAGATGGAGGATTGCCAAGTAATCATCGAAG
 CGCAGTTGTTTAAACAGCTTCGGTAGCTTGAAATGTAATCCTGGAAATTTGCTCTATGTTTGGTC
 AAAACATGTGCCGTAGTATTCCAAAATCCTGACTATCATGGCAAAATTTATTGAGTACAATTG
 GGCTATGCTCGGCAAAGCCATGTTGCGAATAAAAGATAAGTGTATGATCAATAACCAGACTC
 ACAGCTGCGGTGGTGTGTTTGGAAATTTGGAAAATACTTGAACTATACTTTGAATGATGTTATGA
 TCAGTTTCCAACGTTTTGATCAAACCGTTTTCTGAAATACCTCAACTTCATTTGCTTTGGCTGG
 TTAACATGGACTCCAATCAAGTCGAACAAAGGACAGTGGAGTTGGAAGAAAAGTAGAATGG
 AAGGAATTTTTAGTTATTATTAGCGATTCAATTTAATGTACATCCTTGAATTTACCATTCTTA
 GGAAGCAAACTTTCTTGAAAGACAACAGAAATATAAAACCTAACATTTTATGTAA

Cuadro 11: Secuencia de ADN para gen Hv01043.

 Secuencia

AAGGGATAAAGATCTAACTTGCATAAGGGCATTGGGGTGCAAGTCAAGAAAAGTATCACTTT
 GAAAAATGAGAATAAAAAAAAAAATTGTTGGGTGAAAAGAAATATTGATGGCATTTTTTGAAAT
 TTGCATATTTGAGAAAGCCATTTTGTGTAATCAGCTAAGTTTGTAGATTTCCCAAAATAAG
 TAATGATCCCCAAAACCTTTTCTCTCACTTTATTGCTCATTGATTGAATGAAGCGTTCATTTTT
 CTCAAATGATCTTTCTATTTACGTTCCCTAATACTTTAAGCTCTTTCTAGTAAAATACTGAGTGA
 TGTAACGCAAATCTTGGCCTATTGATATACTATGCCTTATCTGCCGTTTTATTGTGTAGTACTT
 CAAAGAAAACATTCGTTAACTCAATTTTTTTTTTGGCATTTGGTAAACTTACAAACACCACCT
 TGAAAAAAGTGGTGTATGCTACATTTTTTCCGAAGGACTCGAGCGCGCTCCCCATCGTAGC
 CCAGTTGTACGAAATGGTATAGTGGGAGTCAAATTTGTAATGCAATATAACATCTCCATA
 AGAGACAGTTACAATAAAACCTGGATCGATCAGCACTTCCATTAGACACGAATTGGGCTT
 GTTCAATAACTTCACAATCAGTCCAAAATTTAGGGGTTGTTGCGTCGATTTGAAACACCCTTT
 AGAATTACATTTGATGGAGTTAAGTCCAACATCGGTAAATTTCTGCTTGTCTCGTTTTACA
 AGGCGCTGTTGGGATTTCGTATACATTCACAACAACCTTTGGAGTTTCCAAGATTGCTGGACGTA
 TGAAGTTTGGCGTTTTTTAGTATTTCTCCAAAACCTGGTATCGTCTGGAATGATTCCCAAGTCTT
 CTCTGAGCTATCGCCTGGAATATGAAGCACAAAGTATGAACTTCAAAAAAATCCATAAT
 ATCTGTACATGATAAACACGGTCTACAATTTTTATATGCGAATTGATGAAGAATATAGTTCTG
 TGAAGTTGATTGATCAAATACTTGTATGGCCAAGGATGCTAGACAACAACCTAGCAAGTTT

Cuadro 12: Secuencia de ADN para gen Hv04304.

