



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IDENTIFICACIÓN DE BIÓTROFOS PARA EL CONTROL DE LAS
MALEZAS *Rumex crispus* Y *Pennisetum clandestinum* DE *Solanum*
tuberosum L. EN LA PARROQUIA DE ALOASÍ, PROVINCIA DE
PICHINCHA



AUTORA

Stephanie Patricia Villamarín Fernández

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IDENTIFICACIÓN DE BIÓTROFOS PARA EL CONTROL DE LAS MALEZAS
Rumex crispus Y *Pennisetum clandestinum* DE *Solanum tuberosum* L. EN LA
PARROQUIA DE ALOASÍ, PROVINCIA DE PICHINCHA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera en Biotecnología

Profesor Guía

MSc. Fernando Rivas Romero

Autora

Stephanie Patricia Villamarín Fernández

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el (los) estudiante(s), orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Fernando Xavier Rivas Romero

Master en Biotecnología Molecular y Celular de Plantas

C.I. 1718092701

DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Wilson David Tapia López

Master en Gestión y Planificación Ambiental

C.I. 1714205281

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR CIENTÍFICO

“Declaro haber dirigido científicamente al estudiante para la realización de su trabajo experimental de titulación en base al método científico, conduciéndole con coherencia en el conjunto de experimentos realizados, y orientando sus conocimientos para lograr los objetivos propuestos”.

Carlos Junio Falconí Borja

Doctor en Ciencias Naturales

C.I. 0601299878

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro (amos) que este trabajo es original, de mi (nuestra) autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Stephanie Patricia Villamarín Fernández

C.I. 1725906141

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme y guiarme en cada paso que doy.

Agradecida con mis padres, hermanos, familiares e Israel por brindarme su amor infinito y estar cerca de mí regalando alegrías a mi vida.

Agradezco al Dr. Carlos Falconí por abrirme las puertas de su laboratorio.

A M.Sc. Fernando Rivas por su tiempo, orientación y consejos impartidos durante el trabajo de investigación.

A Erika y María Fernanda por su apoyo y amistad durante estos años de estudio.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado con todo mi aprecio y consideración a:

Mis padres, Patricio y Margarita, quienes son el pilar fundamental de mi existencia y a los cuales les debo todo lo que soy; son mi orgullo y admiración. A mis hermanos, Gigi y Danny por su amistad y cariño, y en quienes quiero dejar un ejemplo de esfuerzo y perseverancia. A Israel, por ser mi fuente de calma, mi apoyo y amor infinito; sin ti mi vida sería incompleta. A toda mi familia por sus consejos, su cariño incondicional y por estar pendientes de mí como su nieta, sobrina y prima.

A todos ustedes les dedico el primero de muchos logros que vendrán.

Les amo.

RESUMEN

Pennisetum clandestinum (kikuyu) y *Rumex crispus* (lengua de vaca) son dos de las malezas con mayor repercusión a nivel de pérdidas económicas en los cultivos de papa. Estas malezas son tratadas a través de prácticas culturales agrícolas, métodos físicos y químicos. Sin embargo, la maleza no puede ser controlada eficientemente por estos métodos. En su lugar, generan gastos económicos, baja producción del cultivo, problemas de contaminación ambiental, resistencia genética en las malezas e inclusive problemas de salud por los pesticidas aplicados para su control. Es por ello, que se requiere el desarrollo de alternativas como el control biológico a base de microorganismos debido a que es altamente selectivo y económico. Por tal motivo, el propósito de este trabajo de investigación fue identificar y determinar el efecto fitopatológico de los biótrosfos para el control de malezas de lengua de vaca y kikuyo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Para ello, en el cultivo se determinó el porcentaje de incidencia de las malezas, donde con el kikuyo se registró un valor de 50% del total de malezas observadas, mientras que en la lengua de vaca se obtuvo un valor del 30%. En fase laboratorio, se realizó la identificación de los rasgos morfológicos de los hongos y se los clasificaron taxonómicamente mediante claves dicotómicas. De esta manera, se determinó que el hongo fitopatógeno que ataca a las hojas de kikuyo pertenece al género *Phakopsora*, mientras que los hongos del género *Uromyces* y *Ramularia* infectan a las hojas de la lengua de vaca. Para el análisis fitopatológico se realizaron cortes transversales del tejido foliar enfermo, así como también se evaluaron los síntomas presentes en las hojas lo que permitió establecer que el porcentaje de incidencia del patógeno alcanzó el 51% en kikuyo y en la lengua de vaca el 73%. Mientras que el porcentaje de infección de *Phakopsora* en kikuyo fue del 63%, en lengua de vaca fue del 10% para *Uromyces* y 90% para *Ramularia*. Con estos resultados se propone a estos hongos como posibles candidatos para el control biológico de kikuyo y lengua de vaca en Ecuador.

ABSTRACT

Pennisetum clandestinum (kikuyu) and *Rumex crispus* (curly dock) are two of the weeds with the greatest impact on economic losses in potato crops. These weeds are treated through agricultural cultural practices, physical and chemical methods. However, the pest can not be efficiently controlled by these methods. Instead, they generate economic costs, low crop production, environmental pollution, genetic resistance in weeds and even health problems. That is the reason why the development of alternatives such as biological control based on microorganisms is required because it is highly selective and economical. For this reason, the purpose of this research was to identify and determine the phytopathological effect of the biotrophic fungi for the control of *R. crispus* and *P. clandestinum* weeds in the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). For this, the percentage of weed incidence was determined in potato cultivation, where kikuyu is present in 50% of the total weeds observed, while curly dock is found in 30%, at the same time sick kikuyu and curly dock leaves were collected. At the laboratory phase, fungi morphological features were identified and taxonomically classified by dichotomous keys. In this way, it was determined that the phytopathogenic fungus that attacks the leaves of Kikuyu belongs to the *Phakopsora* genus, while fungus of the *Uromyces* and *Ramularia* genus infect the leaves of the curly dock. For the phytopathological analysis, cross-sections of the diseased leaf tissue were performed, also the symptoms present in the leaves were evaluated, this allowed to establish the pathogen incidence percentage, it was 51% in kikuyu and in the curly dock was 73 %. While the percentage of *Phakopsora* infection in kikuyu was 63%, in curly dock was 10% for *Uromyces* and 90% for *Ramularia*. Given these results, these fungi are proposed as potential candidates for biological control of kikuyu and curly dock in Ecuador.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación	6
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Malezas generalidades	8
2.1.1 Clasificación de las malezas.....	8
2.1.2 Comportamiento y efectos de las malezas	10
2.1.3 Malezas más importantes.....	11
2.2 Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>).....	13
2.3 Lengua de vaca (<i>Rumex crispus</i>).....	17
2.4 Métodos de control de maleza	21
2.4.1 Prácticas culturales.....	21
2.4.2 Control físico y mecánico.....	22
2.4.3 Control químico.....	23
2.4.4 Control biológico	24
2.5 Generalidades de los hongos fitopatógenos.....	24
2.6 Biótropos.....	25
2.6.1 Mecanismo de defensa de la planta	27
2.6.2 Efectores de los hongos biotróficos	27
2.7 División Basidiomycota	29
2.7.1 Clase Pucciniomycetes.....	29
2.7.2 Orden Pucciniales.....	30
2.7.2.1 Ciclo biológico	30
2.7.2.2 Mecanismo de infección.....	32
2.7.3 Familia Phakopsoraceae	33

2.7.4	Familia Pucciniaceae.....	34
2.8	División Ascomycota.....	34
2.8.1	Clase Dothideomycetes.....	34
2.8.2	Orden Capnodiales.....	35
2.8.3	Familia Mycospharellaceae.....	35
3.	DISEÑO DEL PLAN EXPERIMENTAL.....	36
4.	PROCEDIMIENTOS.....	38
4.1	Población y muestras.....	38
4.2	Materiales y métodos para la obtención de datos.....	38
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
5.1	Determinación de la incidencia de las malezas en el cultivo.....	41
5.2	Identificación de patógenos del kikuyo.....	42
5.3	Determinación del análisis patológico de <i>Phakopsora</i> sp. en kikuyo.....	45
5.4	Identificación de patógenos de la lengua de vaca.....	48
5.5	Determinación del análisis patológico de <i>Uromyces</i> sp. y <i>Ramularia</i> sp. en lengua de vaca.....	53
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
6.1	Conclusiones.....	57
6.2	Recomendaciones.....	57
	REFERENCIAS.....	58
	ANEXOS.....	71

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las malezas son un problema que amenaza a los cultivos agrícolas debido a la competencia por espacio, luz, nutrientes, agua, etc. Así mismo, puede presentarse un efecto de alelopatía donde la maleza puede secretar sustancias, comúnmente tóxicas, sobre una planta. La presencia de malezas también conlleva al albergue de insectos y, en consecuencia, la infesta de enfermedades para el cultivo. Es así que esto incide negativamente en el rendimiento, calidad y producción del cultivo (Ordeñana, 1992, p. 18-21).

Una estimación realizada en los Estados Unidos determinó que el efecto de las malezas reduce el rendimiento de los cultivos en un 12%, lo que representa pérdidas económicas de USD 32 mil millones de dólares. A esto se suma la inversión de productos químicos y operaciones de labranza para controlar momentáneamente estas plantas invasoras. Es así, que en la década de los 80's se invirtió un total de USD 3 mil millones de dólares en tratamientos químicos y otros USD 2 mil millones de dólares en tratamientos culturales. Para el año 2001 estas cifras aumentaron a un total de USD 6.4 mil millones de dólares en herbicidas (Yandoc-Ables, Rosskopf y Charudattan, 2007, p. 1).

Los primeros herbicidas orgánicos selectivos fueron introducidos a partir de la Segunda Guerra Mundial, como es el caso de los herbicidas auxínicos 2,4-D y MCPA (ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético). Estos productos permitieron revolucionar la producción de cultivos por su selectividad y su amplio espectro. Por ende, han sido utilizados por más de 60 décadas. Sin embargo, el uso prolongado y dependiente de los herbicidas han provocado que las malezas se hayan adaptado a estos cambios. Para el año de 1950 se dio a conocer que las malezas evolucionaron para ser resistentes a los herbicidas (Mithila, Hall, Johnson, Kelley y Riechers, 2011, pp. 445 y 452).

En la actualidad se conoce que hay cerca de 469 casos únicos de malezas resistentes a herbicidas reportadas en 86 cultivos de 66 países. Así también se

ha determinado que han desarrollado resistencia a 23 de los 26 sitios de acción de herbicidas conocidos. En el caso de Ecuador, *Euphorbia heterophylla*, o la comúnmente llamada hoja de duende, está registrada como una maleza resistente al herbicida linuron (Heap, 2016, p. 1).

Una de las alternativas que se adoptó para el problema de resistencia fue el desarrollo de cultivos transgénicos resistentes al glifosato. Esta estrategia se utilizó rápidamente ya que presentaba eficacia y facilidad de tal manera que se reemplazaron por los trabajos de control de malezas cotidianos. Sin embargo, el uso constante y excesivo condujo a que se presenten poblaciones de malezas resistentes al glifosato, como fue el caso de *Lolium rigidum* en 1996 (Green y Owen, 2011, p. 5819). Es así que hasta el momento existen 35 especies de malezas resistentes a este herbicida (Heap, 2016, p. 1).

En el caso de Ecuador, *Euphorbia heterophylla*, o la comúnmente llamada hoja de duende, está registrada como una maleza resistente al herbicida linuron (Heap, 2016, p. 1). En Ecuador, el 88% de la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) corresponden principalmente a las pequeñas y medianas empresas que utilizan terrenos de 1 a 20 hectáreas. Mientras que el 12% restante, representa a las grandes empresas que tienen más de 20 hectáreas de terreno cultivado. Esto indica que la papa es considerada como la mayor fuente de ingreso principalmente para las poblaciones rurales, donde el 7% de la población económicamente activa (PEA) está involucrada directa e indirectamente en el cultivo (Antony, 2009, p. 68).

La producción de papa representa un rubro elevado por la mano de obra utilizada. Es así que en el 2014, el costo de producción de la papa por hectárea significó económicamente alrededor de USD 4,986 dólares dando un total de cerca de USD 249 millones de dólares por las 50 mil hectáreas cultivadas anualmente (Coordinación General del Sistema de Información Nacional, 2014, p. 4).

Este cultivo andino de gran impacto comercial, está expuesto a la invasión de las malas hierbas. Malezas como la lengua de vaca (*Rumex crispus*), el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), entre otras, aparecen en el llamado periodo crítico

de competencia, reduciendo el rendimiento del cultivo a los 20 ó 30 días después de la emergencia de la papa (Torres y Andrade-Piedra, 2011, p. 1).

Según el Centro Internacional de la Papa (CIP), las malezas presentes en cultivo de la papa son tratadas a través de un manejo integrado, control cultural, mecánico y químico. Sin embargo, hasta el momento no se han aplicado prácticas con un enfoque biológico (Torres y Andrade-Piedra, 2011, p. 1).

Con la intención de evitar la resistencia a herbicidas y reducir el impacto ambiental es que se han estudiado otros tipos de control de malezas, como lo es el control biológico (Harding y Raizada, 2015, p. 2). El control biológico emplea organismos, microorganismos, complejo de agentes o procesos biológicos, los cuales son introducidos al ecosistema como enemigos naturales para controlar o suprimir las malezas. En los últimos 20 años las prácticas de control biológico han sido utilizadas por ser económicas (Bruckart, 2016, p. 1). El control biológico inundativo, o llamado estrategia bioherbicida ha sido probado exitosamente en ciertas poblaciones de malas hierbas (Bruckart, 2016, p. 1). Este método introduce organismos patógenos que se propagan con facilidad mediante esporas, suspensiones de bacterias o virus, con la finalidad de eliminar o reducir la mala hierba (Harding y Raizada, 2015, p. 2). A estos microorganismos se los conoce como biótrosos.

Los biótrosos son microorganismos que se alimentan de material vegetal vivo. Los hongos son los más utilizados, como es el caso de las royas y el mildiú. Se conoce por el momento que hay más de 10,000 tipos de hongos patógenos de plantas y tan sólo 50 especies de hongos que producen enfermedades al ser humano. Por lo que se demuestra que su rango de infección fitopatológico es amplio (Koeck, Hardham y Dodds, 2011, p. 1).

Hoy en día, se conoce que a través de proteínas efectoras el hongo patógeno infecta a la planta, las mismas que interaccionan con el huésped dando como lugar a la acción virulenta (Koeck, Hardham y Dodds, 2011, p. 2).

Existe evidencia y registro de hongos utilizados como microherbicidas, algunos de ellos ya se encuentran en formulaciones registradas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y comercializados en Estados Unidos y Canadá (Harding y Raizada, 2015, p. 1).

Sin embargo, para el caso de las malezas del cultivo de papa, anteriormente mencionadas, no se han registrado datos relevantes en cuanto a microherbicidas empleados para este cultivo y por lo tanto, aún falta información para lograr un control biológico eficaz.

1.2 Planteamiento del problema

El cultivo de papa en el sector andino del Ecuador, es considerado el segundo cultivo en importancia después del maíz (*Zea mays*) y figura el 7% de la canasta familiar de los ecuatorianos (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP, 2013, p. 2). Es por ello, que su cultivo se extiende por toda la serranía ecuatoriana, siendo Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha y Tungurahua las provincias que generan cerca del 80% de la producción anual (Antony, 2009, p. 67).

Según estudios realizados por el MAGAP, una persona promedio consume alrededor de 30 kg de papa por año. Para cubrir esta demanda, se cultivan unas 50 mil hectáreas, produciendo anualmente un total de 300 mil toneladas métricas. Tal es su importancia que hoy en día hay más de 80 mil agricultores dedicados a la producción y comercialización de este cultivo, lo que indica que existe alrededor de 250 mil personas que subsisten de este negocio (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2016, p. 1).

El cultivo de papa no solamente se comercializa a nivel nacional, sino también internacionalmente. Para el 2014, las exportaciones de este tubérculo fueron de 43 toneladas, siendo Estados Unidos el principal comprador (Coordinación General del Sistema de Información Nacional, 2014, p. 4). Esto se traduce en mayores ingresos para los pequeños y grandes productores.

Sin embargo, el crecimiento de malezas provoca que el rendimiento del cultivo de papa disminuya, las tierras se deprecien y con ello se incremente el costo

de producción. Esto se produce porque estas plantas no deseadas se adaptan fácilmente al ambiente, se propagan y diseminan con facilidad. Aproximadamente, el 34% de las pérdidas de los cultivos de importancia mundial son causadas por la incidencia de malezas, siendo el mayor factor de impacto que el resto de plagas agrícolas (Jabran, Mahajan, Sardana y Chauhan, 2015, p. 58). Para eliminar la mala hierba, el agricultor es obligado a aplicar tratamientos químicos, como herbicidas o tratamientos mecánicos, como podadoras, sierras u otras herramientas, lo que implica gastos económicos por la mano de obra empleada (Torres y Andrade-Piedra, 2011, p. 1).

Además del factor económico que representa el control de maleza, el uso de los herbicidas ha desplegado una serie de repercusiones a largo plazo, que hoy en día ya están siendo reflejadas tanto a nivel ambiental, social, de salud y genético (Harding y Raizada, 2015, p. 2).

Con respecto al tema ambiental y de salud, los herbicidas están dejando un impacto de carácter negativo por la contaminación con agentes tóxicos. Es así, que el uso indiscriminado de plaguicidas repercute tanto en el suelo como en las aguas superficiales y subterráneas, afectando a la biota presente en los ecosistemas y perjudicando al resto de la vegetación (Alexandratos, 1995, pp. 383 y 384; Aktar, Sengupta y Chowdhury, 2009, p.5). Para ello, se realizan tratamientos de descontaminación, los mismos que son costosos y en muchos casos no son factibles de realizar (Aktar, Sengupta y Chowdhury, 2009, p. 5). A esto se agrega la tasa de muerte y desarrollo de enfermedades crónicas por intoxicación, que corresponde aproximadamente de 1 millón de personas por año (Aktar, Sengupta y Chowdhury, 2009, p. 3).

Por el lado genético, el uso descontrolado de los agentes químicos dio lugar a la generación de resistencia a los herbicidas (Harding y Raizada, 2015). En efecto, se han propiciado resistencia a 23 sitios de acción de los herbicidas que corresponde a 427 especies invasoras, de las cuales se destacan dos sitios de acción: los inhibidores para la acetolactato sintasa (ALS) con un total de 159 especies de malezas resistentes al herbicida clorsulfurón y los inhibidores del

fotosistema III producido por la atrazina, que corresponden a 73 especies (Heap, 2016, p. 1).