Secuencia
ACTTATATATTTATGGATAGTGACAGAATATAAAACAAAATATTTTATCATCAAGCAGTCATTT TTCAAACCAGATGCAAACCTATCGTATATTTATAAAATTTCTTATCTTCTGATGTGGTAAATATG AACATGCTGTGATAAGAAAATAAAAAAATATACTTCATGGTGTCTTAAGTATAATTTACAAC TAATGTACCATAGAATTTTCGATTTTACTCCACTGAATGGGCGATTCAAGATGAAATTAATTGA AAAATGACCAAAAAAAAAAAGGGTGCAATCAAACCTCATGGTGTGATCAAGCGGTTTTACGAC TGAATAGTATGAATGCCAATCCTAATATTCACGATCTTCTTCTTCTGTATATTCTTCATCGAAG CGTTGTAAACTAATCATTACGTTTGGAAAGAGGTTTGCCTCGTAAGAATCGAATAAGCAAGCA CCCCCAATATTGAGTTTCCAGTCGATGAATCGAGACACTGGTCTGTAACTTTTCTACTGTAG CCCCTAGCATAGCCCAATTGTACTCTAATGCGTGAGAATCTTCATTAGGATTTTGAAAAACAA CAGCGCATTTGTTATACGTCAAGTAAACCCAAGTTTCAGGGTCTGAGTGGAGACTTCCCCTAG AATTGGCTAATAGCCCTTTGATAATGTGATCACAGTCAGCCTTTGGAGGAATTTCAAATCCAC CTGGATAACATTGGGTGTTGCAGTTGGCAGGCGTTATATCAATAGGCACTAGTGGGTTGTACA CATCTTGCTTAGAGAGAATGGTGTTCCTTTGACCAACCGCTTCCATGTGCGCCTTACGTTTACA GGAACAAGGATAACCACAAGTAGCACCTTGATATGATGGATAATTTGTGGTACTGTACTGCT AGTGTAAAGTAGTGTAAACCGGGTTGCTGCAGGTGCTCACGCATGGCGGGGTGCAAGCGCAAC TGTAACCACCGTAGTTTGGTTGGTTACACCTCTTATTCCTTTTGGCCAATTGATTATGCGTCTC CAGATCACGCTTACATTTGCAAGAGCTTGAATAACCACAGGTACAACTTTGTGAAGGGCAAGT AACTTAGTGTAAAGTCGTAGACACTTTCTTGGTGCAGGTTTTTGTGCATGGCGGGTTGCAATA ACATCGGTTAGACTGATTGCATTTATAATGCCTTTTTGAAAATCTACTATATCCAGGATTGTTG TCACCTGGGGGATAGTATGGTTTTCCGTGCGAATTATAACCATCGTCCCTGTGGCTGCAGGTT GGAAATTGTCCATTTGGATTTTTTTCGTTGTGCGATAACCCTTTGACCGTAACTCGTACATAAC TTTTCATCCATATGATAAATTTCCATGACTACGTAATTTTCCAAACGAACAGGACAAGTTTTATT ACCATCCAGAACTTCCATTGATTAGAGCGCATCCCAGCTGAGCAGGGCTAATATAACGTA AATATTTTGGTAAGCCCACGACATAGATGCTACTGCTATTGCTAAACTTCACTCGTTTTATCAA GTGATATAAAATATAATCAATCTAATAAACACTTTAATTTTACTATTACGAATTTTGAAACT CTAAAAAAGCTGGAAATGAGTCC

Cuadro 13: Secuencia de ADN para gen Hv01506.

Secuencia
CCGGTGACTGCACTCAATAAACGTGACTAGTCAGGGTCAAAGTGTTATTAACCTGAAGCATT ACTAATACCCAGTAACTCCGACTCTCAACATTGACTTTGATCTTACGATTGATTACTTCATGA TTCCCCGTTGGCCTTCGAATTATGTACAAAAGACAGTAAATTTACTTGAACATGAAAATATTT GATTGTTCAATCGAAGAAGTAAACATAAACCAATTTAAGCCAACAAGTCTTTTGCACGTGAGG GATACCAAAAAACAATGATTCTGCATCCAAATACTCTCATCAAGAGATATCAATACTCATGAA ATTCGTGTGACACAAGCATCAGAAACCAATTTAGCTCAACATTGTTAAGCAAAGACTGATCGC CAGCGTTCCAGCCCCAATTACGCTGGAGGAGACAGATCCAAACGTGGCGGAAGATCCGCCCG AAGGTGTAGTAGATGAAGAAGTCTCAGAGGAGTTCGCATTGTGAGCACCGGTCACATTGGTA CCGGCGGTCATATTGTGCGATGTAGAAGAAGTATTAGTCATGTTTGCAGTCATGCCTGCAATG GACCCAGGAACAGCACTACAAGATGAAACGCCAAATTTAATAGCTGCTTCCCCTTCGCTTGAG TTGCAGCTTTGGGCGAGACAATGGGCAACACCTTTCTGGAAGGTTTTCATCCGTACATATGCAA GTAAAGTTGGTAAGACTAATAACAAGGAGATTTTGAAGCTGCGTGGAGGAACATTGGATAGC ACAGGCTGTGGAAGCCCAGGAGCACTGGTTGAATCGGCGGTAGTGGAAACGTTAGTTGAAG GATCAGCAGCAATCAAGAAAGAAACAAGAGAGAAGTGGAAACAAAATCCAAAAAATAACAT GATGATTGGATGAGATGTATAAGTTAGACAATAGGACTGAGATGAGGAAGAGCGAAGATGG GATATTTCCAAGGCTTTAAATGATACTCAAGAAAGTGAAGCGTGCACCAAGTAAGGTGAATA AGCAAAGCTGGTGTGATGGGAAAACAAGAAGAAGCTAGAATATGTGGAAGGACTCTAC TAGTTTGTATGTGGCTAAAACAGAGGATCCCCAATAA

Cuadro 14: Secuencia de ADN para gen Hv04456.