A fin de contrarrestar los efectos producidos por la aplicación de los herbicidas y de controlar de manera efectiva el desarrollo de malezas, se desea conocer agentes naturales que no causan efectos al ambiente y a la salud.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Identificar y determinar del efecto fitopatológico de los biótrosos para el control de malezas *Rumex crispus* y *Pennisetum clandestinum* en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar y clasificar taxonómicamente los biótrosos mediante claves dicotómicas.
- Analizar la patogenicidad del controlador biológico con respecto a la maleza en base al daño del tejido foliar, porcentaje de incidencia e infección.

1.4 Justificación

Para los agricultores, controlar temporalmente las malezas significa una inversión periódica. Se requieren aproximadamente 150 jornaleros por hectárea en todo el ciclo de cultivo (Antony, 2009, p. 68). La mano de obra para la preparación del terreno y labores culturales por hectárea generan una inversión de USD 341.80 dólares y USD 416.00 dólares, respectivamente, lo que indica que se requiere de aproximadamente USD 37 millones de dólares en mano de obra por las 50 mil hectáreas cultivadas anualmente. De igual manera, la inversión en productos químicos para el control fitosanitario refleja un valor de USD 784.77 dólares por hectárea (Coordinación General del Sistema de Información Nacional, 2014, p. 5).

Dado a las grandes inversiones y a la necesidad de contrarrestar el desarrollo de malezas en los cultivos agrícolas, se ha desarrollado metodologías alternativas capaces de sustituir a los herbicidas (Alexandratos, 1995, p. 212)

Una de estas alternativas, es la aplicación de insectos para ser utilizados como control biológico. Sin embargo, sólo son específicos hasta cierto estadio de su vida y en muchos casos pueden ser susceptibles a agentes químicos como los pesticidas. Además que, mientras el insecto controla la maleza, se presenta escasez de alimento y esto a su vez contribuye a la disminución de la población de insectos (Vera, 1999, p. 32).

El control biológico a base de hongos, bacterias o virus, tiene la ventaja de ser específico para cada hospedero, por lo que la preocupación de propagarse en otras especies es nula y el costo de producción es bajo en comparación a los sintéticos (Harding y Raizada, 2015, p. 2). Además, que producen infecciones en las hojas, reduciendo el área foliar y por ende no existe disponibilidad de realizar fotosíntesis para su normal desarrollo (Bruckart, 2016, p. 4). Por otra parte, la estrategia bioherbicida es más eficiente en la agricultura y manejo de pasturas en comparación con la liberación de insectos, ya que su aplicación es similar a los herbicidas comunes a través de suspensión de inóculos líquidos o sólidos. Así también, el principal beneficio que confiere la utilización de bioherbicidas es la reducción del impacto ambiental producido por el uso indiscriminado de los productos sintéticos (Harding y Raizada, 2015, p. 2).

No solamente hay que considerar el valor económico que generan el control de malezas tradicionales, el impacto ambiental, el desarrollo de enfermedades y la aparición de rasgos de resistencia genética (Harding y Raizada, 2015, p. 2); sino también los cultivos no convencionales como los orgánicos que no emplean herbicidas y para los cuales el control biológico es ideal (Jabran, Mahajan, Sardana y Chauhan, 2015, p. 58).

Por tal motivo, se requiere desarrollar investigaciones que determinen los tipos de biótrofos o enemigos naturales que atacan directamente a las malezas de la papa. Así en un futuro se podrá aportar con registros de cepas viables, que posteriormente podrán ser empleadas en la realización de bioproductos.

Además, esta propuesta impulsa a descubrir y explotar nuestra mega biodiversidad única en el mundo. De tal modo, se busca de alguna manera alternativas más limpias, económicas y seguras para el ambiente y la salud.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Malezas generalidades

La maleza es toda planta que se desarrolla de forma silvestre tanto en cultivos agrícolas como no agrícolas y en pastos (Ordeñana, 1992, p. 18). Tiene la característica de crecer espontáneamente influyendo significativamente en la competencia por espacio, nutrientes, agua, luz, etc., perjudicando a la producción y rendimiento del cultivo (Pumisacho y Sherwood, 2002, p. 142).

Estas plantas no deseadas son capaces de producir agentes aleloquímicos, es decir sustancias tóxicas, para impedir la germinación, el desarrollo y producción de la planta agrícola. Es así, que muchas de las veces los agricultores tienen que reemplazar el sistema agrícola existente por uno nuevo (Paucar y Santa Catalina I. E. E, 2006, p. 2).

2.1.1 Clasificación de las malezas

Las malezas pueden clasificarse según su ciclo biológico, es decir si son anuales, bianuales, perennes o parásitas. Las malezas anuales son aquellas que terminan su ciclo vital durante un año o menos. En cambio, las malezas bianuales emplean dos años para culminar con su ciclo biológico. El primer año corresponde la fase vegetativa, mientras que el segundo año aparece la fase reproductiva. Por otro lado, hay malezas en las que su ciclo de vida se demora más de dos años, con capacidad de florecer varias veces y producir gran cantidad de semillas, las que se conocen como perennes. A su vez, existen malezas que se caracterizan por tener ciclos de vida en sincronía con el cultivo

huésped, es decir que su ciclo de vida está destinado de forma parásita (Ruiz, 1995, p. 133; Herrera, Fierro y Moreno, 2000, p. 143).

También se pueden clasificar según su hábitat entre los cuales se destacan: los hábitats climáticos, edáficos y bióticos. En los hábitats climáticos se encuentran malezas ubicadas a diferentes altitudes, temperatura, humedad, etc. Según estos factores, las malezas pueden ser de páramo, clima frío, clima cálido o de climas adversos, tal como se detalla en la Tabla 1. Para los hábitats edáficos, las malezas terrestres se clasifican según el tipo o calidad de suelo como: el pH, humedad, textura o nutrientes (Tabla 2). Mientras que los hábitats bióticos están determinados por los principales factores bióticos como los animales, insectos, plantas, biota del suelo y principalmente el ser humano, los mismos que permiten o no el desarrollo, distribución y la manera de actuar de las malezas (Ordeñana, 1992, pp. 38-41).

Tabla 1.

Malezas según su hábitat climático

	Páramo	Clima frío	Clima cálido	Climas adversos
Temperatura	3 a 6°C	6 a 18°C	18 a 30°C	
Altitud (msnm)	>4,000	2,000 a 4,000	0 a 2,000	Adaptadas a amplios rangos climáticos
Piso altitudinal	Subalpinos	Montano-subtemplado y montano bajo temperado	Premontano subtropical y tropical	

Tomada de Ordeñana, 1992, p.38

Tabla 2.

Clasificación de malezas según el hábitat edáfico

pH	Humedad	Textura	Nutrientes
Acidófilas	Área seca	Arenoso	Según la
Basidófilas	Áreas húmedas	Arcilloso	disponibilidad de
	Áreas muy húmedas		nutrientes que
			asimile como: N,
			Ca, P, K, Mn, Mg,
			etc

Adaptada de Ordeñana, 1992, pp. 38-41

2.1.2 Comportamiento y efectos de las malezas

A diferencia de los cultivos agrícolas, las plantas no deseadas tienen una facilidad de adaptación a un amplio rango ecológico y condiciones medioambientales. A su vez, sus semillas proliferan antes que la planta agrícola provocando una competencia por espacio, luz, nutrientes, agua, etc (Masilionyte *et al*, 2016, p. 75). Así también, sus semillas tienen la característica de ser viables por mucho más tiempo porque entran a la fase de dormancia, regulada por las condiciones ambientales (Herrera, Fierro y Moreno, 2000, p. 144). Tal es su adaptación, que pueden persistir aún después de los métodos convencionales de control (Masilionyte *et al*, 2016, p. 75).

Por otro lado, la invasión de las malezas ha provocado la reducción de plantas nativas, alteración del ciclo de los nutrientes, el ecosistema y genes, la propagación de enfermedades, la pérdida de los cultivos y con ello la disminución económica (Xu, Feng, Yang, Zheng y Zhang, 2013, p. 1).

Producen un efecto alelopático que está determinado como la liberación de sustancias tóxicas que afectan directa o indirectamente a la planta de carácter agronómico, que generalmente son perjudiciales en el rendimiento del cultivo (Doll, 2012, p. 1). La emanación de las sustancias tóxicas como compuestos

glucosídicos, fenólicos, aldehídos, etc., son producidas en la mayoría de los casos por el sistema radicular o por la descomposición de las hojas y raíces (Ordeñana, 1992, p. 20). Por otra parte, se puede producir un efecto de interferencia por la relación directa de la alelopatía con la competencia (Doll, 2012, p. 1).

En cuanto a los efectos indirectos se puede destacar la afectación al ganado; salud humana; obstrucción de caminos y carreteras; problemas en los servicios públicos; acumulación de insectos y de plagas (Ordeñana, 1992, p. 24).

2.1.3 Malezas más importantes

Las malezas relacionadas a los cultivos agrícolas son las de mayor relevancia por el hecho de interferir en el rendimiento y calidad del cultivo, lo que conlleva a pérdidas económicas. En Ecuador, las malezas que atacan a los cultivos agrícolas están determinadas según la región altitudinal (Tabla 3).

Tabla 3.

Principales malezas de clima frío de la serranía ecuatoriana

Malezas		Cultivos comerciales															
Nombre científico	Nombre común	Alfalfa	Arveja	Avena	Achiote	Ajo	Cebada	Cebolla	Centeno	Cítricos	Col	Haba	Maíz suave	Manzano	Papa	Pera	Trigo
<i>Amaranthus hybridus</i>	Bledo	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X				X
<i>Avena fatua</i>	Avena loca			X													
<i>Bidens pilosa</i>	Amor seco	X		X			X		X				X				X
<i>Brassica napus</i>	Sacha nabo		X				X					X		X			X
<i>Cenchrus echinatus</i>	Abrojo	X	X			X			X	X			X				X
<i>Cynodon dactylon</i>	Bermuda	X			X			X		X			X		X		
<i>Capsella bursapastoris</i>	Balsilla						X						X	X	X	X	X
<i>Chenopodium album</i>	Paico	X											X				X
<i>Datura stramonium</i>	Chamico						X								X		X
<i>Digitaria sanguinalis</i>	Paja lanuda	X							X		X						X
<i>Galinsoga ciliata</i>	Hauasca	X								X	X						X
<i>Galinsoga caracazona</i>	Pacunga	X	X	X		X	X	X	X				X		X		
<i>Poa annua</i>	Poa	X								X		X					
<i>Polygonum aviculare</i>	Coloradilla	X					X	X	X				X				X
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo			X			X						X	X	X	X	X
<i>Rumex spp</i>	Lengua de vaca	X		X					X		X	X	X		X		X
<i>Sida rhombifolia</i>	Cosa-Cosa	X			X								X				
<i>Silene gallica</i>	Forastera			X		X	X				X						
<i>Taraxacum officinalis</i>	Diente león	X								X			X				
<i>Urtica urens</i>	Ortiga	X			X	X			X	X			X				

Tomada de Ordeñana, 1992, p. 47

En la Tabla 3, se destacan las principales malezas de clima frío, haciendo hincapié en las malezas que atacan al cultivo de la papa y principalmente a las

dos malezas estudiadas en este trabajo como son: el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y la lengua de vaca (*Rumex crispus*).

2.2 Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

Pennisetum clandestinum (Figura 1), se lo denomina comúnmente como kikuyo, kikuyu, pasto africano, grama gruesa, etc (Labrada, Caseley y Parker, 1996, p. 86). En Ecuador, se conoce como kikuyo, grama, cuyucha, pikuyo y carricillo (Pumisacho y Sherwood, 2002, p. 143).



Figura 1. Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

Es una planta originaria de África Oriental y Central, específicamente nativa de la tribu Kĩkũyũ (Global Biodiversity Information Facility GBIF, 2016, p. 1). Se encuentra distribuido en zonas templadas y tropicales entre 1,500 a 3,000 msnm y ha sido introducida a nivel mundial como cultivo forrajero, tal como se muestra en la Figura 2. Sin embargo, en muchos países está catalogada como mala hierba (Seeman, Loch, Knihinicki y McMaugh, 2016, p. 890).

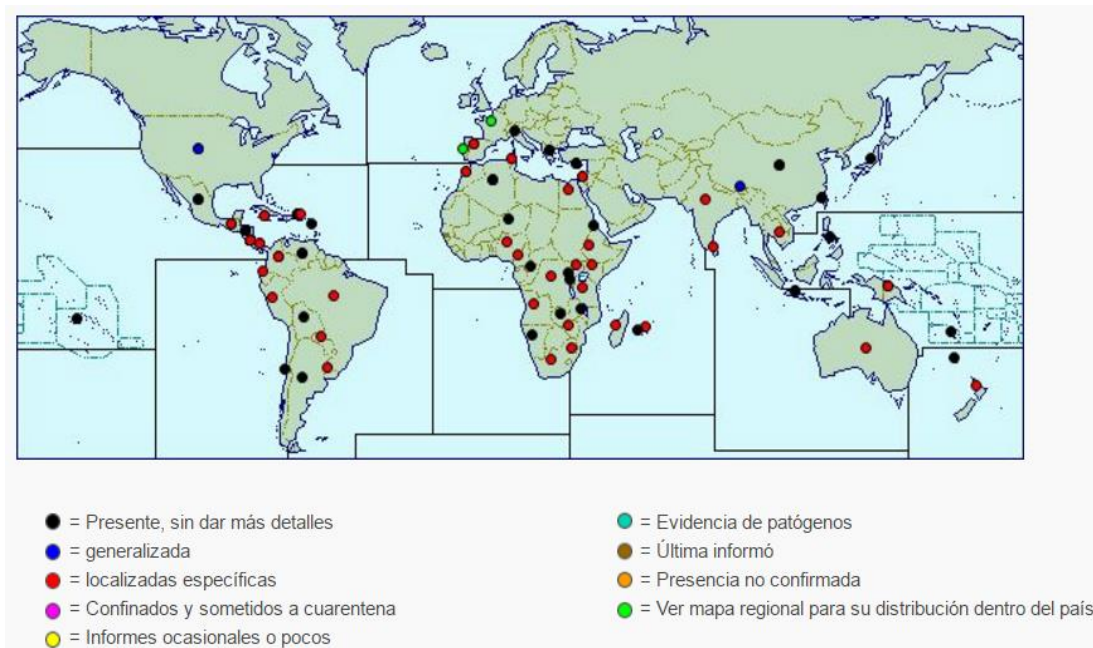


Figura 2. Distribución geográfica de *P. clandestinum* a nivel mundial.

Tomado de CABI, 2015, p. 1

Taxonómicamente esta maleza pertenece a la familia de las poaceas y al género *Pennisetum*, tal como se muestra en la Tabla 4 (Labrada, Caseley y Parker, 1996, p. 86). Además este género consta con más de 140 especies de los cuales se destacan *P. gaucum*, *P. purpureum*, *P. pedicellatum*, *P. americanum*, *P. villosum*, *P. clandestinum* entre otros (Mukherjee, 2015, p. 11). En cuanto a la especie *P. clandestinum*, este presenta algunos cultivares como: 'Whittet', 'Breakwell', 'Noonan' y 'Croft'. Las características de estos cultivares se encuentra en el Anexo 1.

Tabla 4.

Descripción taxonómica del kikuyo

Reino	Plantae
<i>División</i>	Spermatophyta
<i>Clase</i>	Monocotyledonae
<i>Orden</i>	Cyperales
<i>Familia</i>	Poaceae
<i>Género</i>	<i>Pennisetum</i>
<i>Especie</i>	<i>Clandestinum</i>

Tomada de CABI, 2015, p.1

Morfológicamente kikuyo es una planta rastrera y perenne, capaz de reproducirse por medio de semillas o estructuras vegetales como los estolones y rizomas que producen una densa red de raíces fibrosas (Labrada, Caseley y Parker, 1996, p. 86). Su manera de crecer es de forma horizontal a través de las extensiones de los rizomas (CABI, 2015, p. 1). Sus raíces se desarrollan a través de los internodos de los rizomas a cada 5 cm de distancia pudiendo enraizarse a 20 ó 30 cm de profundidad, mientras que sus tallos o estolones pueden alcanzar una altura entre 10 y 60 cm. Sus hojas son verdes y vellosas que están dispuestas alternamente con aproximadamente 3 a 4 mm de ancho (CABI, 2015, p. 1; Cortés, 1994, p. 436; Labrada, Caseley y Parker, 1996, p. 86). Su flor femenina es de color blanco y sus inflorescencias se encuentran distribuidas en racimos que permanecen ocultas por debajo de las vainas de las hojas, es por esta característica que se denomina "*clandestinum*" (Cortés, 1994, p. 436; Ordeñana, 1992, p. 270; Thulin y Phillips, 2015, p. 173). Las inflorescencias poseen de 2 a 4 espigas que alcanzan hasta 2 cm de largo con apenas dos flores compuestas por cerdas que crecen al contorno de la base. Contiene un estigma de 3 cm de largo y sus estambres filamentosos de 5 cm de altura que se extienden por sobre las inflorescencias. Las semillas son pequeñas alcanzando 2 mm de largo y su fruto es simple del tipo cariósipide de color café oscuro (CABI, 2015, p. 1; Ordeñana, 1992, p. 270). Gráficamente, las estructuras vegetales de esta maleza se pueden observar en la Figura 3.

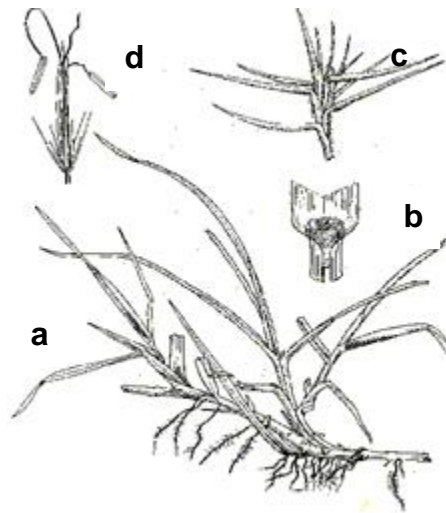


Figura 3. Morfología de P. clandestinum.

Tomado de Mannerje y Jones, 1992.