 Secuencia

TGATTCACCTTTGTGAACTGTTATCTAACACACATTCAGAAATAAGGTAAGGCAATGTATAGTT
 CTGAAATATGTTTTACTAATAATTTACATGATAAATCAGTTTTTTACAATTTAAAAGAAGGGGG
 CCTCTCATAATCGCACAAAGATAGTTGTTTTGAGGCGGAAATTGGGAATTTTATTATAAAAA
 TTCAAATATTGAAAAATATGAATGAGGGATTTAAACTCATTACTAAATACCACAAATCAGATT
 TCTGATTATAAAGTTAGTTATTTCTAAGATGGAGGATAGGTACCAACATATGAAAAGGGAAA
 ATCCCACAAGAATAATTGCTTGACTTGAATCTAAGAAAAAATAGCGTGGATGAACAGAAGGA
 CACGAATAAAAAATATCAGAGGTACAATGACAAGCCAATACTGATCAAAGTAGTCCCAAAAG
 TCAAATTTCTTGATTGCACAAAACCCACAGTGAAGCTACCAGAAAGAATCGTCTTGCCATTGG
 CAGCCATGTTTTGTTGGGGAGCTGTAGAGTTCCTACTGTAGTCACATGGTTTTATAGATGATCT
 ATTTTCAAAGTTGAAGTTCCGTTTGAAGAAAAATGGAATAGCCCCATCAACTTTCTGGCAAGT
 TATTAGGCCATAGTTTGCAGCTGATGTTCCCTCATCTGGTTTACAGTTTTCATTTAGACACCCA
 GAAACACCTCTTGATAGCCCGCATTTTTACATAAAACAATTAAGTCCGTAAGACCAGAACAC
 TTGGTTTTTGCAAGCTCTGAGGTAGAGCAGTCAATGGCACAGGATGAAAGAAAGTCGCCAGA
 GGTATTTGAAGCCTGGCTAGTTTCGTTTACAGTTGAATTAGTCAAGGGAGAGTTGTGGGTTTT
 GTTAGTTTGGAGATCAGCAGCGGACAAAATAATATGAAAAGATAAATAAATAAATAAATAA
 ATCGAAGCATTTCGGCTCAGTGAATCGTTTTGGATTAGCCGGATATAAGTT

Cuadro 15: Secuencia de ADN para gen Hv00297.

 Secuencia

GGTTGTTTTCCATCCTGTTGCCTTTGCCTTTGCCTTTGCTTTGCCTGTTGCCCGCTGCCTTTTTG
 CCTTTGCCAATCCGTGTTTTCTTGATACATGTTTCCATTGTCTGTCTGATTTGATTCCACTGCTG
 TTGGCTCCATCCACACCATGCTCGTCTGTCTTTCCCAATCCTTCCGTCCGGCTCTTCGTCCCTCG
 GCAATAAATCTCCGAAGTGCATATTCTTCTCTCCCTCTCCGTCCGCTTGGACTTCAGGGGAA
 AACACACTCTGCCTGATCTTCCTTACTCTTATGACGCTCTTGAGCCTGCCATCTGCAAGAAGAT
 TATGGAGCTCCATCACTCCAAGCATCATCTTGATATGTCAATGGACTCAATGTGCGGAGGA
 AGCCTTTGAAGGTGCCGTCAAAGCTAACAATATCCAAAAGCAAATCGCCCTGCAGGGTGTCC
 TGAAATTCCATGGAGGTGGCCACTTGAATCACTCTATATTCTGGAAAAATCTTCAGCCTGTTTC
 CAAAGGTGGTGGTAAATTGAATGAAGGAACACTCTCCAAACTTATCAAGGAACAGTTTGGAA
 GTTTAGAAGCTCTCCAAAAGGAGATCAATGCCGCAGCCACGGCATTGCAAGGTTCTGGTTGG
 GTTTGGCTGGGATATTGCACTTCCAAAAGCATCTTGTCATTGAAACAACCGGAAATCAAGAC
 CCACTTATTAATGCTATTCCCTTGATTGGAATTGACATGTGGGAACATGCATACTATCTTCAGT
 ATGAAAATCAAAAAGGCAATTACTTGACCAATATTTGGTCAGTTATCAACTATGAGGAAGCG
 GAAAAAGGTTACAAGCTGTTATATAACGGTTACGAGCAGCTCTTTGAAAGCCCAAGTACATT
 TTGAAAGCTGCTCGATGGTGTGTTGCATCTTAAGCCTGTTGCACATAGACGAACGGAAATTCA
 CTGTATGGGGGCTATGGTGGATTTTCTCTGATATACATATCAAGGAATACTAAGCCTATACA
 CAAAATATTTATTGAGCTATATATATATGAAATGTAGTACTAGTGTTTTTTACCTGTTGAGTC
 TGAAATACGAATTTTTCTTTGTAGCTGTG