- a) Base de la planta que contiene la raíz, rizomas e inicio de los estolones.
- b) Formación de la lígula, es decir la unión entre la lámina foliar con la vaina.
- c) Inflorescencia.
- d) Formación de la espiguilla con sus estambres.

Por otra parte, el kikuyo es genéticamente una planta diploide ($2n$) con 36 cromosomas. Además, pertenece a las plantas C4 por lo que se adapta fotosintéticamente a diversos rangos de temperatura, siendo los climas templados los de mayor aceptación (CABI, 2015, p. 1).

A nivel mundial esta especie vegetal está dentro de las 100 peores malezas que atacan a los cultivos comerciales, siendo alto el grado de amenaza por la presencia de estolones y rizomas que crecen rápidamente penetrando en el suelo para formar una densa red que es capaz de asfixiar a arbustos y árboles jóvenes. Además que estas estructuras vegetales causan problemas al momento de la labranza. Por esto, se necesita de otro tipo de requerimientos al momento de preparar el suelo. De igual manera sus semillas pueden subsistir por más de 10 años en el suelo (CABI, 2015, p. 1; Global Invasive Species Database, 2016, p. 1; Labrada, Caseley y Parker, 1996, p. 86; Ordeñana, 1992, p. 270; Pumisacho y Sherwood, 2002, p. 52; Secretaría de GBIF, 2016, p. 1).

Para los animales de ganado la ingesta de esta mala hierba puede provocar intoxicaciones por los oxalatos y nitratos que se encuentran solubles y acumulados bajo ciertas condiciones (Global Invasive Species Database, 2016, p. 1).

2.3 Lengua de vaca (*Rumex crispus*)

Rumex crispus L. (Figura 4), o también llamada lengua de vaca, acedera, romaza, entre otras (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, 1975, p. 39). En Ecuador es comúnmente conocida como lengua de vaca, pacta, barrabás, gulag, callo de toro o huagra callo, entre otros (Pumisacho y Sherwood, 2002, p. 143).



Figura 4. Lengua de vaca (*Rumex crispus*)

Esta planta es originaria de Europa y parte del continente Africano y Asiático; y está difundida a nivel mundial (Xu, Feng, Yang, Zheng y Zhang, 2013, p. 2), tal como se observa en la Figura 5. Se caracteriza por ser una especie circumpolar por lo que se distribuye en regiones templadas y de temperaturas frías a lo largo de las zonas ecuatoriales de los cinco continentes (CABI, 2015, p. 1).

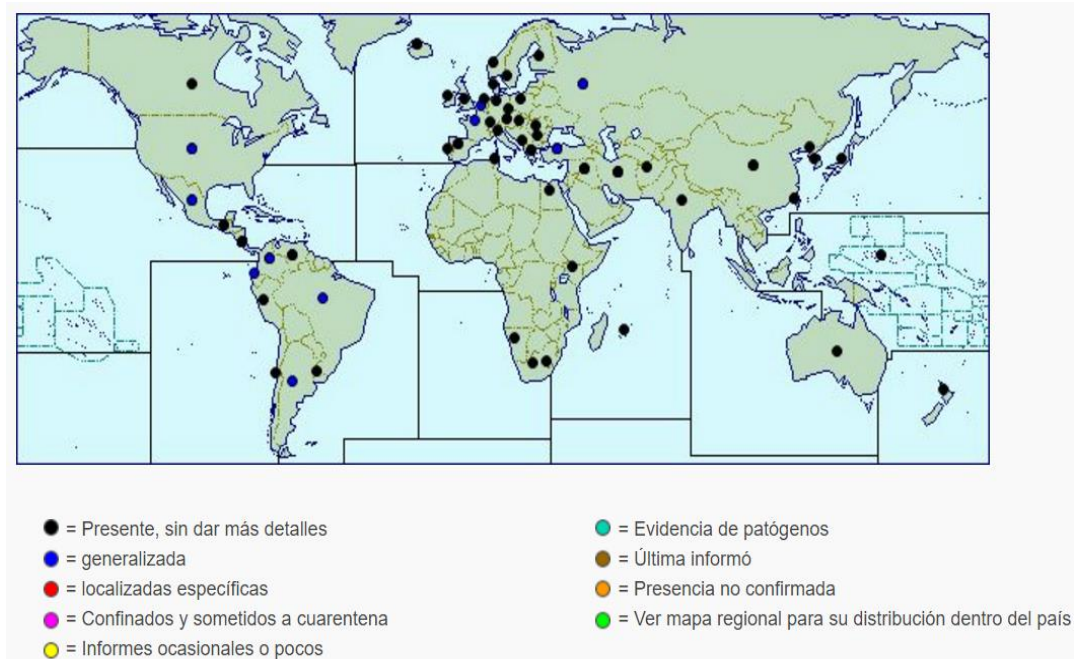


Figura 5. Distribución geográfica de R. crispus a nivel mundial.

Tomado de CABI, 2015, p. 1

Esta maleza herbácea y perenne pertenece a la familia de las poligonáceas, como se ve en la Tabla 5 (Shiwani, Singh y Wang, 2012, p. 389) y al género *Rumex* que consta de aproximadamente 200 especies de plantas, dentro de las cuales se destacan *R. acetosa*, *R. venosus*, *R. longifolius*, *R. abyssinicus*, *R. crispus* (CABI, 2015, p. 1; Díaz, 2010, p. 180). *R. crispus* cuenta con algunas subespecies y variedades como *R. crispus* ssp *crispus* L., *R. crispus* ssp *fauriei*, *R. crispus* var. *Dentatus* Schur (Global Invasive Species Database, 2016, p. 1; Flora of North America Editorial Committee, 1993, p. 523).

Tabla 5.

Descripción taxonómica de la lengua de vaca

<i>Reino</i>	<i>Plantae</i>
<i>División</i>	Magnoliophyta
<i>Clase</i>	Magnoliopsida
<i>Orden</i>	Polygonales
<i>Familia</i>	Polygonaceae
<i>Género</i>	<i>Rumex</i>
<i>Especie</i>	<i>Crispus</i>

Tomada de CABI, 2015, p. 1

R. crispus es considerada como una maleza de hoja ancha que puede llegar a medir entre 30 a 150 cm de altura (Osuji, 2007, p. 5). Presenta raíz principal gruesa del tipo napiforme, es decir en forma de nabo con 4 cm de ancho que se ancla en el suelo a una profundidad de 150 cm (CABI, 2015, p. 1; Ordeñana, 1992, p. 279). Los tallos verdes-rojizos, alargados y estriados presentan nodos gruesos. Sus hojas inferiores verde-azuladas están dispuestas en rosetas que brotan de los tallos desde la base del cuello de la raíz, las mismas que son venosas, alternas, pecioladas y largas pudiendo medir entre 8 a 30 cm de longitud y de 2 a 7 cm de ancho. La forma de la lámina foliar de las hojas adultas que se encuentran en la base es redondeada. Por el contrario, en las hojas jóvenes la lámina foliar es de aspecto lanceolado, ondulado y rizado, característica por la cual lleva el nombre “crispus” (CABI, 2015, p. 1; Ordeñana, 1992, p. 279; Osuji, 2007, p. 5). Posee inflorescencias de carácter tóxico (Ordeñana, 1992, p. 279), dispuestas en racimos o panículas que miden entre 10 a 50 cm de largo. Dentro de la panícula se encuentra hojas lineales más pequeñas y angostas, que carecen de peciolos. Sus flores pequeñas poseen sépalos internos (tépalos) de 3 a 5 mm de largo y pedicelos de 5 a 10 mm de largo. Al inicio, las flores son de color verde pero mientras maduran se tornan rojizas o marrones. La misma planta contiene tanto flores femeninas como bisexuales. Las semillas se presentan en aquenios de forma acorazonada con dimensiones de 2 a 3 mm de largo por 1.2 a 1.7 mm de ancho, son de color

verde claro que luego se vuelven marrones al madurar y se ubican en el interior de los sépalos (CABI, 2015, p. 1). Las características morfológicas de esta maleza se observan en la Figura 6.

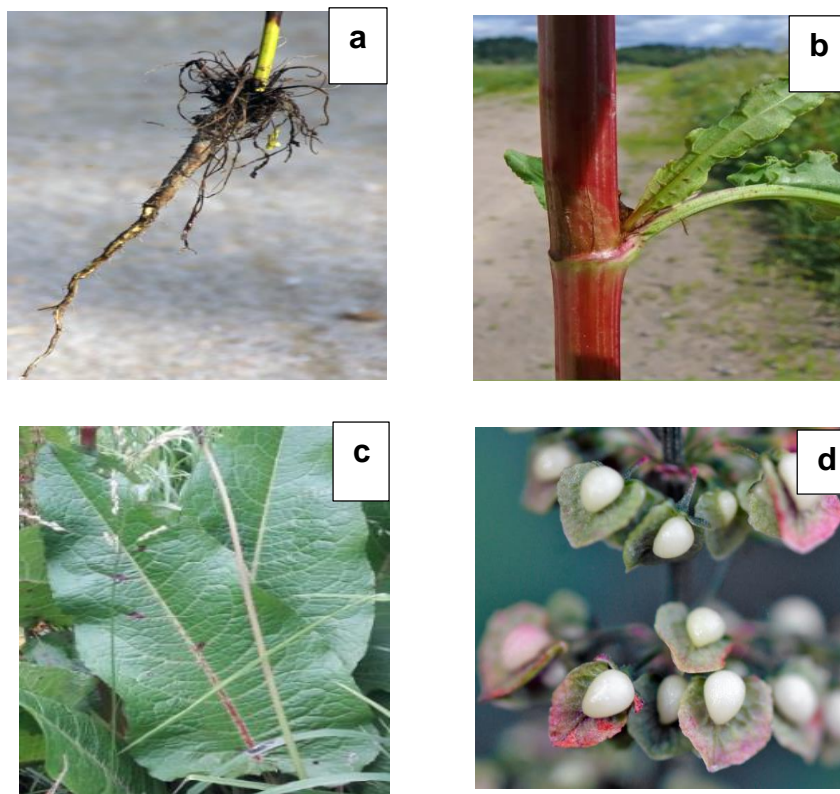


Figura 6. Características botánicas de R. crispus.

Tomado de Lehmuskallio, 2016, p. 1

- a) Raíz.
- b) Tallo.
- c) Hojas.
- d) Inflorescencia, flores y semilla inmadura.

Genéticamente esta especie vegetal es diploide ($2n$) con un total de 60 cromosomas y se reproduce fácilmente mediante las semillas. Además, hay presencia de polimorfismo en las semillas confiriéndoles una variedad de respuestas de carácter longevo y germinativo frente a las condiciones ambientales (CABI, 2015, p. 1).

Por otra parte, *R. crispus* es considerada como una maleza de alto grado de nocividad en cultivos de clima frío por su facilidad de propagación mediante sus semilla, generando así competencia por espacio y nutrientes con el cultivo de interés (Hejcman, Strnad, Hejcmanová y Pavlů, 2012, p. 192; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA, 1975, p. 39; Pumisacho y Sherwood, 2002, p. 147).

Tal es su invasión, que puede adaptarse fácilmente a distintos tipos de hábitats como tierra removida, rica en nutrientes y humedad (Xu, Feng, Yang, Zheng y Zhang, 2013, p. 2). Puede crecer principalmente en cultivos agrícolas, potreros, pastos, matorrales, lotes abandonados, bordes de caminos y carreteras, etc., (Ordeñana, 1992, p. 279).

En el ganado puede causar enfermedades en la piel como dermatitis, además de producir enfermedades gástricas por las sustancias tóxicas que contiene, como fenoles (Shiwani, Singh y Wang, 2012, p. 389).

2.4 Métodos de control de maleza

Los métodos de control de malezas son todas aquellas actividades tanto físicas, químicas o biológicas que pretenden regular el crecimiento de malas hierbas a fin de reducir el costo económico que genera la pérdida de cultivos (Labrada, Caseley y Parker, 1996, p. 3).

2.4.1 Prácticas culturales

Esta estrategia de control utiliza la rotación de cultivos para interrumpir el crecimiento de las malezas, evitando así que las malas hierbas se sigan adaptando a los cultivos. Además se emplea el medio aporque para cubrir los estolones por medio de una cubierta de tierra y de esta forma controlar las malas hierbas (Figura 7) (Pumisacho y Sherwood, 2002, pp. 81 y 144).



Figura 7. Control de malezas mediante prácticas culturales.

Tomada de Buscagro, 2000, p.1

2.4.2 Control físico y mecánico

El control mecánico consiste en deshierbar o limpiar la maleza del cultivo mediante el empleo de fuego; coberturas de plástico, paja, restos de tallos y cáscaras de cosechas; instrumentos manuales (azadones, rastrillos, palas, cuchillos, machetes, etc.); labranza mediante la tracción animal y/o maquinaria pesada (tractores) (Labrada, Caseley y Parker, 1996, p. 351). El deshierbe se realiza dos o tres veces en el ciclo de cultivo (Figura 8), la primera se realiza a los 15 o 20 días después de la siembra para evitar la competencia de la maleza con el cultivo y la segunda se aplica después de los 30 o 40 días de sembrado. Se puede hacer un tercer deshierbe si el caso lo amerita a partir de los 60 o 70 días (Gabela y Cárdenas, 1989, p. 2).



Figura 8. Deshierbe de malezas empleando utensilios manuales.

Tomada de Bravo, 2016, p.1

2.4.3 Control químico

Utiliza herbicidas o agentes de origen sintético (Figura 9). Es el control más utilizado por la facilidad de aplicación en cultivos extensos y porque no estropea a las estructuras vegetales, en comparación al manejo físico (Torres, Adrade-Piedra, 2011, p. 1).

Para la aplicación de herbicidas es necesario conocer el tipo de maleza que afecta el cultivo, en que época del año intervine y las condiciones meteorológicas. Así, se evita riesgos a la hora de aplicarlos tanto para el cultivo como para la persona que maneja el producto. En el caso de la lengua de vaca se utilizan herbicidas de amplio espectro como el 2,4-D y comúnmente el glifosato. Mientras que para el kikuyo se emplea el fluazifop-butyl (Pumisacho y Sherwood, 2002, pp. 146 y 148).

A pesar de ser útil bajo estas circunstancias, los herbicidas están limitados porque no acaban por completo con las especies de malezas (Labrada, Caseley y Parker, 1996, p. 351).



Figura 9. Aplicación de herbicidas para el control de maleza.

Tomada de Cenicaña, 2010, p.1

2.4.4 Control biológico

Es la introducción de organismos o microorganismos vivos como insectos, bacterias, hongos o virus a un ecosistema determinado para que actúen sobre una plaga evitando que esta se propague. Existen dos tipos de control biológico: control clásico y el inundativo. El primero utiliza depredadores naturales como los insectos o gusanos que son liberados hacia alguna especie de plaga. Mientras que el segundo, llamado también estrategia bioherbicida, emplea hongos y bacterias (Harding y Raizada, 2015, p. 2).

Los bioherbicidas a base de hongos parásitos como las royas fueron sugeridos como nueva metodología para el control de malezas, que dependen tanto del grado de infección natural de la roya en la planta huésped como de la biomasa del hongo biotrófico producido (Auld y Morin, 1995, p. 647).

2.5 Generalidades de los hongos fitopatógenos

Los hongos fitopatógenos son los principales microorganismos causantes de diversas enfermedades en las plantas como las malezas, por lo que podrían ser considerados de gran importancia en el área agrícola como las royas y algunas de las especies de ascomicetos que son utilizados para el control biológico de malezas (García, 2004, p. 103; González-Espinosa, Ramírez-Marcial y Ruiz-Montoya, 2005, p. 43).

Su gran diversidad ha permitido superar a los hongos patógenos de enfermedades humanas con más de 10 mil especies de hongos portadores de enfermedades en las plantas (Koeck, Hardham y Dodds, 2011, p. 1).

Dependiendo la manera de asociarse con la planta huésped estos hongos pueden ser saprofitos, cuando dependen de materia en descomposición; parásitos, que necesitan de material vegetal vivo para alimentarse; o simbiontes cuando realizan mutualismo con la planta (Rivera, 2007, p. 33). Según la manera en que adquieren nutrientes, los hongos fitopatógenos pueden clasificarse como biótrosos o necrotrosos. Los primeros necesitan exclusivamente de material vegetal vivo para poder vivir. En cambio los

necrotróficos se encargan de liberar toxinas que provocan la muerte celular de los tejidos vegetales para así invadir el tejido y poder alimentarse (Rivera, 2007, p. 33).

Estos hongos poseen esporas las mismas que son su medio de reproducción y pueden ser asexuales o sexuales dependiendo de qué tipo de hongo las produce. Si son asexuales las esporas se desarrollan en el interior de esporangios o sobre conidióforos. En el caso de ser sexuales las esporas se originan de basidios o ascos, entre otras estructuras (Rivera, 2007, pp. 29-31).

Generalmente, los órganos reproductores de estos hongos se encuentran en la superficie de las hojas, raíces o frutos de la planta para poder dispersarse con facilidad a través del viento, lluvia o insectos hasta llegar a otra planta huésped y cumplir con su infección (García, 2004, p. 104).

En la mayoría de los casos las enfermedades causadas por estos hongos son fácilmente detectables a simple vista de acuerdo a la aparición de los síntomas en la planta huésped, como las royas (Sosa, Perdomo, Brathwaite y Salazar, 1997, p. 15).

2.6 Biótrofos

Los biótrofos son hongos parásitos obligados, destinados a completar su ciclo de vida mediante la infección en la planta. Este proceso se lleva a cabo a través de estructuras filamentosas a las que se les conoce como haustorios, las mismas que penetran la cutícula y la pared celular; y al mismo tiempo deben de mediar con el bombardeo de sustancias químicas antimicrobianas que segrega la planta huésped como mecanismo de defensa (Koeck, Hardham y Dodds, 2011, p. 2).

En este grupo de hongos se encuentran primordialmente las royas y mildiú. Sin embargo, no se puede descartar a las especies de los géneros de hongos como *Magnaporthe*, *Ustilago*, *Cladosporium* por mencionar algunos (Koeck, Hardham y Dodds, 2011, p. 1).

Los hongos biotróficos tienen la habilidad de absorber monosacáridos, ubicados en la matriz extrahaustorial, como la sacarosa (hidrolizada por la invertasa en glucosa y fructosa); así como también aminoácidos. Este proceso se realiza a través de las proteínas transmembranas utilizando un gradiente de protones (Figura 10) (Webster y Weber, 2007, p. 617).

El proceso de alimentación de estos hongos es facilitado por la carencia de la actividad de la ATPasa en la membrana extrahaustorial, impidiendo que la célula huésped ya infectada no consiga ningún método de ataque para evitar la salida de nutrientes (Webster y Weber, 2007, p. 618). En la Figura 10, se resume gráficamente lo detallado anteriormente.

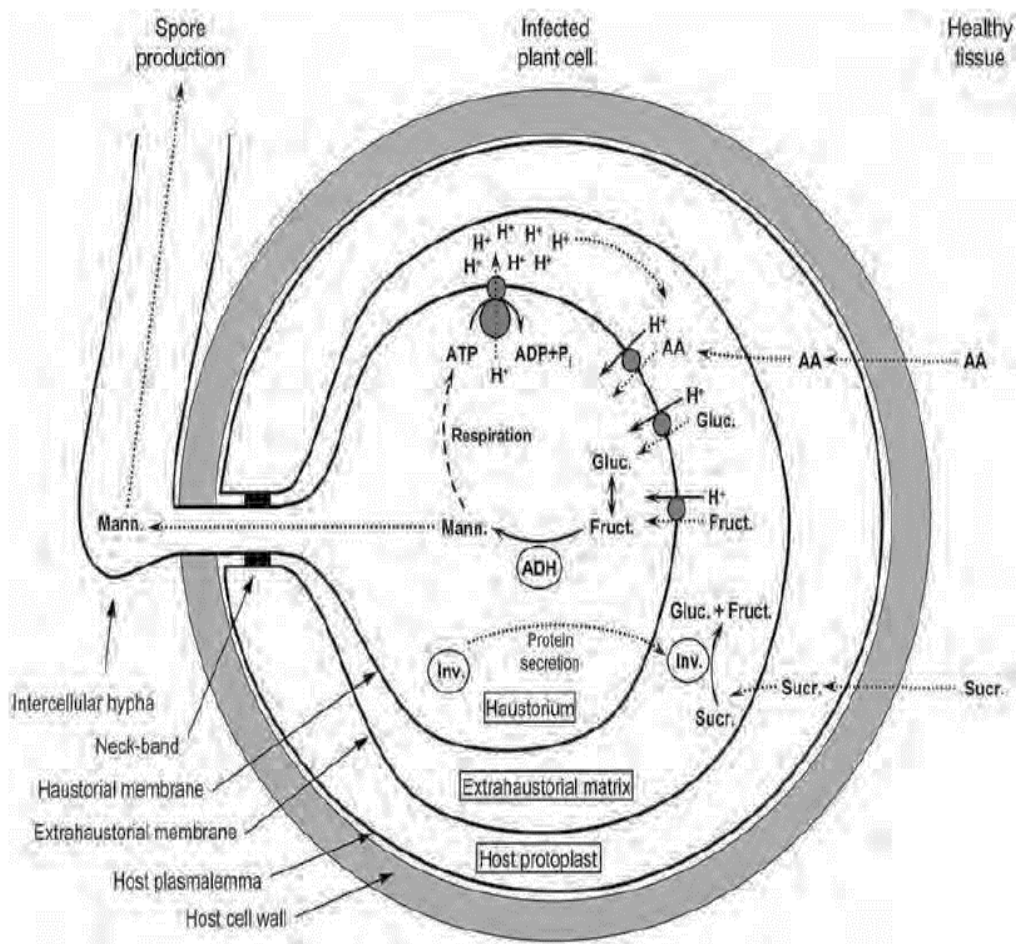


Figura 10. Proceso de absorción de nutrientes de los patógenos biotróficos.

Tomado de Webster y Weber, 2007, p. 617

2.6.1 Mecanismo de defensa de la planta

Las especies vegetales tienen la capacidad de detectar la intervención de patógenos que intentan ingresar a la célula, mediante dos niveles de defensa. El primer nivel es el PTI (*PAMP Triggered Immunity* por sus siglas en inglés) inducido por PAMP (*Pathogen Associated Molecular Patterns* por sus siglas en inglés) que en español significa Patrones Moleculares Asociados a Patógenos se ubica en el espacio extracelular de la planta y representan a las moléculas primordiales de los agentes patógenos como: la flagelina y el factor de elongación para las bacterias y la quitina en el caso de los hongos. Este complejo proteico es detectado por la planta huésped mediante receptores de reconocimiento de patrones transmembrana (PRRS), desencadenando la activación de PTI. Mientras que el segundo nivel está determinado por el ETI (*Effector Triggered Immunity* por sus siglas en inglés) inducido por el reconocimiento de las proteínas efectoras del patógeno. ETI es una propiedad innata producida por el sistema inmune de la planta que está relacionado con la muerte celular programada en el sitio de la infección del huésped (Hurley, Subramaniam, Guttman y Desveaux, 2014, p. 752; Koeck, Hardham y Dodds, 2011, p. 2; Zhang, Murat, Pont, Langin y Salse, 2014, p. 1).

2.6.2 Efectores de los hongos biotróficos

Las sustancias infecciosas de los hongos ingresan a la planta mediante señales de reconocimiento de sus efectores, los mismos que penetran e inhiben el mecanismo de defensa de la planta. Los efectores de los hongos patógenos actúan ya sea por la proliferación de las hifas, como *Magnaporthe oryzae*; por infección del espacio intercelular como *Cladosporium fulvum*; o por estructuras fúngicas como los haustorios en el caso de las royas (*Melampsora lini*) y mildius (*Blumeria graminis*), tal como se observa en la Figura 11 (Koeck, Hardham y Dodds, 2011, pp. 2, 3 y 13).

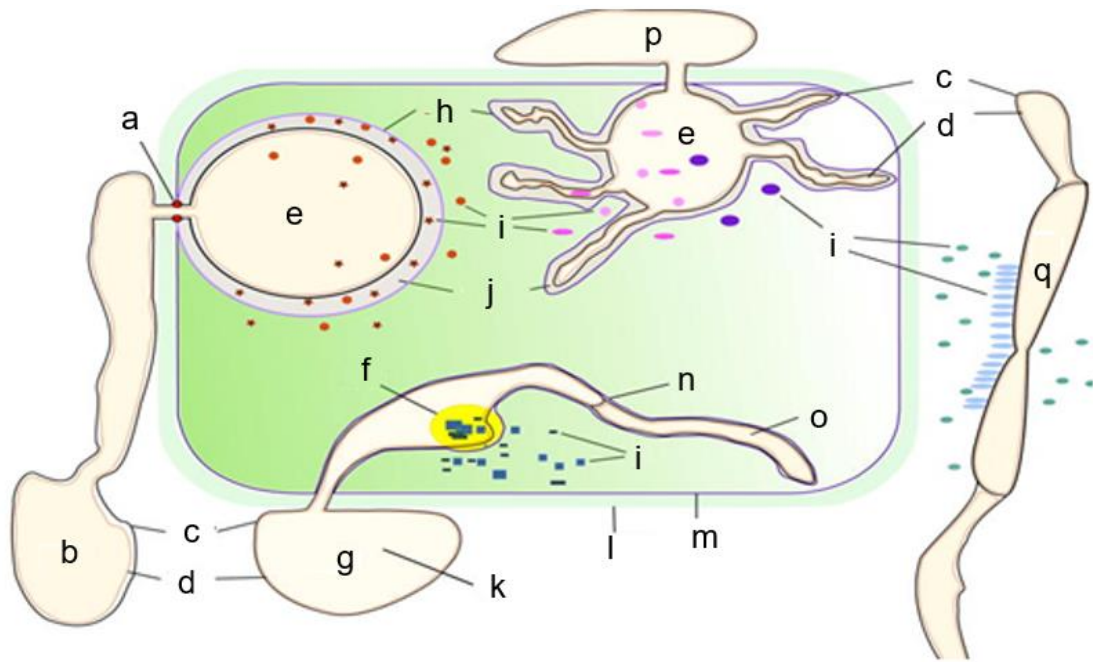


Figura 11. Estrategias de infección de diferentes patógenos en una célula vegetal huésped.

Adaptada de Koeck, Hardham y Dodds, 2011, p 13

- a) Cuello de banda.
- b) *Melampsora lini*
- c) Pared celular fúngica
- d) Membrana plasmática fúngica
- e) Haustorio
- f) Complejo biotrófico invasivo
- g) *Magnaporthe oryzae*
- h) Membrana extrahaustorial
- i) Efectores
- j) Matriz extrahaustorial
- k) Apresorio
- l) Pared celular vegetal
- m) Membrana plasmática vegetal
- n) Membrana de las hifas extra invasivas
- o) Hifas invasivas
- p) *Blumeria graminis*
- q) *Cladosporium fulvum*

Existen un sin número de hongos de especial interés fitopatológico entre los que se incluye a las divisiones taxonómicas de Myxomycota, Basidiomycota, Ascomycota, entre otras (Rivera, 2007, p. 35).

2.7 División Basidiomycota

Esta división está conformada por más de 30 mil especies dentro de las cuales se encuentran a los hongos microscópicos como las royas, tizones, entre otros hongos fitopatógenos (Webster y Weber, 2007, p. 487; Montoya, 2008, p. 173).

Los hongos de esta división se distinguen por tener hifas con dos núcleos separados por septos. Además, su estructura superficial denominada basidio tiene forma de botella, en la que residen las basidiosporas de carácter sexual (Montoya, 2008, p. 173; De Diego Calonge, 2009, p. 17).

Estos hongos se reproducen de forma sexual y asexual. Sexualmente por medio de la unión de la espora negativa con una positiva para formar un micelio. Mientras tanto, la reproducción asexual se manifiesta por artrosporas u oídios (Montoya, 2008, p. 173).

Dentro de esta división se encuentran cuatro tipos de clases como: los Homobasidiomycetes, Heterobasidiomycetes, Ustilaginomycetes y Urediniomycetes o también llamado Pucciniomycetes (Webster y Weber, 2007, p. 512).

2.7.1 Clase Pucciniomycetes

Esta clase de hongos está compuesta por más de 8 mil especies que causan enfermedades en plantas, insectos y hasta otros hongos (Toome y Aime, 2012, p. 1). Por otra parte, los septos tienen un solo poro que puede estar abierto o cerrado. Además, en este grupo de hongos aparecen la cariogamia y la meiosis, permitiendo que exista la fusión sexual de dos núcleos haploides. Estos dos procesos se realizan en el probasidio en el caso de la cariogamia y en el metabasidio para la meiosis (Webster y Weber, 2007, p. 609).

Dentro de esta clase se encuentran en su mayoría las royas pertenecientes al orden Pucciniales (Toome y Aime, 2012, p. 1).

2.7.2 Orden Pucciniales

Los hongos Pucciniales (Uredinales) comúnmente conocido como roya, representa a uno de los grupos de hongos patógenos de plantas conformada por 13 familias como Pucciniaceae, Uropyxidaceae, Coleosporiaceae, Phakopsoraceae, entre otras (Aime, 2011, p. 12). Además cuenta con más de 120 géneros y con alrededor de 6,000 especies. Estos hongos requieren de material vegetal vivo para acabar con su ciclo biológico, por lo que se les da el título de ser parásitos obligados, es decir biótrosos. El alimento lo adquieren de las plantas a través de estructuras especializadas, denominadas haustorios, que son responsables de sofocar e inhibir los estímulos de defensa de la planta huésped (Duplessis *et al.*, 2011, p. 9166).

A la roya se la puede analizar bajo un enfoque perjudicial o beneficioso. Por el lado negativo, estos hongos son los principales causantes de pérdidas económicas de las cosechas en plantas cultivadas. Por el contrario, la roya puede ser utilizada como control biológico para manejar plantas nocivas como las malezas (Céspedes, 2014, p. 2).

2.7.2.1 Ciclo biológico

El ciclo de vida de las royas por lo general se realiza en cinco fases de formación de esporas heteróicas desarrolladas en dos anfitriones no relacionados. A las royas que presentan estas cinco etapas se las denomina royas macrocíclicas (Kolmer, Ordonez y Groth, 2009, pp. 1 y 2).

- Fase I: Comienza con la germinación de teliosporas producidas en el cultivo anterior. Los telios, donde se encuentran las telioesporas se presentan como una pústula de color marrón o negro (Figura 12a).
- Fase II: Las telioesporas diploides realizan meiosis para formar las basidioesporas que se liberan por el aire, las cuales son haploides y heteróicas. Luego estas esporas van en busca de células huésped jóvenes para realizar la infección (Figura 12b).

- Fase III: Una vez que las basidioesporas encuentran su anfitrión, pocos días después se produce la formación de colonias de células haploides conocidas como picnidios o espermogonios. Dentro de cada picnidio se encuentran las pignidiósporas de colores brillantes como el naranja, que son atraídos por los insectos. Los picnidios se aparean por la intervención de insectos o por el rocío para dar lugar a la plasmogamia (Figura 12c).
- Fase IV: La plasmogamia da lugar a la formación del ecio que tiene forma de ampolla o cúpula, el mismo que contiene a las eciosporas. Las eciosporas son de color anaranjado y poseen células dicariótidas que se proliferan en la superficie inferior de la hoja. Luego dichas esporas son liberadas y viajan largas distancias hasta encontrar otro anfitrión (Figura 12d).
- Fase V: La infección de las eciosporas en el tejido vegetal nuevo da como resultado la aparición de nuevas ampollas llamadas uredinios, dentro de la cual se hallan esporas dicariótidas, conocidas como uredinosporas (Figura 12e). Es la única fase capaz de repetir varias infecciones en el mismo anfitrión, sin la necesidad de pasar por otras fases del ciclo. Cuando el patógeno ha empezado a agotar el alimento, las uredinosporas cambian su estructura para convertirse en telioesporas (Figura 12f).

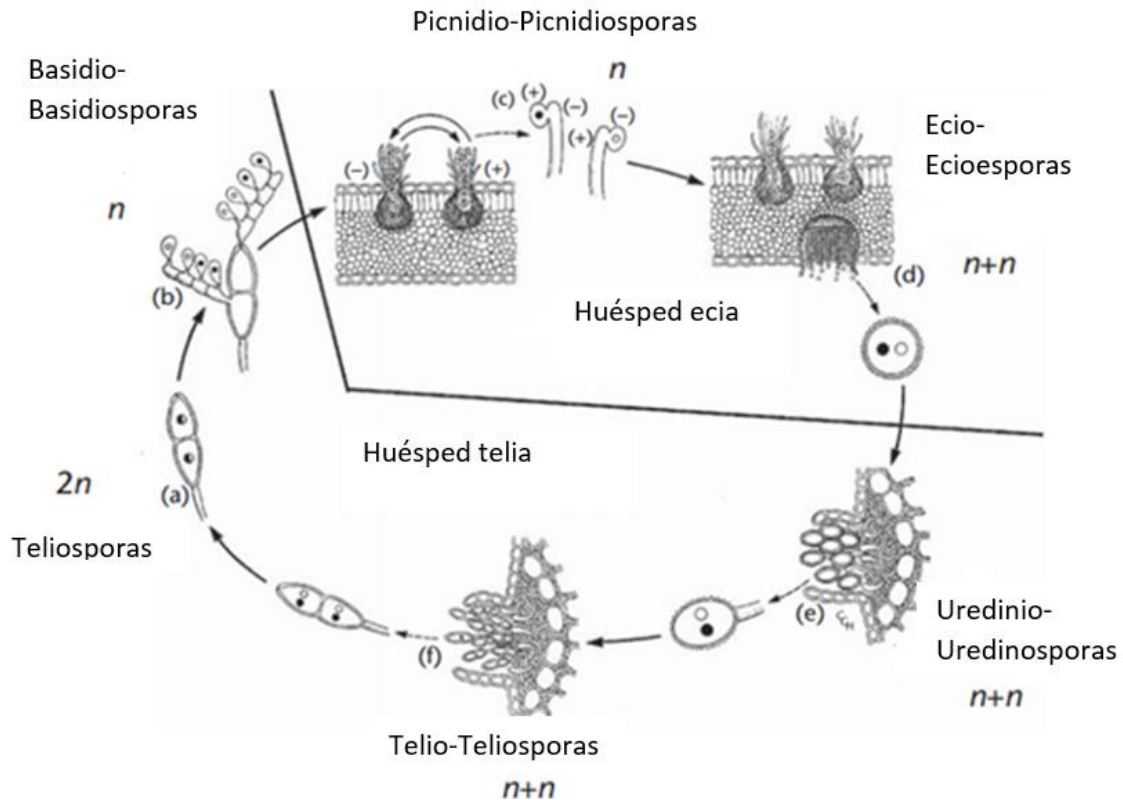


Figura 12. Ciclo de vida de la roya.

Adaptada de Kolmer, Ordonez y Groth, 2009, p. 2

- a) Formación de teliosporas maduras diploides.
- b) Desarrollo de basidiosporas
- c) Fase espermogonial o picnidio.
- d) Ecio con sus ecioesporas.
- e) Uredinio con sus uredinosporas.
- f) Fase telia con sus teliosporas.

Si manifiestan todas las fases de las esporas excepto las uredinosporas se clasifican como demicíclicas. Mientras que si únicamente forman teliosporas y basidiosporas se denominan microcíclicas (Rivera, 2007, p. 59).

2.7.2.2 Mecanismo de infección

Comienza cuando una espora se posa en la lámina foliar. A continuación se desarrolla la germinación del tubo polínico que da lugar a la formación del apresorio. Luego se inicia el proceso de penetración mediante el ingreso de una hifa delgada que se engrosa cuando llega a las células guarda, formando

así la llamada vesícula subestomática. A partir de esta se desembocan las hifas intercelulares, las mismas que forman las células madre haustoriales. Finalmente, estas células madre son las que penetran la célula vegetal dando lugar a la aparición del haustorio propiamente dicho (Webster y Weber, 2007, p. 615). El procedimiento anteriormente descrito se puede observar en la Figura 13.