Cuadro 16: Secuencia de ADN para gen Hv01268.

 Secuencia

GTGCTTGCAGGCCCGCACATTTACCCTTTGTGGGGTGTGGGGGCTTGAAGATCTTAGAACTT
 CCTTTATATAAATACCTTGGTTATTTTCGTCCTCATATTTGTCTTCTACTCAACTTCAGTTGGAC
 CCGAATTTACAATCTTTTAGATAAAATCTAATATCTGCATCATCTACCTCTTTCCTTTCTACGT
 TGTTTGYTTTTTTTTTAATTTGTTTTGCCGTTTGTATTACCTCCATAACGGTGCAATATTAGTGA
 AGATGATTGCCACCATCATTTCAACCGCTTGCAGAGCGAACACTTTTCATTCTCTTGATCGCTGC
 CATTGCTCAGCTCAATGGTCTCAGCTACAGCATGCCAACACCCGTTATGGTTGGCACCCGAGA
 AATGCAGGCCAGATGAATGTTTCACTATCAGTTAATAGCCCCACTAAAAAGTTCAAGCCCGT
 TCCCTTGCCTTACGCAATGGATGCCCTCCAACCGTCTATAATGGCCGTCCTATGAGGGTACA
 CTATGATGGACATTATATGAAATATATCCAAACGGCGAACAACTGACCGAGGAGCTCCAGG
 CCGCTGTAAAGGCCAAAGATATGGCTAAACAAGCTATTCTCATACTAAACTTCGATTCAATT
 CTGGTGGAGTCCACAATCACGGATTGTTCTGGCTTAACCTTCAACCTACAGCTCAAGGTGGCG
 GCAAATTGAAAGATGGTTTACTGAAAAAGATGATTGAAAAGAAATGGTCTTCGCTCGCCAAA
 TTCCAAACTGATTTACCACCTATGCCACTAGCTTAATGGGTTTCAAGGATGGACATGGCTGGCT
 GTAGAAATATCCTCCAAAAGCCTTGTGATTGTCACTACTGCTAATCAAGATATCCTTGATGGA
 CGATATTTCCAATCATTGGGCTTGATATGTGGGAACATGCTTACTATCTTGACCCGGAAGAAC
 CTCAAGGCCACATATGTTCAATTGTTCTGGGACGTTGTGAACTGGTCAGTAGCTGAGAGTCGT
 CTCAAGGCTGCACTGTGCGAAATAAAGTTTCTTTTGTCAAGTTTCACTGGG

B. Secuencias de aminoácidos para cuadros de lectura seleccionados

Cuadro 17: Secuencia de aminoácidos para gen Hv01268 en cuadro de lectura 3, dirección 5'3'.

 Secuencia

VLQARTFTLCGVWGLEDLRTSFI*IPWLFSSSYLSSTQLQLDPNFTIF*IKSNICIIYLFPHYVXXFFN
 LFCRLYYLHNGAILVKMIATHISTACRANTFILLIAAIAQLNGLSYSMPTPVMVGTAEQAQMNVS
 LSVNSPTKKFKPVPLPYAMDALQPSIMAVTMRVHYDGHYMKYIQTANNLTELQAAVKAKDMA
 KQAILPKLRFNSGGVHNHGLFWLNLQPTAQGGGKLDGLLKMKIEKKWSSLAKFQTDFTTYATS
 LMGSWTWLAVEISSKSLVIVTTANQDILDGRYFPIIGLDMWEHAYYLDKRNKATYVQLFWDV
 VNWSVAESRLKAALSK*SFFCQVSL

Cuadro 18: Secuencia de aminoácidos para gen Hv00297 en cuadro de lectura 2, dirección 5'3'.

 Secuencia

TATKEKFVFTQVQVKNSTSHYISYIYSSINILCIGLVFLDMYIRGKSTIAPIQ*ISVRLCATGLEMQTPS
 SSFQNVLGLSKSCS*PLYNL*PFFRFLIVDN*PNIGQVIAFLIFILKIVCMFPHVNSNQNSINKWVLI
 SGCNDKMLFGSAISQPNPRTLQCRGCGIDLLLESF*TSKLFLDKFGECSFIQFTTTFGNRLKIFPEY
 RVIQVATSMEFQDTLQGDLLLIVSFDGTFKGLSIESIDICKMMLGVMELHNLADGRLKSVIR
 VRKIRQSVFSPEVQAERRGKRRCSEIYCRGTKSRTEGLGKTDEHGVGDANSSGIKSDRQWETCI
 KKHGLAKAKRQRATGKDKGKGNRMENN

Cuadro 19: Secuencia de aminoácidos para gen Hv00303 en cuadro de lectura 3, dirección 5'3'.

 Secuencia

LLGTQLRSD*THSTLSVYPHLHTHKNLFIMVFSRNLGLKLAFLAFLCLISYSTAEDQQDLGLIQRNP
 QHKTALQNAELKNTYYLSNTEVKVSVYKLPDQLAKRDENNLDSTKIPERLYKNLTRLDLTPSDCN
 SKGCFTNDPPKDQQQFWEDCRQIEFAQFVSNNGSAVIDPGYVVSYSYNSCFIAFYNFQPKVIWYN
 WAMMGTRAQALRKKCVGNQTPSSGGICNFSKWQKVIKLQNVFFEVAFNRK*CF*DIQKCLKMFY
 TRVPQLINIMKMNSTMHCEKSNKFILIQVVVTLNFVLLYWYEHDSLWVTKSDSINLFXFYAYFMR
 *WIKKYVDSS*LPSGPQKEYCYVYCNICLFLLRPKYNEDPKFSRSVRLTCSIFW*L***WTLL

Cuadro 20: Secuencia de aminoácidos para gen Hv00357 en cuadro de lectura 2, dirección 5'3'.

 Secuencia

QTLLEAPITFLRFTIKDTX*S*V*QLSPHSLLGF*SQT*FFILNPSLTNMKFTIATILSLVTLAIHNVDA
 RANNVKGFAPQAINKNNDIVQSGYTPSGLPYAVVKAGNQFSKRDEESEKCDKDEKSEKCKKVKRS
 DLDLTPADPTSTVCWPGTFQSPQMEDCQVIIEAQLFNSFGSLKCNPGNFVYVWSKTCVVVFQNP
 YHGKIIIEYNWAMLGKAMLRKDKCMINQTHSCGGVLEFGKYLNYTLNDVMISFQRFQDQTVS*N
 TSTSFRLAG*TWTPIKSNKGQWSWKKTRMEGIFSYY*RFILMYILEFTIP*EAKLS*KTTEI*NLTFYV

Cuadro 21: Secuencia de aminoácidos para gen Hv00156 en cuadro de lectura 2, dirección 5'3'.

 Secuencia

GDCTQ*T*LVRVKVLLT*SIN*YPSNSDSQH*L*SYD*LLHDSPLAFELCTKDSKFT*T*KYLIVQSK
 K*T*TNLSQQVFCT*GIPKNNDSASKYSHQEISILMKFV*HKHQKPI*LNIVKQRLIASVPAPITLEET
 DPNVAEDPPEGVVDEEVSEEFAL*APVTLVPAVILCDVEEVLMFAVMPAMPDGTALQDETPLI
 AASPSLELQLWARQWATPFWKVSSVHMVQKLVRLIQGDFESCVEEHWIAQAAGSPGALVESAVV
 ETLVEGSAAIKKETREKWNKNPKNNMMIG*D*VRQ*D*DEEERRWDISKALNDTQESEACTK*G
 E*AKLVMGKQEEEEARICGRTLY*FVCG*NRGSP

C. Relación entre sitio activo de MnSOD presente en *H. vastatrix* y ascaridol como ligando.

En el siguiente listado de figuras se muestra la relación entre el sitio activo de MnSOD y ascaridol, el sitio activo del MnSOD aparece en la parte superior izquierda, mientras que el ascaridol en la parte inferior o superior derecha.

Figura 24: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 37 elemento 1.