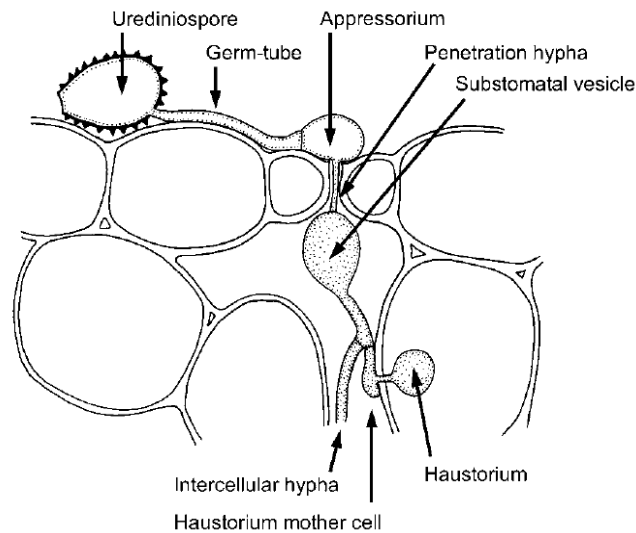


Figura 13. Desarrollo de la infección de la roya en la célula vegetal huésped. Tomada de Webster y Weber, 2007, p. 616.

2.7.3 Familia Phakopsoraceae

Phakopsoraceae está compuesta por al menos 12 a 18 tipos de géneros los cuales forman más de 200 especies, entre las cuales se encuentra el género *Phakopsora* (Beenken, 2014, p. 2) siendo el de mayor número de especies con aproximadamente 110 tipos encontrados en cerca de 30 plantas dicotiledóneas (Beenken, 2014, p. 2).

Ciertas especies de esta familia han causado pérdidas de cultivos de importancia económica como soya, algodón, uva, chirimoya, entre otras (Céspedes, 2014, p. 3). Además, puede ser macrocíclicas, demicíclicas o microcíclicas. En la mayoría de los casos las especies de esta familia pueden

parasitar a un solo huésped, es decir presentan autoismo; pero también pueden infectar a más de un hospedero, siendo heteróicas (Céspedes, Yepes y Pardo-Cardona, 2014, p. 5).

2.7.4 Familia Pucciniaceae

Las teliosporas de esta familia pueden ser uniceluladas como el caso del género *Uromyces*, biceluladas pertenecientes a las royas más conocidas como *Puccinia* o contener más de dos células por teliospora como los *Phragmidium* (Awasthi, 2007, p. 2353)

2.8 División Ascomycota

Compuesto por cerca de 55 órdenes y alrededor de 291 familias (Webster y Weber, 2007p. 247). Este grupo de hongos se caracteriza por presentar estructuras denominadas ascas que albergan entre dos, ocho o más ascosporas hasta que maduren para posteriormente ser liberadas al ambiente. Por este motivo, a estas esporas se las determina de carácter endógeno (De Diego Calonge, 2009, p. 17).

Su reproducción es sexual por la unión de una hifa positiva con otra negativa para formar las ascosporas. Mientras que la reproducción asexual se produce por conidios que son las esporas asexuales (Montoya, 2008, p. 169).

2.8.1 Clase Dothideomycetes

Los Dothideomycetes, anteriormente conocidos como Locukiascomycetes, están catalogados como la clase de Ascomycota con mayor diversidad filogenética y se caracterizan por tener ascas compuestas por dos túnicas o capas, es decir bitunicados, compuestos por ascosporas divididas por septos (Schoch *et al*, 2009, p. 2; López, 2006, p. 6). Dentro de esta clase de ascomicetos se encuentran los órdenes Capnodiales, Dothideales, Hysteriales, por mencionar algunos (López, 2006, p. 7).

2.8.2 Orden Capnodiales

Este orden está conformado por hongos que causan manchas foliares mediante micelios, los mismos que provocan una fuerte pigmentación (López, 2006, p. 82). Está compuesto por familias como Teratosphaeriaceae, Schizothyriaceae y recientemente incorporada Mycospharellaceae (Crous *et al*, 2009, p. 17).

2.8.3 Familia Mycospharellaceae

Se considera como una familia polifilética, es decir que no presentan un ancestro común como el resto de las familias del clado Capnodiales. Morfológicamente los hongos presentes en la familia Mycospharellaceae, en la mayoría de los casos, presentan ascosporas con un solo septo. Sin embargo, existe la evidencia de ascas con tres septos. Además, las ascosporas pueden tener pigmentación o únicamente ser hialinos (Crous *et al*, 2009, p. 17). Dentro de esta familia se encuentran los géneros de *Ramularia* compuesto por alrededor de 500 especies (Quaedvlieg, 2014, p. 8)

En definitiva, los hongos fitopatógenos pueden ser peligrosos para los cultivos pero también pueden resultar benéficos a la hora de controlar plagas o malezas, por lo que se debe estudiar estos microorganismos con miras hacer posibles candidatos en el control biológico.

3. DISEÑO DEL PLAN EXPERIMENTAL

Este trabajo se desarrolló para identificar microorganismos biótrofos en relación a la maleza encontrada en el cultivo de papa (*S. tuberosum* L.). Para ello en campo, se determinaron el porcentaje de incidencia de las malezas y se colectaron muestras al azar de hojas enfermas de kikuyo y lengua de vaca dentro del cultivo. Mientras que en la fase de laboratorio, se analizó la sintomatología y la identificación de los patógenos de dichas malezas a nivel macroscópico y microscópico. Por consiguiente, se clasificaron las muestras por el grado de infección que presentaban, se realizaron cortes histológicos empleando la citohistoquímica y además se hizo raspados a las esporas para poder identificarlas morfológicamente mediante claves dicotómicas. Además se determinó el porcentaje de incidencia e infección de los patógenos de las malezas.

A continuación, se presenta de manera cronológica un diagrama de flujo de los pasos que se realizarán para el cumplimiento de los objetivos (Figura 14).

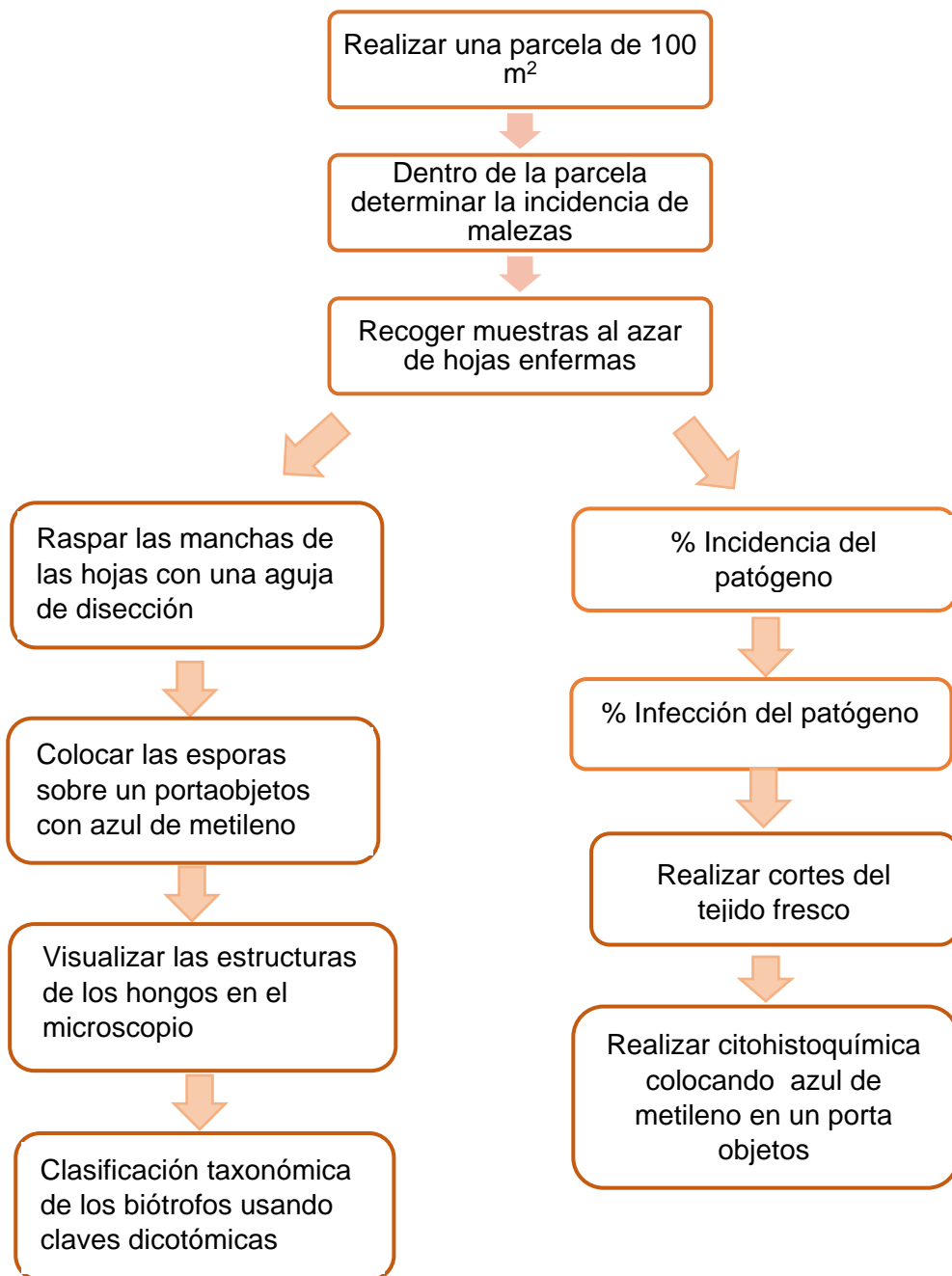


Figura. 14. Diagrama de flujo del diseño del plan experimental

4. PROCEDIMIENTOS

4.1 Población y muestras

Como población se tomó en cuenta las malezas de kikuyo y lengua de vaca del cultivo de papa de la finca San Javier, ubicada en la parroquia de Aloasí perteneciente a la provincia de Pichincha (Figura 15). Se recogieron de las malezas hojas enfermas a través de un muestreo aleatorio simple dentro de una parcela de 100 m². Posteriormente las muestras fueron trasladadas al laboratorio *Plantsphere Laboratories (PSL)* ubicado en el sector de Carcelén, ciudad de Quito.



Figura 15. Delimitación geográfica de la hacienda San Javier, ubicada en la parroquia de Aloasí

4.2 Materiales y métodos para la obtención de datos

En campo se determinó el porcentaje de incidencia de las malezas presentes en el área de estudio mediante un conteo visual. A continuación se procedió a coleccionar hojas tanto de lengua de vaca como de kikuyo cada cinco metros de

distancia haciendo un recorrido en zig zag. En el caso de la lengua de vaca, se recogieron tres hojas al azar por cada estrato de nueve plantas, es decir tres hojas de la parte inferior, tres del estrato medio y tres del superior de la planta (Figura 16a). Para el kikuyo, se reunieron diez hojas por cada punto de muestreo (Figura 16b).

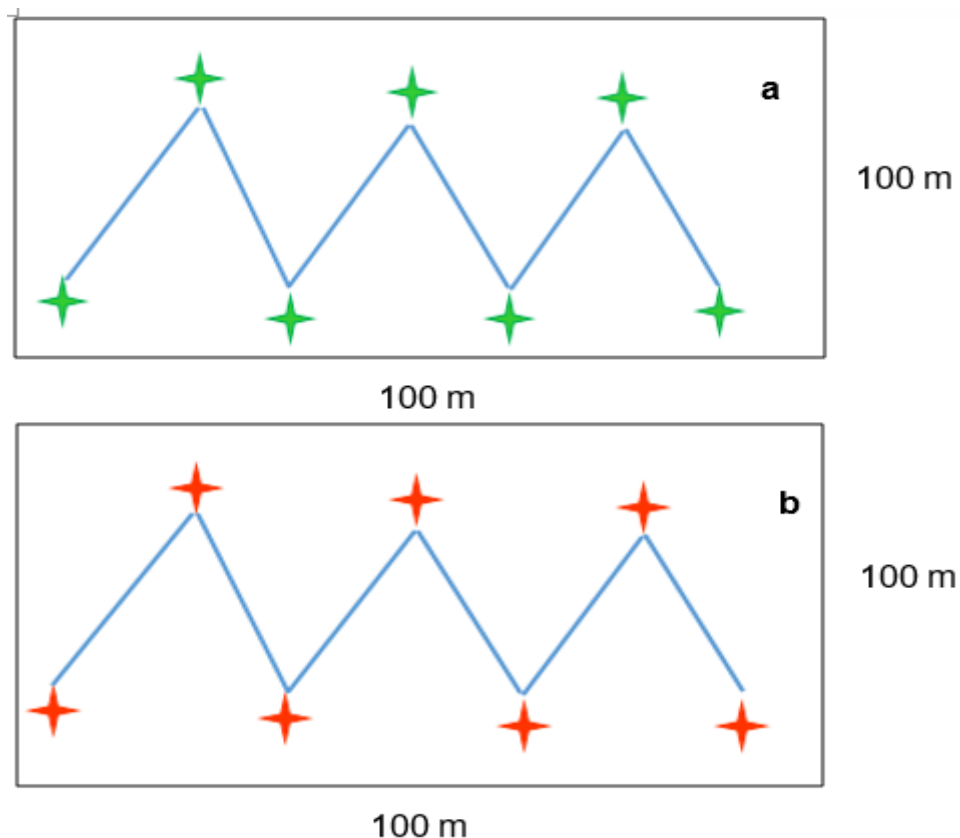


Figura 16. Ilustración gráfica del muestreo.

a) Muestreo realizado para la lengua de vaca.

b) Muestreo realizado para el kikuyo.

En la fase de laboratorio, se examinaron macroscópicamente las pústulas y manchas realizadas por los hongos mediante la observación directa en un estéreomicroscopio. Se realizó también una evaluación microscópica de los hongos. Para ello se hicieron raspados de las esporas presentes en las hojas a través de una aguja de disección. Seguidamente las esporas fueron depositadas en un portaobjetos con y sin lactofenol, las cuales fueron

observadas a campo claro utilizando un microscopio óptico. Posteriormente, se realizó la identificación de hongos mediante las claves dicotómicas.

Para el análisis fitopatológico se determinó el porcentaje de incidencia del patógeno presente en las hojas, así como también el porcentaje de infección mediante un análisis cualitativo.

Además, se cortaron trozos de tejido foliar que luego fueron embebidos en parafina. Una vez transcurrido el tiempo de solidificación de la parafina con el tejido infectado, se procedió a realizar cortes transversales con un bisturí. Seguidamente, los cortes fueron teñidos con lactofenol y colocados en un portaobjetos. A continuación, los cortes fueron observados y registrados fotográficamente mediante un microscopio óptico acoplado a una cámara fotográfica.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Determinación de la incidencia de las malezas en el cultivo

La hacienda San Javier se encuentra ubicada a 2800 msnm, donde se realizan actividades agrícolas y ganaderas. En esta hacienda se determinó la incidencia de las malezas presentes dentro del área de cultivo de papa mediante un análisis visual. Como resultado se obtuvo que kikuyo se encuentra presente en un 50%, la lengua de vaca ocupa un 30% y el 20% restante le corresponde a otro tipo de malezas, tal como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6.

Porcentaje de incidencia de kikuyo y lengua de vaca en el cultivo de papa

Malezas	%Incidencia
Kikuyo	50%
Lengua de vaca	30%
Otras	20%

La diferencia de porcentajes se debe a la capacidad de propagación de las malezas. En el caso del kikuyo la propagación puede realizarse por dos maneras ya sea a través de semillas o por sus rizomas y estolones (siendo la manera más común), lo que le confiere mayor facilidad y vigor para invadir terrenos como una planta rastrera. Además, el kikuyo es una planta C4, característica que le permite adaptarse a diversos rangos de temperatura y pisos altitudinales (CABI, 2015, p. 1). Con respecto a la lengua de vaca, su forma de propagación es por semillas (forma más común de reproducirse) y por propágulos, es decir esquejes (Campesinos, 2005, p. 154). Sin embargo, la lengua de vaca no es una planta rastrera como lo es el kikuyo, característica por la cual este último puede extenderse horizontalmente poblando todo el terreno; mientras que la lengua de vaca crece esporádicamente donde la semilla germinó.

Cabe mencionar que tanto kikuyo como lengua de vaca se encuentran en el piso altitudinal conocido como montano bajo, ya que la zona muestreada se encuentra a 2800 msnm. Por lo tanto, pertenecen a las malezas existentes en climas fríos (Ordeñana, 1992, p. 82). Además, esta zona rural cuenta con la presencia de suelos francos, es decir fértiles, y de origen volcánico (Instituto Espacial Ecuatoriano IEE y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP, 2013, pp. 34 y 35). Estos factores inciden en la propagación y adaptación de estas malezas, las mismas que pueden obstaculizar el crecimiento de la papa ya que al ser un tubérculo necesita de espacio para desarrollarse.

5.2 Identificación de patógenos del kikuyo

Mediante un análisis macroscópico se evaluaron los síntomas de la infección en las hojas de kikuyo. Es así que las hojas presentaron lesiones formadas por ampollas con una ligera elevación (Figura 17E); así como también se observaron lesiones en las que las pústulas rompieron la epidermis de la lámina foliar produciendo la liberación de esporas, las mismas que se caracterizaron por ser de aspecto polvoso, con colores anaranjados y marrones dispuestas a lo largo de la superficie del haz de las hojas, tal como se muestra en la Figura 17U.



Figura 17. Fases esporádicas de la roya de kikuyo observadas con estereomicroscopio a 4x. (E) Ecio y (U) Uredinio

Según Buriticá (1999, p. 277) estos síntomas indican la presencia de infección por roya. La razón por la cual aparecen estas pústulas se debe a la fase de desarrollo de las esporas en las que la roya se encuentra. Tal es el caso de las pústulas en forma de ampollas o cúpulas (Figura 17) que toman dicha forma cuando están en la fase ecio. Mientras que las pústulas rotas (U) (Figura 17) se debe a la presencia de uredinios con sus respectivas uredinosporas internas (Kolmer, Ordonez y Groth, 2009, p. 2).

La presencia de la roya está determinada por las condiciones ambientales propicias a las cuales la planta está expuesta como: bajo contenido de agua, cambios de temperatura ambiental y la aparición del rocío son los principales elementos que permiten el despliegue de la infección (Spangenberg, 2016, p. 1).

Además, se realizó un análisis microscópico del tejido foliar enfermo que determinó la presencia de roya en kikuyo, donde las uredinosporas observadas fueron de color amarillo, forma ovoide y con varias ornamentaciones, es decir espinas en la superficie de las esporas; lo que se puede visualizar en las Figuras 18 a, b y d. Además, se visualizaron teliosporas uniceluladas, con ausencia de septos y dispuestas en capas unas sobre otras dentro del telio (Figura 18c). Mientras que las estructuras de la paráfasis fueron vistas en forma de bastón, como se muestra en la Figura 18f.

La determinación morfológica del telio y las teliosporas son las que permiten identificar a las royas y determinar su clasificación taxonómica dentro de los hongos Pucciniales (Zuluaga, Buriticá y Marín, 2011, p. 518). Por consiguiente, el presente trabajo de investigación reveló que las características morfológicas observadas en las muestras de kikuyo coinciden con las claves dicotómicas descritas por Cummins y Hyratsuka (1984) y Buriticá (1999), con las que se pudo identificar que la roya del kikuyo probablemente pertenece al género *Phakopsora*, perteneciente a la familia Phakopsoraceae y al orden Pucciniales (Tabla 7).

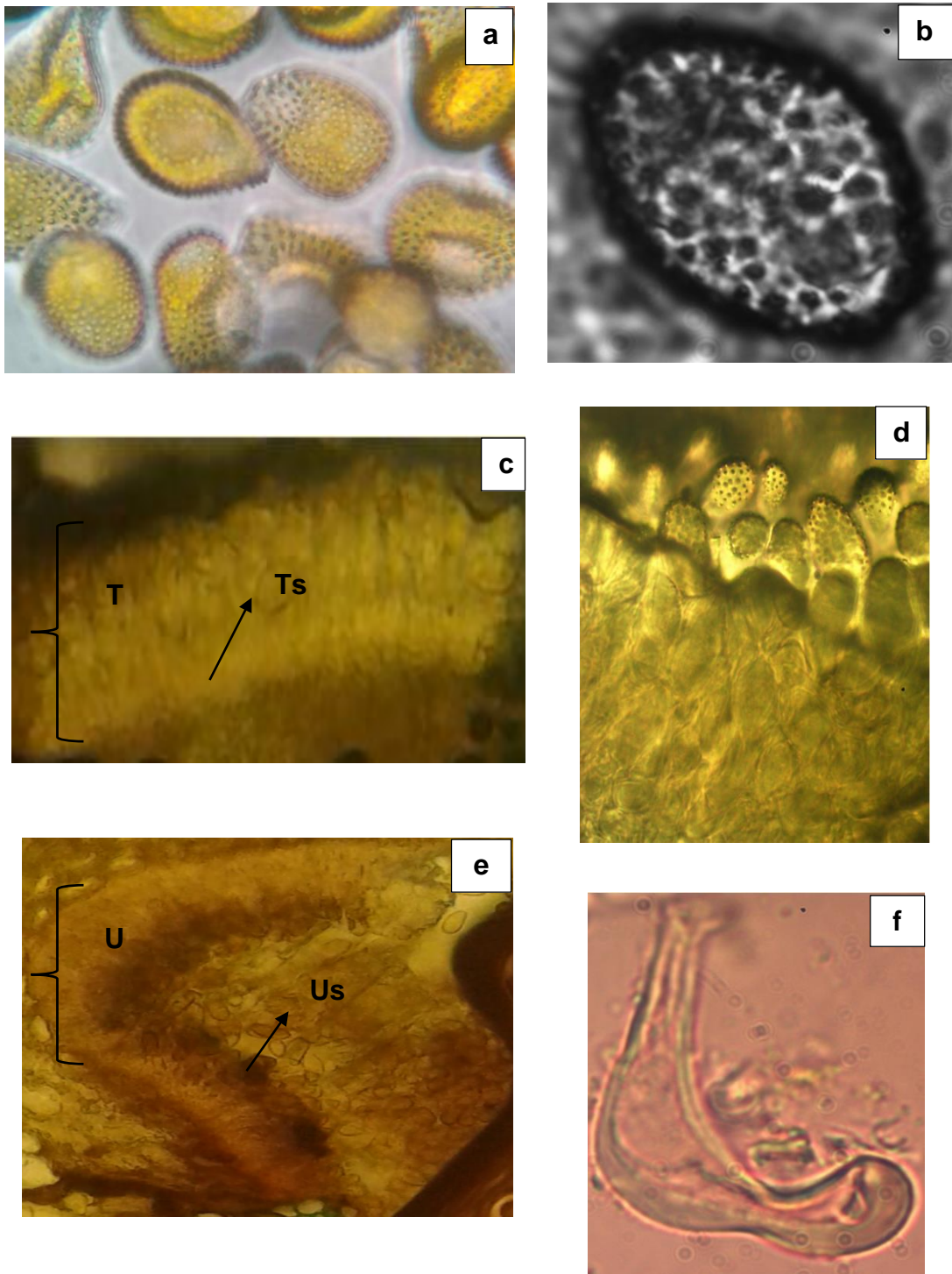


Figura 18. Estructuras morfológicas de *Phakopsora* sp.

a y b) Uredinosporas observadas a 40X y 100X.

c y d) Telio (T) con sus teliosporas (Ts) observado a 10X y 40X.

e) Uredinio (U) con sus uredinosporas (Us) vistos en 10X.

f) Paráfrasis visto a 100X.

Tabla 7.

Descripción taxonómica de Phakopsora sp.

<i>Reino</i>	Fungi
<i>Filo</i>	Basidiomycota
<i>Clase</i>	Pucciniomycetes
<i>Orden</i>	Pucciniales
<i>Familia</i>	Phakopsoraceae
<i>Género</i>	<i>Phakospora</i>

Tomado de CABI, 2008, p. 1

Estudios realizados por Adendorff y Rijkenberg en el año 2000, han demostrado que una especie del género *Phakopsora apoda*, está presente en hojas de kikuyo, siendo un enemigo natural de esta maleza. Por tanto, *Phakopsora sp.* al pertenecer al orden Pucciniales está considerado como un hongo parásito con un rango de especies de plantas hospedadas. Esto se debe a la memoria genética del hongo obtenida desde su ancestro común, permitiendo que estas características genéticas se conserven a lo largo del tiempo (Céspedes, 2014, p. 3).

Además, la evolución tanto de la morfología como del ciclo biológico de las royas están estrechamente asociadas con la evolución de las plantas hospedadas, por lo que no existiría peligro en que este hongo pueda afectar al cultivo de interés (Salazar, Buriticá y Cadena, 2002, p. 237). Sin embargo, hacen falta más estudios para comprobarlo. A pesar de ello, se han empleado individuos de este género de roya como agentes biocontroladores de malezas y especies nocivas en plantaciones de café, así como también otro tipo de royas capaces de controlar la coca (Céspedes, 2014, p. 3).

5.3 Determinación del análisis patológico de *Phakopsora sp.* en kikuyo

Para el análisis fitopatológico se determinó que el porcentaje de incidencia de *Phakopsora sp.* presente en las hojas de kikuyo fue de 51% y el porcentaje de

infección que fue de 63% (Figura 19). Además de estos resultados, también se analizó los cortes transversales de las hojas de kikuyo sano (Figura 19b) y enfermo (Figura 19c). De esta manera, se pudo visualizar el daño causado por el hongo dentro del tejido a diferencia del control.

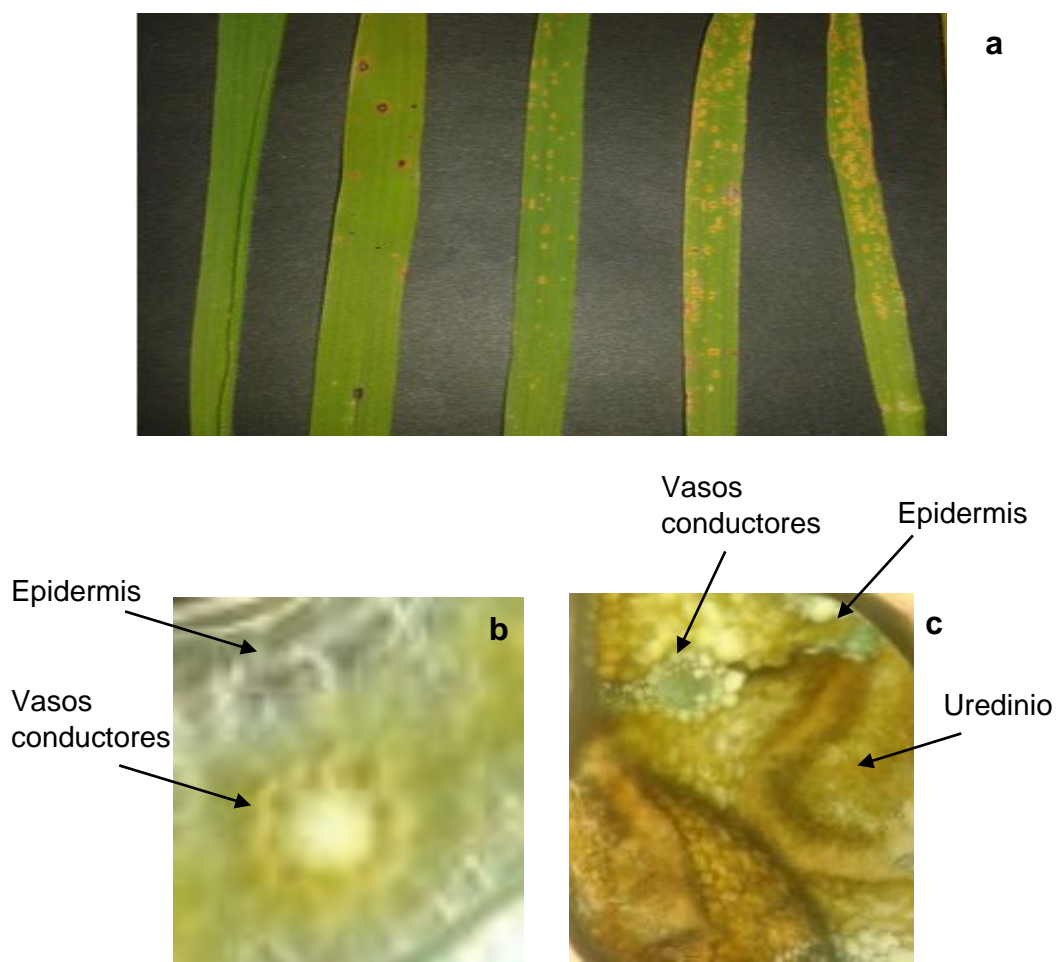


Figura 19. Sintomatología progresiva de la infección de roya en hojas de kikuyo.

- a) Manchas de roya en la lámina foliar.
- b) Corte transversal de la hoja sana.
- c) Corte transversal de la hoja enferma

De acuerdo a los resultados se puede decir que más de la mitad de las muestras evaluadas tienden a ser vulnerables a la presencia del patógeno. Por tal motivo, la presencia de la infección se debe a las características que tienen

las royas, como las del género *Phakopsora*, de ser macrocíclicas y a las condiciones ambientales para producir abundantes uredinosporas (que son las principales causantes de la infección) cada 15 días después de la germinación, comenzando así con un nuevo ciclo de infección (Lavilla, 2013, p. 6).

Por otro lado, según Adendorff y Rijkenberg (2000, p. 317) el daño foliar es causado por estructuras fúngicas como los apresorios, que en el caso de este género de roya, infectan la superficie de las hojas directamente por la cutícula (Figura 19c), a diferencia de otras royas que lo realizan indirectamente a través de los estomas. El modo de infección lo realizan mediante una espiga de penetración que llega hasta la pared celular de la epidermis, extendiéndose hasta el mesófilo donde se derivan ramificaciones para formar el haustorio. Estos mecanismos también lo realiza *Phakopsora pachyrhizi*, la roya de la soya (*Glycine max*) (Goellner *et al*, 2010, p. 171).

A esto se debe agregar la capacidad de adhesión de las uredinosporas en la superficie de las plantas huésped mediante sustancias mucilaginosas, originadas de las esporas germinantes que se acumulan en los apresorios y que según Adendorff (1999, p. 14) la cantidad de matriz extracelular producida dependerá de la necesidad del apresorio para anclarse al sustrato. Sin embargo, no se han realizado estudios más específicos de los mecanismos de adhesión de las esporas a la planta huésped.

A su vez, los síntomas presentes en las hojas de kikuyo son producidos dado que los haustorios secretan proteínas efectoras, las mismas que cambian el proceso de defensa de la planta sin que sean reconocidas por las proteínas citosólicas, produciendo las manchas en el tejido foliar (Koeck, Hardham y Dodds, 2011, p. 7). Es así que estas estructuras fúngicas realizan una lisis celular, permitiendo que se desarrolle el patógeno dentro de la planta huésped y provocando la disminución del área foliar fotosintética (Mussury, Betoni, Silva y Scalón, 2012, p. 20), como se muestra en la Figura 19a.

No obstante, el porcentaje de infección depende de las barreras físicas como por ejemplo, la presencia de tricomas y tejidos lignificados. En el caso del kikuyo, las vellosidades se encuentran presentes en toda la superficie de la

hoja, por lo que impide que el patógeno ingrese fácilmente a la planta. De acuerdo con Mussury, Betoni, Silva y Scalón (2012, p. 23) la presencia y densidad de las vellosidades de las hojas determinan la resistencia de la planta a la infección de los hongos patógenos.

Hay que mencionar también que las plantas segregan moléculas de señalización para impedir el ingreso de patógenos como es el caso del ácido salicílico (SA), especializado para reprimir la infección contra agentes biotróficos. Sin embargo, la inhibición de este ácido producido por la segregación de proteínas DELLAs en la planta produce sensibilidad a la planta para ser vulnerable al ataque por organismos biótrosos (Navarro *et al*, 2008, p. 651). Por tanto, se deduce que en las hojas de kikuyo el SA estaba reprimido y no se emitió como una molécula de señalización contra *Phakopsora* sp.

Todas estas deducciones apoyadas con la literatura científica respaldan el análisis fitopatológico obtenido en este estudio.

5.4 Identificación de patógenos de la lengua de vaca

A través de un análisis macroscópico se examinaron las hojas de lengua de vaca (Figura 20), las mismas que presentaron manchas cloróticas (casi imperceptibles), con esporas de color amarillo y de aspecto polvoso ubicadas en el haz de la lámina foliar (Figura 21a). A nivel microscópico, estas esporas (uredinosporas) son redondas con ausencia de espículas en su superficie (Figura 21b). De igual manera se observaron teliosporas de color marrón con forma ovoide y sin ornamentaciones en su superficie (Figura 21c).



Figura 20. Enfermedad fúngica en hojas de *R. crispus*

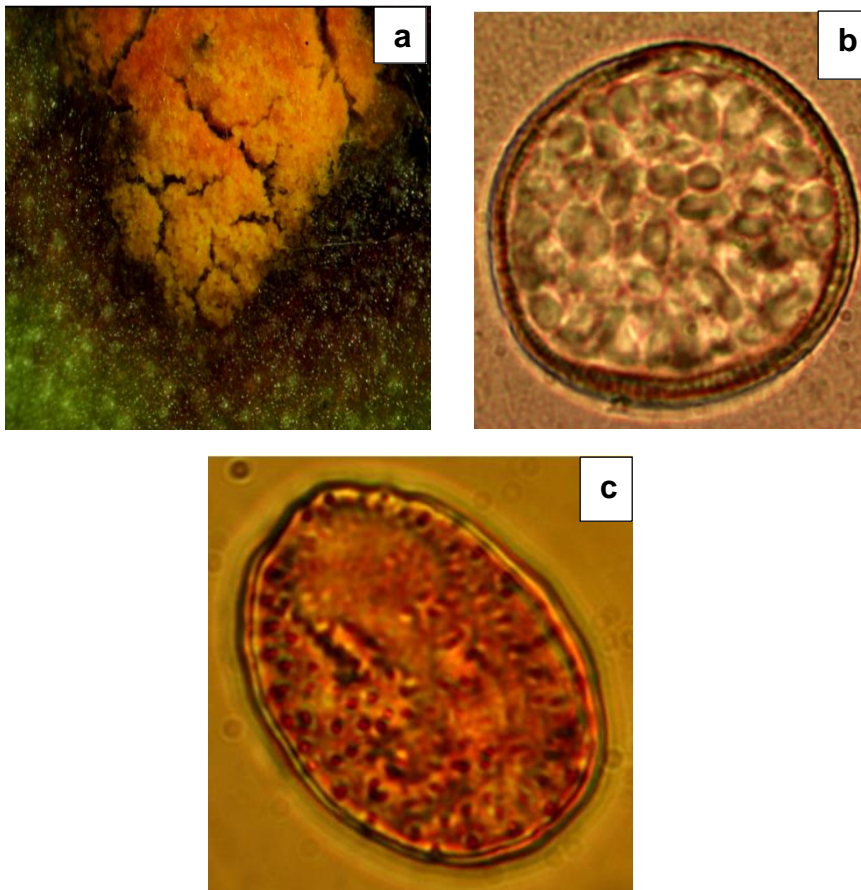


Figura 21. Observación macroscópica y microscópica de *Uromyces* sp.

- a) Hoja con presencia de manchas amarillas.
- b) Uredinospora a 100X.
- c) Teliospora a 100X.

De acuerdo con Ares (2015, p. 58) esta sintomatología observada en este estudio es propia de las infecciones causadas por las royas, donde los uredinios rompen la epidermis de la hoja para segregar las urediniosporas que posteriormente serán las causantes de nuevas infecciones. Sin embargo, no hubo presencia de lesiones rojas alrededor de las pústulas de roya como lo describe la literatura, ya que estos rasgos se presentan en plantas con resistencia a patógenos (Inman, 1970, p. 237).

Es así, que mediante los síntomas presentes en las hojas y las características macroscópicas y microscópicas evaluadas, se puede decir que la roya que afecta a las hojas de lengua de vaca posiblemente pertenece al género *Uromyces* sp. y a la familia de las royas Pucciniaceae, tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.

Descripción taxonómica de Uromyces sp.

<i>Reino</i>	Fungi
<i>Filo</i>	Basidiomycota
<i>Clase</i>	Pucciniomycetes
<i>Orden</i>	Pucciniales
<i>Familia</i>	Pucciniaceae
<i>Género</i>	<i>Uromyces</i>

Tomada de CABI, 2008, p. 1

Con estos resultados obtenidos y mediante otras investigaciones se establece que las hojas de lengua de vaca son propensas a ser afectadas por royas como el caso de *Uromyces rumicis*, el cual se encuentra distribuido en Europa, parte del continente Africano, Japón, Estados Unidos y ahora también en Ecuador (Bond, Davies y Turner, 2007, p. 9; Inman, 1970, p. 236).