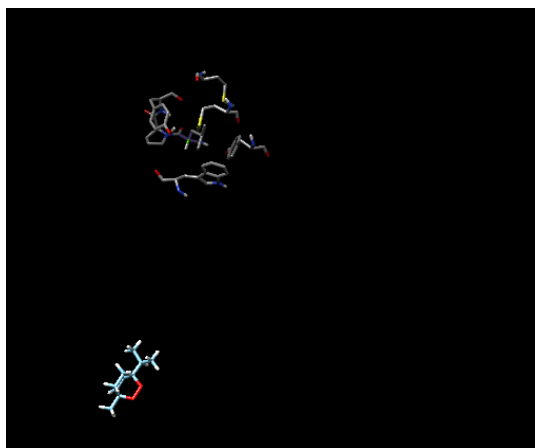


Figura 25: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 37 elemento 0.

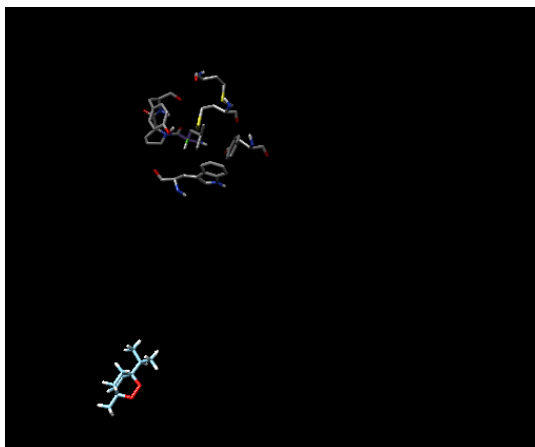


Figura 26: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 18 elemento 15.

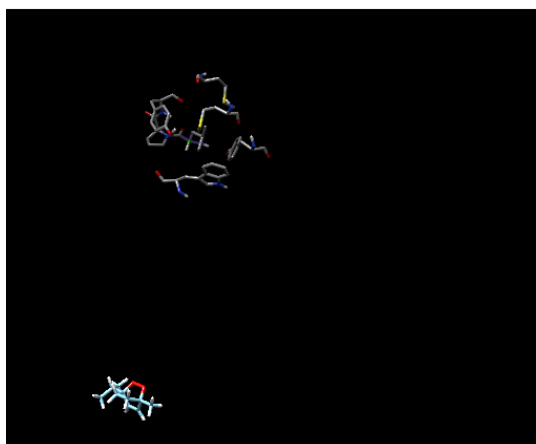


Figura 27: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 18 elemento 14.

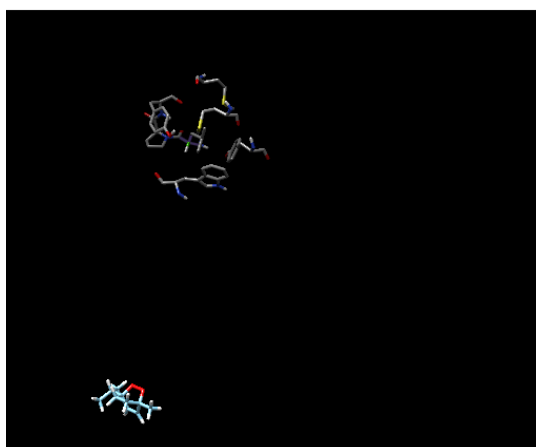


Figura 28: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 18 elemento 13.

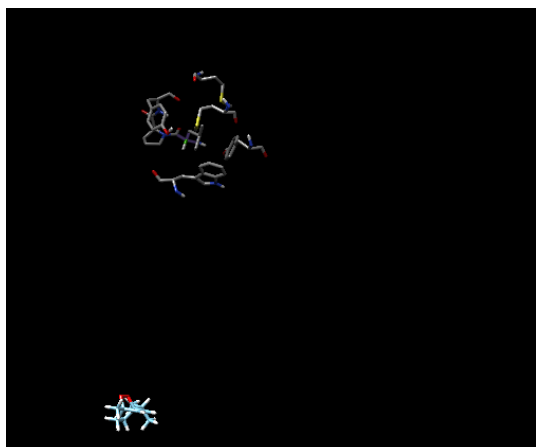


Figura 29: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 10 elemento 7.

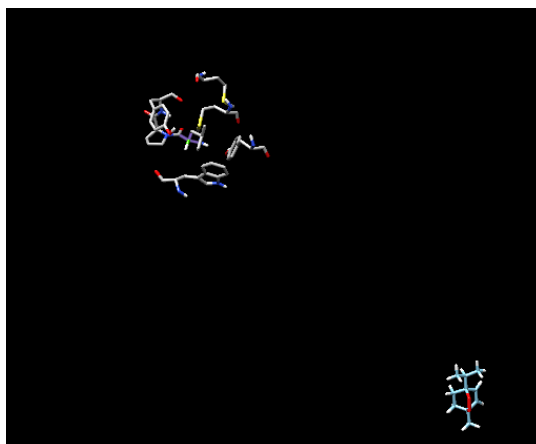


Figura 30: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 10 elemento 6.