Conjuntamente con estudios y aplicaciones realizadas en Australia y el Reino Unido, se ha demostrado que la roya *Uromyces rumicis* puede ser un candidato para el control biológico en especies de *Rumex* spp. en la que se incluye a la lengua de vaca; por lo que en Estados Unidos. este tipo de control en esta

maleza es de gran interés para la agricultura (Julien, McFadyen y Cullen, 2012, p. 249; Bond, Davies y Turner, 2007, p. 9). Sin embargo, hacen falta más pruebas para demostrarlo.

Por otro lado, también se observaron otro tipo de manchas correspondiente al hongo *Ramularia*, las cuales son circulares y de color café dispuestas en la lámina foliar de la lengua de vaca (Figura 22a) con halos de color vino o rojizo a su alrededor, tal como se muestra en la Figura 22a (Ha). A nivel microscópico estas manchas corresponden a conidios unicelulares, con membranas delgadas y ovaladas que se estrechan a medida que llega a la base de la hifa, como se observa en la Figura 22 b y c. Mientras que los conidióforos no mostraron septos y están dispuestos a manera de abanico (Figura 22d). Estos rasgos morfológicos coinciden con las descripciones realizadas por Wilson en 1986.

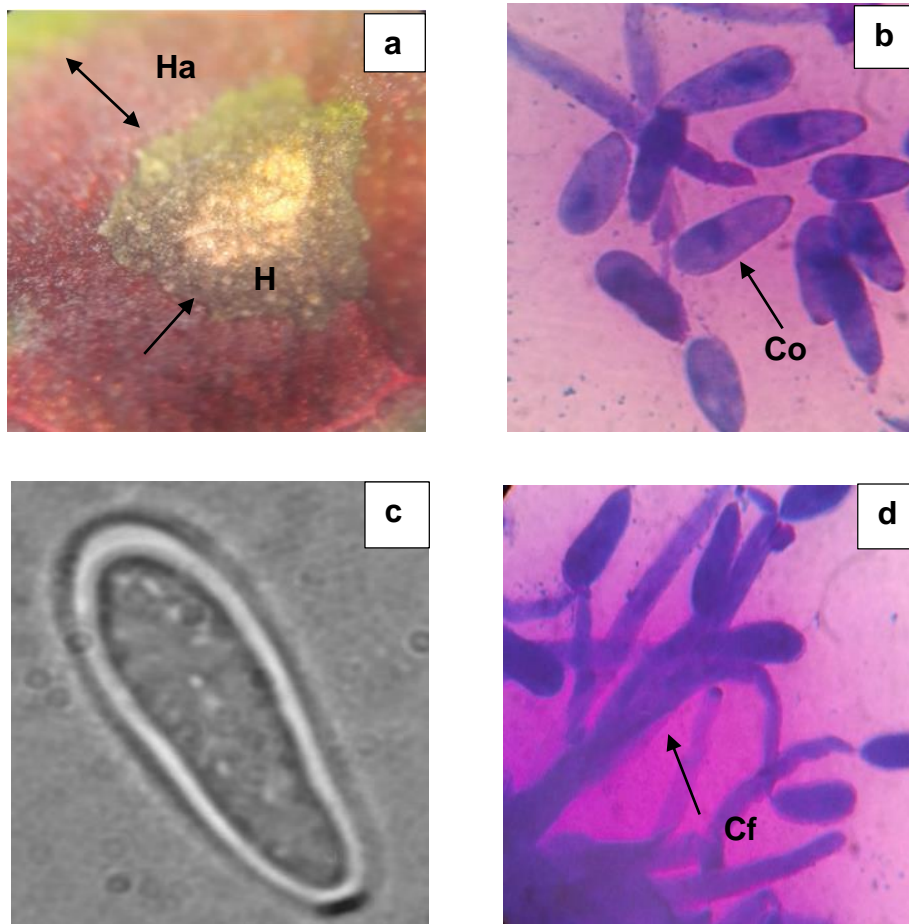


Figura 22. Observación macroscópica y microscopía óptica de *Ramularia* sp.

- a) Hojas infectadas por el hongo *Ramularia* sp. (H), con presencia de halos de color rojizo (Ha).
 b y c) Morfología de los conidios (Co).
 d) Morfología de los Conidióforo (Cf).

Acorde con lo mencionado por Silva, Tavares y Brasseur (1997, p. 377) las manchas cafés son producto de la necrosis producido por la madurez del hongo; mientras que los halos de color rojizo son causadas por las toxinas segregadas por el hongo debido a la degradación del tejido foliar (Delgado Cerezo, 2012, p. 3).

Por tanto, a través de la manifestación de síntomas en las hojas y las características morfológicas del hongo, se pudo determinar e identificar que

estas infecciones pueden ser causadas por *Ramularia* sp. perteneciente al filo Ascomycota, tal como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.

Descripción taxonómica de Ramularia sp.

<i>Reino</i>	Fungi
<i>Filo</i>	Ascomycota
<i>Clase</i>	Dothideomycete
<i>Orden</i>	Capnodiales
<i>Familia</i>	Mycosphaerellaceae
<i>Género</i>	<i>Ramularia</i>

Tomada de CABI, 2008, p. 1

De acuerdo con la literatura, *Ramularia rubella* infecta a las malezas de los géneros y subgéneros de *Rumex* spp (Silva, Tavares y Brasseur, 1997, p. 379). Para Huber-Meinicke, Defago y Sedlar (1989, p. 81) la especie *Ramularia rubella* está considerado como un potencial candidato para ser utilizado como un microherbicida especialmente para *R. crispus* y *R. obtusifolius*, ya que las infecciones producidas por este hongo causan manchas necrosadas altamente agresivas en comparación con otras especies.

Sin embargo, investigaciones realizadas se ha determinado que la asociación con otros agentes biológicos como las royas (*Uromyces* sp.), así como las condiciones ambientales pueden ser factores necesarios para elevar la respuesta del control biológico (Huber-Meinicke, Defago y Sedlar, 1989, p. 81).

5.5 Determinación del análisis patológico de *Uromyces* sp. y *Ramularia* sp. en lengua de vaca

Como resultado se obtuvo que las hojas de lengua de vaca presenta un 73% de incidencia de *Ramularia* y *Uromyces*. Así también se determinó el porcentaje de infección por *Ramularia* sp. que fue del 90%. Estudios realizados

en Suiza comprueban que la infección producida por *Ramularia rubella* superan el 50% del área foliar fotosintética de *Rumex* sp., por lo que el porcentaje obtenido en este trabajo de investigación está dentro del rango de infección propuesto por Huber-Meinicke, Defago y Sedlar (1989, p. 85). La infección por *Uromyces* sp. alcanzó un porcentaje del 10%. Este porcentaje se debe a que en el campo la presencia de manchas cloróticas, producidas por esta roya, no son observadas con frecuencia, a menos que sean reproducidas bajo condiciones de invernadero (Inman, 1970, p. 237; Hatcher *et al*, 2008, p. 473).

Por otro lado, también se observó que las hojas de lengua de vaca más afectadas por la infección fueron las que se encuentran en el estrato inferior de la planta, es decir las hojas viejas (Figura 23) ya que el microorganismo tiene mayor área foliar para dispersarse. Sin embargo, las hojas jóvenes y adultas también presentaron la infección que puede ser causada por el azar, o porque las hojas del estrato inferior están en contacto con las del estrato medio y estas a su vez con las hojas superiores de la planta. Así mismo, la diseminación de las esporas o conidios son producidos por vectores bióticos y abióticos como el viento, agua, animales y hasta el hombre (Formento, 2010, pp. 1, 10 y 11).

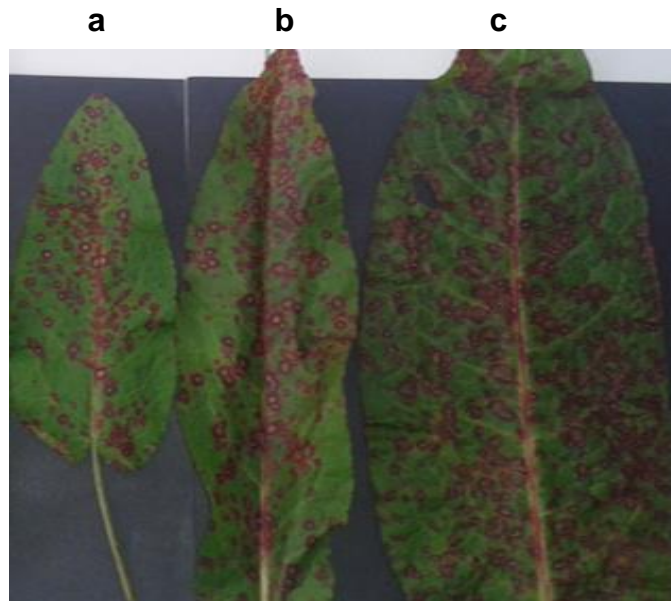


Figura 23. Infección de *Ramularia* sp. en hojas de lengua de vaca.

- a) Hojas jóvenes.
- b) Hojas adultas.
- c) Hojas viejas.

Además, cabe destacar que la infección producida con mayor severidad fue generada por *Ramularia* sp., debido a que es un hongo necrótrofo que mata las células vegetales para nutrirse y poder cumplir con su ciclo de vida (Delgado Cerezo, 2012, p. 3), factor por el cual sus manchas de aproximadamente 1 cm, tienden a dañar agresivamente al tejido foliar de lengua de vaca. Por el contrario, *Uromyces* sp. al ser una roya está definida como un hongo biotrófico que vive exclusivamente de materia vegetal viva, por lo que no necesitan degradar por completo el tejido vegetal para sobrevivir (Koeck, Hardham y Dodds, 2011, p 2).

Otro detalle importante que hay que aclarar es que las plantas de lengua de vaca enfermas se encontraban en fase reproductiva. Este factor fenológico permite determinar el grado de susceptibilidad de las plantas por los patógenos a nivel molecular, debido a la degradación de las proteínas DELLAs, las mismas que aportan en las señales de defensa de la planta contra

microorganismos patógenos. La poliubiquitinación de las proteínas DELLAs es causada cuando la fitohormona de crecimiento giberelina (GA) (liberada por las semillas y que inducen a la formación de flores y frutos) se acopla a receptores proteicos. Cuando ocurre este proceso las plantas tienden a ser susceptibles a la infección por agentes patógenos necrótrofos y resistentes a hongos biotróficos (Navarro *et al*, 2008, pp. 650 y 651). Por tal motivo, la infección producida por *Ramularia* sp. fue más evidente en relación a las lesiones producidas por la roya *Uromyces* sp.

Además, otro factor que pudo haber influido en la proliferación del patógeno como lo indica Mussury, Betoni, Silva y Scalon (2012, p. 23) es la baja densidad de vellosidades en la superficie de la hoja, como es el caso de la lengua de vaca. Debido a que las vellosidades actúan como una barrera de protección contra patógenos, así como también la cutícula que evitan la pérdida de agua y la invasión de agentes infecciosos (Gudesblat, 2007, p. 72).

Todas estas observaciones anteriormente mencionadas se relacionan con el análisis fitopatológico determinado en las hojas de lengua de vaca.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En el cultivo de papa las malezas con mayor presencia son el kikuyo y la lengua de vaca, siendo la predominante el kikuyo representando el 50% del total y la lengua de vaca con un 30%.

La morfología de las uredin esporas y teliosporas permite identificar que la roya del kikuyo pertenece al género *Phakopsora*.

Las manchas presentes en la lengua de vaca son producidas por la infección de hongos fitopatógenos del género *Uromyces* y *Ramularia* que presentan distintos porcentajes de incidencia de 10% y 90%, respectivamente.

El hongo patógeno que infecta las hojas de kikuyo pertenece a los hongos biótrofos, mientras que las hojas de lengua de vaca son atacadas por hongos biótrofos como también necrótrofos.

Tanto el porcentaje de infección de los hongos patógenos de kikuyo y lengua de vaca superan el 50%, lo que indica que pueden ser posibles candidatos aptos para realizar un control biológico para estas malezas.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios moleculares a nivel de especie para corroborar el agente causal de estas enfermedades presentes en kikuyo y lengua de vaca.

También se recomienda realizar pruebas de asociación de necrótrofos cuando hay presencia de biótrofos.

Se sugiere realizar un ensayo donde se reproduzcan las esporas de *Uromyces* sp. en condiciones de laboratorio para detallar más información sobre su infección.

REFERENCIAS

- Adendorff, R. (1999). *Infection of kikuyu grass (Pennisetum clandestinum) by the rust fungus Phakopsora apoda* (Doctoral dissertation, University of Natal, Pietermaritzburg). Recuperado el 06 de Noviembre de 2016 de <http://hdl.handle.net/10413/11731>
- Adendorff, R., y Rijkenberg, F. H. J. (2000). Scanning electron microscopy of direct host leaf penetration by urediospore-derived infection structures of *Phakopsora apoda*. *Mycological research*, 104(03), 317-324. Recuperado el 06 de Noviembre de 2016 de <http://dx.doi.org/10.1017/s0953756299001203>
- Aime, M. (2011). *Overview of rust fungi*. Recuperado el 08 de Noviembre de 2016 de <http://www.plantmanagementnetwork.org/proceedings/FCRS/2011/Presentations/Aime.pdf>
- Aktar, M. W., Sengupta, D., y Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12. Recuperado el 07 de Mayo de 2016 de <http://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Alexandratos, N. (1995). *Agricultura mundial hacia el año 2010: estudio de la FAO*. Madrid, España: Food & Agriculture Org.
- Antony, C. (2009). *INIAP: 50 años aportando al país* (No. 631.3/IN56). INIAP.
- Ares, J. (2015). *Plantas leñosas ornamentales: control de enfermedades producidas por hongos y cromistas*. Madrid, España: Mundi Prensa.
- Ash, G. J. (2010). The science, art and business of successful bioherbicides. *Biological Control*, 52(3), 230-240. Recuperado el 13 de Mayo de 2016 <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.08.007>
- Auld, B. A., y Morin, L. (1995). Constraints in the development of

- bioherbicidas. *Weed Technology*, 9(3), 638-652. Recuperado el 16 de Octubre de 2016 de <http://www.jstor.org/stable/3987684>
- Awasthi, D. (2007). *Diversity of microbes, fungi & lichens*. Meerut, India: Krishna Prakashan Media
- Beeken, L. (2014). Pucciniales on Annona (Annonaceae) with special focus on the genus *Phakopsora*. *Mycological progress*, 13(3), 791-809. <http://dx.doi.org/10.1007/s11557-014-0963-5>
- Bond, W., Davies, G., y Turner, R. J. (2007). The biology and non-chemical control of broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius* L.) and curled dock (*R. crispus* L.). *Henry Doubleday Research Association, Coventry*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016 de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6UpeFBSV6pcJ:ibrarian.net/navon/paper/The_biology_and_non_chemical_control_of_broad_lea.pdf%3Fpaperid%3D16202335+&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=ec
- Bravo, G. (2016). *Promueven el control biológico de malezas*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2016 de <http://www.laprensa.com.ni/2002/07/02/economia/878869-promueven-el-control-biologico-de-malezas>
- Bruckart, W. (2016). *Biological control*. Recuperado el 16 de Mayo de 2016 de <http://wssa.net/wssa/weed/biological-control/>
- Buriticá, P. (1999). La familia Phakopsoraceae en el neotrópico III, géneros: *Batistopsora* y *Phakopsora*. *Rev Acad Colomb Cienc*, 23(87), 271-305.
- Buscagro. (2000). *Guía fotográfica de las principales plagas y enfermedades del cultivo de papa en Ecuador*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2016 de http://www.buscagro.com/detalles/Maices-y-papas-nativas-de-la-precordillera-de-la-Region-de-A..._73064.html
- CABI. (2008). *Phakopsora apoda*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016 de <http://www.cabi.org/isc/datasheet/39975>

- CABI. (2008). *Ramularia rubella*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2016 de <http://www.cabi.org/isc/datasheet/46757>
- CABI. (2008). *Uromyces rumicis*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2016 de <http://www.cabi.org/isc/datasheet/55860>
- CABI. (2015). *Pennisetum clandestinum (kikuyu grass)*. Recuperado el 24 de Octubre de 2016 de <http://www.cabi.org/isc/datasheet/39765>
- CABI. (2015). *Rumex crispus (curled dock)*. Recuperado el 26 de Octubre de 2016 de <http://www.cabi.org/isc/datasheet/48059>
- Campeños, H. J. (2005). *El Milagro de las plantas: aplicaciones medicinales y orofaríngeas*. Recuperado el 28 de Octubre de 2016 de https://books.google.com.ec/books?id=ss3tcgKqh_UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Cenicana. (2010). *Aplicación de herbicidas para el control de malezas*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2016 de <http://bibliotecadigital.cenicana.org:8080/browse?type=subject&order=ASC&rpp=20&value=control+de+malezas>
- Céspedes, P. (2014). Familia Phakopsoraceae (Fungi: Uredinales) generalidades y afinidades. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 52(1), 467-505
- Céspedes, P. B., Yepes, M. S., y Pardo-Cardona, V. M. (2014). Pucciniales (Fungi), Royas de Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 67(1), 1-93.
- Coordinación General del Sistema de Información Nacional. (2014). *Boletín situacional papa*. Recuperado el 11 de Octubre de 2016 de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/kboletin-situacional-de-papa-2014-actualizado.pdf>
- Cortés, G. (1994). *Atlas agropecuario de Costa Rica*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2016 de

https://books.google.es/books?id=AWQqijADFrIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Crous, P. W., Schoch, C. L., Hyde, K. D., Wood, A. R., Gueidan, C., de Hoog, G. S., y Groenewald, J. Z. (2009). Phylogenetic lineages in the *Capnodiales*. *Studies in Mycology*, 64, 17–47–S7. Recuperado el 13 de Octubre de 2016 de <http://doi.org/10.3114/sim.2009.64.02>

Cummins, G. B, y Hyratsuka Y. (1984). *Families of uredinales*. Japón

De Diego Calonge, F. (2009). *Guía de bolsillo para el buscador de setas*. Madrid, España: Mundi Prensa

Delgado Cerezo, M. M. (2012). *Identificación y caracterización de la ruta mediada por la proteína G heterotrimérica de Arabidopsis thaliana en la respuesta inmune* (Doctoral dissertation, Agronomos). Recuperado el 01 de Diciembre de 2016 de http://oa.upm.es/13553/1/MARIA_MAGDALENA_DELGADO_CEREZO_1.pdf

Díaz, G. (2010). *Plantas tóxicas de importancia en salud y producción animal en Colombia*. Bogotá, Colombia: Univ. Nacional de Colombia.

Doll, J. (2012). *Capítulo 3. Dinámica y complejidad de la competencia de malezas*. Recuperado el 13 de Octubre de 2016 de <http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s07.htm>

Duplessis, S., Cuomo, C., Lin, Y., Aerts, A., Tisserant, E., Veneault-Fourrey, C., Joly, D., Hacquard, S., Amselem, J., Cantarel, B., Chiu, R., Coutinho, P., Feau, N., Field, M., Frey, P., Gelhaye, E., Goldberg, J., Grabherr, M., Kodira, C., Kohler, A., Kues, U., Lindquist, E., Lucas, S., Mago, R., Mauceli, E., Morin, E., Murat, C., Pangilinan, J., Park, R., Pearson, M., Quesneville, H., Rouhier, N., Sakthikumar, S., Salamov, A., Schmutz, J., Selles, B., Shapiro, H., Tanguay, P., Tuskan, G., Henrissat, B., Van de Peer, Y., Rouzé, P., Ellis, J., Dodds, P., Schein, J., Zhong, S., Hamelin, R., Grigoriev, I., Szabo, L., y Martin F. (2011). Obligate biotrophy features

unraveled by the genomic analysis of rust fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(22), 9166–9171. JOUR. Recuperado el 04 de Octubre de 2016 de <http://doi.org/10.1073/pnas.1019315108>

Flora of North America Editorial Committee. (1993). *Flora of North America: Magnoliophyta: Caryophyllidae, part 2*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016 de https://books.google.es/books?id=gMtMAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Formento, A. N. (2010). Enfermedades foliares reemergentes del cultivo de maíz: royas (*Puccinia sorghi* y *Puccinia polysora*), tizón foliar (*Exserohilum turcicum*) y mancha ocular (*Kabatiella zaeae*). *Actualización técnica. EEA Paraná*, (2). Recuperado el 03 de Diciembre de 2016 de <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-enfermedades-foliares-reemergentes-del-cultivo-d.pdf>

Gabela, F. y Cárdenas, J. (1989). *Control de malezas en maíz de la Sierra*. Ecuador: INIAP

García, V. (2004). *Introducción a la Microbiología*. San José, Costa Rica: EUNED

Global Biodiversity Information Facility GBIF. (2016). *Pennisetum clandestinum Hochst. ex Chiov.* Recuperado el 29 de Octubre de 2016 de <http://www.gbif.org/species/2706150>

Global Invasive Species Database. (2016). *Species profile: Cenchrus clandestinus*. Recuperado el 18 de Octubre de 2016 de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=183>

Global Invasive Species Database. (2016). *Species profile: Rumex crispus*. Recuperado el 26 de Octubre de 2016 de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=1652>

Goellner, K., Loehrer, M., Langenbach, C., Conrath, U. W. E., Koch, E., y

- Schaffrath, U. (2010). *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. *Molecular plant pathology*, 11(2), 169-177. Recuperado el 30 de Noviembre de 2016 de <http://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00589.x>
- González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., y Ruiz-Montoya, L. (2005). *Diversidad biológica en Chiapas*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2016 de https://books.google.es/books?id=rHz6zn8-exoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Green, J. M., y Owen, M. D. (2011). Herbicide-resistant crops: utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(11), 5819-5829. Recuperado el 22 de Abril de 2016 <http://doi.org/10.1021/jf101286h>
- Gudesblat, G. E. (2007). Señalización en la interacción entre bacterias fitopatógenas y su hospedador. *Revista Química Viva*, 6(2). Recuperado el 04 de Diciembre de 2016 de <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v6n2/gudesblat.pdf>
- Harding, D. P., y Raizada, M. N. (2015). *Controlling weeds with fungi, bacteria and viruses: a review*. *Frontiers in Plant Science*, 6, 659. Recuperado el 23 de Abril de 2016 de <http://doi.org/10.3389/fpls.2015.00659>
- Hatcher, P. E., Brandsaeter, L. O., Davies, G., Lüscher, A., Hinz, H. L., Eschen, R., y Schaffner, U. (2008). Biological control of *Rumex* species in Europe: opportunities and constraints. *In Proceedings 12th international symposium biology control weeds* (pp. 470-475). Recuperado el 03 de Diciembre de 2016 de http://bugwoodcloud.org/ibioccontrol/proceedings/pdf/12_470-475.pdf
- Heap, I. (2016). *The international survey of herbicide resistant weeds*. Recuperado el 28 de abril de 2016 de <http://weeds-science.org/>
- Hejcman, M., Strnad, L., Hejcmanová, P., y Pavlů, V. (2012). Effects of nutrient availability on performance and mortality of *Rumex obtusifolius* and *R.*

- crispus* in unmanaged grassland. *Journal of Pest Science*, 85(2), 191–198. JOUR. Recuperado el 20 de Octubre de 2016 de <http://doi.org/10.1007/s10340-012-0414-5>
- Herrera, C., Fierro, L., y Moreno, J. (2000). *Manejo integrado del cultivo de la papa. Manual técnico*. Bogotá, Colombia: Corpoica, Regional uno.
- Huber-Meinicke, G., Defago, G., y Sedlar, L. (1989). *Ramularia rubella* (Bon.) Nannf. as a potential mycoherbicide against *Rumex* weeds. *Botanica helvetica*, 99(1), 81-89. Recuperado el 29 de Noviembre de 2016 de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:L_SkT0rZH3oJ:www.e-periodica.ch/cntmng%3Fvar%3Dtrue%26type%3Dpdf%26rid%3Dbhl-002:1989:99::233+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec
- Hurley, B., Subramaniam, R., Guttman, D. S., y Desveaux, D. (2014). Proteomics of effector-triggered immunity (ETI) in plants. *Virulence*, 5(7), 752-760. Recuperado el 26 de Octubre de 2016 de <http://dx.doi.org/10.4161/viru.36329>
- Instituto Espacial Ecuatoriano IEE y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP. (2013). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. escala 1: 25 000*. Recuperado el 19 de Octubre de 2016 de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA2/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/PICHINCHA/MEJIA/IEE/MEMORIA_TECNICA/mt_mejia_geomorfologia.pdf
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. (1975). *Reunión del programa de pastos y forrajes y curso de Metodología de Investigación*. Recuperado el 16 de Octubre de 2016 de https://books.google.com.ec/books?id=6HRtAAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Inman, R. E. (1970). Observations on the Biology of *Rumex* Rust *Uromyces rumicis* (Schum.) Wint. *Botanical Gazette*, 234-241. Recuperado el 03 de Diciembre de 2016 de <http://dx.doi.org/10.1086/336537>

- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., y Chauhan, B. S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, 57–65. Recuperado el 22 de Abril de 2016 de <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>
- Julien, M., McFadyen, R., y Cullen, J. (2012). *Biological control of weeds in Australia*. Australia: CSIRO Publishing
- Koeck, M., Hardham, A. R., y Dodds, P. N. (2011). *The role of effectors of biotrophic and hemibiotrophic fungi in infection*. *Cellular microbiology*, 13(12), 1849-1857. Recuperado el 01 de Diciembre de 2016 de <http://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2011.01665.x>
- Kolmer, J. A., Ordonez, M. E., y Groth, J. V. (2009). The rust fungi. In: *Encyclopedia of Life Sciences (ELS)*. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. Recuperado el 01 de Diciembre de 2016 de <http://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021264>
- Labrada, R., Caseley, J.C., y Parker, J. (1996). *Manejo de malezas para países en desarrollo*. Roma, Italia: Food & Agriculture Org.
- Lavilla, M. Á. (2013). *Virulencia de aislamientos de Phakopsora pachyrhizi Sydow & Sydow en soja (Glycine max L. Merr.) en Argentina* (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales). Recuperado el 01 de Diciembre de 2016 de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/42638>
- Lehmuskallio, J. (2016). *Lengua de vaca*. Recuperado el 26 de Octubre de 2016 de <http://luontoportti.com/suomi/es/kukkakasvit/lengua-de-vaca>
- López, D. S. (2006). Contribución al estudio de los ascomicetes bitunicados de Cataluña. Contribution to the study of Bitunicate Ascomycetes in Catalonia (NE Spain). *Acta Botanica Barcinonensia*, 50, 5-434. Recuperado el 26 de Octubre de 2016 de <http://www.raco.cat/index.php/ActaBotanica/article/view/59858>
- Mannetje, L. T., y Jones, R. M. (1992). *Plant resources of South-East Asia. No. 4. Forages*. Wageningen, Netherland: Pudoc

- Masilionyte, L., Maiksteniene, S., Kriauciuniene, Z., Jablonskyte-Rasce, D., Zou, L., y Sarauskis, E. (2016). Effect of cover crops in smothering weeds and volunteer plants in alternative farming systems. *Crop Protection*, 91, 74–81. Recuperado el 04 de Octubre de 2016 de <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.016>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP. (2013). *El cultivo de papa en Ecuador y planes de mejora*. Recuperado el 11 de Octubre de 2016 de http://192.156.137.121:8080/cipotato/region-quito/congresos/v-congreso-ecuatoriano-de-la-papa/carol_chehab.pdf
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP. (2016). *Ecuador se proyecta a ser exportador de papa*. Recuperado el 29 de abril de 2016 de <http://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-proyecta-a-ser-exportador-de-papa/>
- Mithila, J., Hall, J. C., Johnson, W. G., Kelley, K. B., y Riechers, D. E. (2011). Evolution of resistance to auxinic herbicides: historical perspectives, mechanisms of resistance, and implications for broadleaf weed management in agronomic crops. *Weed Science*, 59(4), 445–457. Recuperado el 23 de Abril de 2016 de <http://doi.org/10.1614/WS-D-11-00062.1>
- Montoya, H. (2008). *Microbiología básica para el área de la salud y afines*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2016 de https://books.google.com.ec/books?id=5RjS6B0X5RgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Moore, G., Sanford, P., y Wiley, T. (2006). *Perennial pastures for Western Australia*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016 de <http://researchlibrary.agric.wa.gov.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=bulletins>
- Mukherjee, J. (Ed.). (2015). *Biotechnological Applications of Biodiversity*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016 de

<http://www.springer.com/us/book/9783662450963>

- Mussury, R. M., Betoni, R., Silva, M. A., y Scalón, S. P. Q. (2012). Anatomía foliar de soja infectada por *Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & Sydow e tratadas con extratos vegetais. *Rev. bras. plantas med*, 14(1), 18-25. Recuperado el 01 de Diciembre de 2016 de <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722012000100004>
- Navarro, L., Bari, R., Achard, P., Lisón, P., Nemri, A., Harberd, N. P., y Jones, J. D. (2008). DELLAs control plant immune responses by modulating the balance of jasmonic acid and salicylic acid signaling. *Current Biology*, 18(9), 650-655. Recuperado el 01 de Diciembre de 2016 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2008.03.060>
- Olmer, J. a, Ordonez, M. E., y Groth, J. V. (2009). The Rust Fungi. *Encyclopedia of Life Sciences*, (September). Recuperado el 28 de Noviembre de 2016 de <http://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021264>
- Ordeñana, O. (1992). *Malezas*. Guayaquil, Ecuador: Grafimpac.
- Osuji, N. C. (2007). *Identification of Water Soluble Compounds from Rumex Crispus Leaf that Kill Colon Carcinoma Cells*. Recuperado el 08 de Octubre de 2016 de <http://gradworks.umi.com/14/55/1455787.html>
- Paucar, B., y Santa Catalina, I. E. E. (2006). Efecto del manejo químico y mecánico de malezas en papa y respuesta de la arveja a la labranza reducida. *Suma*, 2(16.67), 0-27.
- Pumisacho, M., y Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Ecuador: INIAP Archivo Histórico.
- Quaedvlieg, W. (2014). *Re-evaluating Mycosphaerella and allied genera*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2016 de <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/308485>
- Rivera, C. (2007). *Conceptos introductorios a la Fitopatología*. San José, Costa Rica: EUNED.

Ruiz, F. S. (1995). *Cultivo de la Caña de Azúcar*. San José, Costa Rica: EUNED

Salazar, M., Buriticá, P., y Cadena, G. (2002). Implicaciones de los estudios de biodiversidad de los Uredinales (royas) en la región cafetera colombiana. Recuperado el 19 de Octubre de 2016 de [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc053\(03\)219-238.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc053(03)219-238.pdf)

Schoch, S. L., Crous, P. W., Groenewald, J. Z., Boehm, E. W., Burgess, T. I., de Gruyter, J., de Hoog, J. S., Dixon, L. J., Grube, M., Gueidan, C., Harada, Y., Hatakeyama, S., Hirayama, K., Hosoya, T., Huhndorf, S. M., Hyde, K. D., Jones, E. B., Kohlmeyer, J., Kruys, A., Li, Y. M., Lücking, R., Lumbsch, H. T., Marvanová, L., Mbatchou, J. S., McVay, A. H., Miller, A. N., Mugambi, G. K., Muggia, L., Nelsen, M. P., Nelson, P., Owensby, C. A., Phillips, A. J., Phongpaichit, S., Pointing, S. B., Pujade-Renaud, V., Raja, H. A., Rivas Plata, E., Robbertse, B., Ruibal, C., Sakayaroj, J., Sano, T., Selbmann, L., Shearer, C. A., Shirouzu, T., Slippers, B., Suetrong, S., Tanaka, K., Volkmann-Kohlmeyer, B., Wingfield, M. J., Wood, A. R., Woudenberg, J. H., Yonezawa, H., Zhang, Y., y Spatafora, J. W. (2009). A class-wide phylogenetic assessment of Dothideomycetes. *Studies in Mycology*, 64, 1-15. Recuperado el 23 de Octubre de 2016 de <http://doi.org/10.3114/sim.2009.64.01>

Seeman, O. D., Loch, D. S., Knihinicki, D. K., y McMaugh, P. E. (2016). A new species of *Steneotarsonemus* (Acari: Tarsonemidae) from kikuyu grass, *Pennisetum clandestinum* (Poaceae), in Australia. *Systematic and Applied Acarology*, 21(7), 889–906. Recuperado el 08 de Octubre de 2016 de <http://doi.org/10.11158/saa.21.7.4>

Shiwani, S., Singh, N. K., y Wang, M. H. (2012). Carbohydrase inhibition and anti-cancerous and free radical scavenging properties along with DNA and protein protection ability of methanolic root extracts of *Rumex crispus*. *Nutrition Research and Practice*, 6(5), 389–395. Recuperado el 08 de Octubre de 2016 de <http://doi.org/10.4162/nrp.2012.6.5.389>

- Silva, L., Tavares, J., y Brasseur, R. (1997). *Ramularia rubella* and *Uromyces rumicis* infecting *Rumex obtusifolius* in the Azores. *Açoreana*, 8(3): 375-381. Recuperado el 04 de Noviembre de 2016 de <http://repositorio.uac.pt/handle/10400.3/791>
- Sosa, C., Perdomo, F., Brathwaite C., y Salazar, J. (1997). *Técnicas para el diagnóstico de las enfermedades de las plantas*. México: Bib. Orton IICA / CATIE
- Spangenberg, B. (2016). *La roya vuelve a los céspedes anaranjados*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2016 de https://extension.illinois.edu/turf_sp/rustlawn.cfm
- Toome, M. y Aime, M. (2012). *Puccinomyces*. Recuperado el 06 de Noviembre del 2016 de <http://tolweb.org/Pucciniomyces/51246>
- Thulin, M., y Phillips, S. (2015). The identity of *Pennisetum longistylum* (Poaceae). *Willdenowia*, 45(2), 173-175. Recuperado el 28 de Octubre de 2016 de <http://dx.doi.org/10.3372/wi.45.45202>
- Torres, L. y Andrade-Piedra, J. (2011). *Manejo de malezas*. Recuperado el 30 de abril de 2016 de <http://cipotato.org/region-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/malezas/>
- Vera, G. (1999). *Control biológico de Rottboellia cochinchinensis*. San José, Costa Rica: CATIE
- Webster, J. y Weber, R. (2007). *Introduction to fungi*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Wilson, S. (1986). CMI Descriptions of pathogenic fungi and bacteria No. 851. *Mycopathologia*, 95(1), 41-60
- Xu, Z., Feng, Z., Yang, J., Zheng, J., y Zhang, F. (2013). Nowhere to Invade: *Rumex crispus* and *Typha latifolia* Projected to Disappear under Future Climate Scenarios. *PLoS ONE*, 8(7), e70728. Recuperado el 29 de Octubre de 2016 de <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0070728>

- Yandoc-Ables, C. B., Roskopf, E. N., y Charudattan, R. (2007). Plant Pathogens at Work: Progress and possibilities for weed biocontrol classical versus bioherbicial approach. Online. Plant Health Progress. Recuperado el 30 de Abril de 2016 de <http://doi.org/10.1094/PHP-2007-0822-01-RV>.
- Zhang, R., Murat, F., Pont, C., Langin, T., y Salse, J. (2014). Paleo-evolutionary plasticity of plant disease resistance genes. *BMC genomics*, 15(1), 187. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016 de <http://doi.org/10.1186/1471-2164-15-187>.
- Zuluaga, C., Buriticá, P., y Marín, M. (2011). Filogenia de hongos roya (Uredinales) en la zona andina colombiana mediante el uso de secuencias del ADN ribosomal 28S. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 517-540. Recuperado el 29 de Noviembre de 2016 de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442011000200001&script=sci_arttext&tIng=pt

ANEXOS

Anexo 1. Variedades comerciales de kikuyo

Variedad	Descripción
'Whittet'	Ampliamente cultivada en África. Es una variedad más vigorosa con gruesos tallos y hojas. Predisposición a la enfermedad amarilla del kikuyo. Además es utilizado como forraje.
'Breakwell'	Su estructura es menos fornida que la 'Whittet'. Su facilidad de propagación es más rápida. Sensible a la enfermedad amarilla del kikuyo. No recomendado para ser utilizado como pasto.
'Noonan'	Originada a través del cruce de la variedad 'Whittet' y 'Breakwell' para enfrentar a la enfermedad causada por el amarillamiento del kikuyo.
'Croft'	Posee hojas y tallos más alargados dispuestas verticalmente. Es capaz de tolerar las heladas, sin embargo es sensible a la enfermedad amarilla del kikuyo.

Tomado de Moore, Sanford y Wiley, 2006, p. 147