Figura 31: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 12 elemento 5.

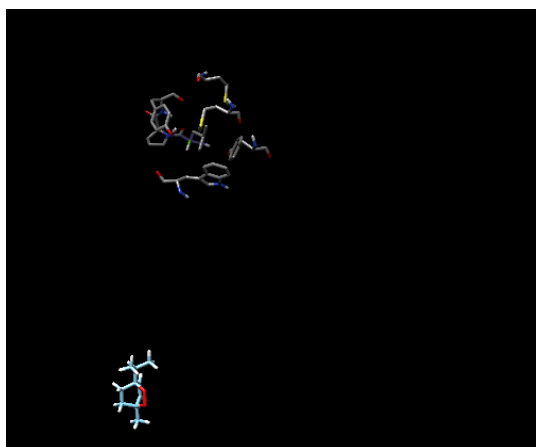


Figura 32: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 4 elemento 8.

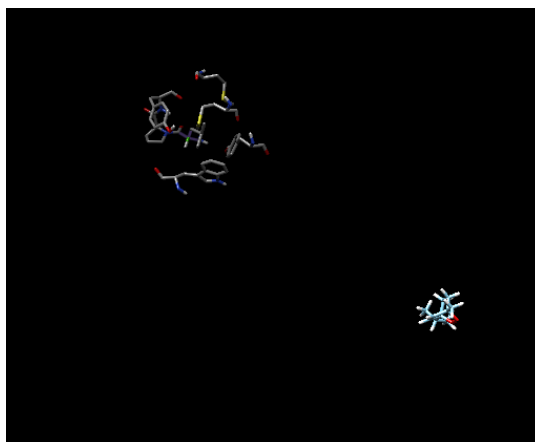
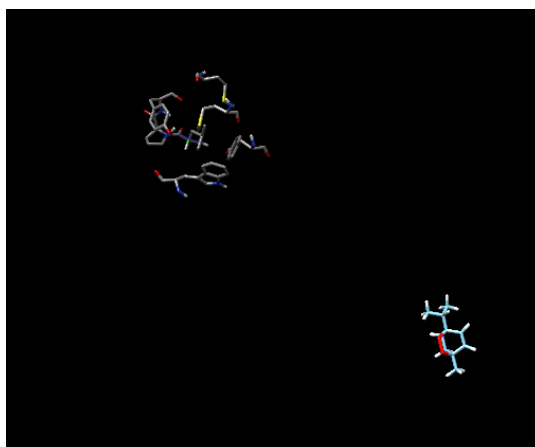


Figura 33: Relación entre sitio activo de MnSOD y ascaridol en configuración: clúster 0 elemento 4.



D. Scripts utilizados

Figura 34: Script en Python para separar cóntigos en genoma parcial del hongo de la Roya.

```

1 | #Julio Ayala
2 | #Script separador de contigs para genoma parcial de Hemileia vastatrix
3 | newfile=None
4 | archivo=open('ThirdHybridAssemblyCLC.fasta','r')
5 | check=False
6 | cont=0
7 | for line in archivo:
8 |     if check==False:
9 |         cont=cont+1
10 |         newfile=open('Contig_'+str(cont)+'.fasta','w')
11 |         newfile.write('>Contig_'+str(cont)+'\n')
12 |         check=True
13 |     elif(line[:2]!='>c'):
14 |         check=False
15 |         newfile.close()
16 |     elif(line[:2]!='>s'):
17 |         newfile.write(line)
18 | newfile.close()
19 | archivo.close()
20 | print "Contig_"+str(cont)+" separated"

```

Figura 35: Script en Java para separar alinear secuencias de ADN utilizando Jaligner.

```

1 |import java.io.BufferedReader;
2 |import java.io.BufferedWriter;
3 |import java.io.File;
4 |import java.io.FileInputStream;
5 |import java.io.FileNotFoundException;
6 |import java.io.FileReader;
7 |import java.io.FileWriter;
8 |import java.io.IOException;
9 |import java.io.InputStreamReader;
10 |import java.io.PrintWriter;
11 |import jaligner.Alignment;
12 |import jaligner.Sequence;
13 |import jaligner.SmithWatermanGotoh;
14 |import jaligner.formats.Pair;
15 |import jaligner.matrix.Matrix;
16 |import jaligner.matrix.MatrixLoader;
17
18 |//Julio Ayala. Script para alinear secuencias utilizando Jaligner. Se muestra la funcion de alineamiento utilizada
19 |public class Main {
20
21 |    public static void main(String[] args) throws Exception {
22 |    }
23
24 |    public static float[] align(Sequence seq1, Sequence seq2){
25 |        try {
26 |            Alignment alignment = SmithWatermanGotoh.align(seq1, seq2, MatrixLoader.load("BLOSUM62"), 10f, 0.5f);
27 |            float[] scoreIdentidad= new float[2];
28
29 |            scoreIdentidad[0]=alignment.getSimilarity();
30 |            System.out.println(alignment.getIdentity());
31 |            System.out.println(seq1.length());
32 |            scoreIdentidad[1]= (float)alignment.getIdentity() / (float)seq1.length();
33 |            return scoreIdentidad;
34 |        } catch (Exception e) {
35 |            e.printStackTrace();
36 |            System.out.println("Algo salio mal");
37 |        }
38 |        float[] error1 = new float[1];
39 |        return error1;
40 |    }
41
42 |    public static String fileToString(String file) throws IOException {
43 |    }
44
45 |}

```

Universidad del Valle de Guatemala
Estrategias educativas y bioinformáticas dirigidas al control de la Roya en
Guatemala

Validación de actividades por expertos

Valoración de diseño didáctico/ Experto en área educativa					
	1	2	3	4	5
Objetivos					
Menciona el área de la temática a trabajar					
Indica habilidades a estimular					
Incluye las inteligencias múltiples a desarrollar					
La exigencia se ajusta a las capacidades reales del estudiante					
Contenido					
Desarrolla las competencias expuestas en los objetivos					
Están planificados y secuenciados adecuadamente					
Contiene información de la temática a trabajar					
Desarrolla las inteligencias múltiples expuestas en los objetivos					
La actividad es novedosa y llamativa					
Presenta una guía de respuestas correctas para el mediador de la actividad					
Metodología					
Se adecua a los diferentes ritmos de aprendizaje, necesidades y dificultades del estudiante.					
Sigue un orden lógico para lograr un aprendizaje significativo					
Potencian el aprendizaje autónomo y la iniciativa del estudiante					
Las instrucciones son claras y precisas					
Incluye recursos que se adaptan a las características del entorno					
Los materiales permite el uso colectivo, son variados, atractivos, seguros y estimuladores					
El tiempo es adecuado para la actividad					

Evaluación					
Los criterios, indicadores e instrumentos de evaluación se establecen de manera explícita					
Se adapta a las diferentes destrezas y habilidades de cada estudiante					
Permite hacer un seguimiento del progreso de enseñanza y aprendizaje significativo					
Subtotal					
Total	/100				

Evalúa la propuesta del diseño didáctico con base en la siguiente lista de cotejo. Si el producto cumple con las premisas del contenido; marca 5 como el indicador más alto y 1 como el más bajo.

Comentario: _____

Nombre y Firma

Universidad del Valle de Guatemala
Estrategias educativas y bioinformáticas dirigidas al control de la Roya en
Guatemala

Validación de actividades por expertos

Evalúa la propuesta del diseño didáctico con base en la siguiente lista de cotejo. Si el producto cumple con las premisas del contenido; marca 5 como el indicador más alto y 1 como el más bajo.

Valoración de diseño didáctico/ Experto en área de café					
	1	2	3	4	5
Objetivos					
Menciona el área de la temática a trabajar					
Indica habilidades a estimular					
Contenido					
Desarrolla las competencias expuestas en los objetivos					
Están planificados y secuenciados adecuadamente					
Contiene información de la temática a trabajar					
La información sobre la temática es lógica y coherente					
Contiene datos reales y relevantes					
El vocabulario se adapta a la población					
Existe conexión entre la temática y la actividad					
El tipo de información es adecuada a la actividad					
Presenta una guía de respuestas correctas para el mediador de la actividad					
Aspectos generales					
La actividad es novedosa y llamativa					
La actividad puede ejecutarse dentro del contexto cafetalero.					
El tiempo es adecuado para la actividad					
Las instrucciones son claras y precisas					
La actividad influye en la adquisición de nuevos conocimientos en temas relacionados al café					
Evaluación					

Evalúa aspectos específicos de la temática					
Los criterios, indicadores e instrumentos de evaluación se establecen de manera explícita					
Se adapta a las diferentes destrezas y habilidades de cada estudiante					
Permite hacer un seguimiento del progreso de enseñanza y aprendizaje significativo					
Subtotal					
Total	/100				

Comentario: _____

Nombre y Firma